

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

# УСТОЙЧИВОСТЬ ОБЪЕКТОВ ЭКОНОМИКИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Методические указания по решению задач

*Составитель О. С. Власова*

Волгоград  
ВолгГАСУ  
2015



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», 2015

УДК 614.8(076.5)  
ББК 68.922я73  
У813

У813 **Устойчивость** объектов экономики в чрезвычайных ситуациях [Электронный ресурс] : методические указания по решению задач / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. О. С. Власова. — Электронные текстовые и графические данные (0,8 Мбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. — Учебное электронное издание. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Приведены задачи и примеры их решения по дисциплине «Устойчивость объектов экономики в чрезвычайных ситуациях» в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования.

Цель — научить студентов решать практические задачи по прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Студенту предлагается выполнить различные варианты заданий, к которым относятся: оценка очагов поражения при наводнении; оценка очагов поражения на взрыво- и пожароопасных объектах; оценка радиационной обстановки при чрезвычайных ситуациях; прогнозирование состояния объекта экономики при аварии со взрывом газозвдушной смеси; пожар разлития легковоспламеняющихся горючих жидкостей.

**УДК 614.8 (076.5)**  
**ББК 68.922 я73**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие положения	4
1. Очаги поражения при наводнении	5
2. Очаги поражения на взрыво- и пожароопасных объектах	8
3. Оценка радиационной обстановки при чрезвычайных ситуациях	32
4. Прогнозирование состояния объекта экономики при аварии со взрывом газовой смеси	39
5. Пожар разлития ЛВЖ	45
Библиографический список	49
Приложение	50

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Цель данного издания состоит в том, чтобы дать студентам направления подготовки 280700 «Техносферная безопасность» (профиль подготовки «Защита в чрезвычайных ситуациях») навыки прогнозирования возможных последствий чрезвычайных ситуаций, которые могут сложиться на объектах экономики, а также в планировании профилактических мероприятий по снижению последствий аварий, по защите рабочих и служащих. Необходимость решения этих вопросов выдвинута самой жизнью, так как по мере научно-технического прогресса увеличивается количество потенциально опасных производств в стране, а следовательно, и вероятность аварий на них.

Студенту предлагается выполнить различные варианты заданий, к которым относятся: прогнозирование возможных чрезвычайных ситуаций конфликтного и неконфликтного характера и оценка их масштабов и последствий. Важнейшей задачей также необходимо считать закрепление всего комплекса полученных теоретических знаний по разделу ГО ЧС.

### 1. Очаги поражения при наводнении

Очагом поражения при наводнении называется территория, в пределах которой произошли затопления местности, повреждения и разрушения зданий, сооружений и других объектов, сопровождающиеся поражениями и гибелью людей, животных и урожая сельскохозяйственных культур, порчей и уничтожением сырья, топлива, продуктов питания, удобрений и т.п.

Масштабы наводнений зависят от высоты и продолжительности стояния опасных уровней воды, площади затопления, времени затопления и др.

### ЗАДАНИЕ 1

На ГТС (плотина) в результате случайного водоспуска образовался проран. На расстоянии  $L$  (см. задание) км по течению находится город и судостроительный завод. Высота уровня воды  $H_0$  = (см. задание), высота места  $h_M$  = (см. задание), м, гидравлический уклон  $i = 1 \times 10^{-3}$ , проран размером  $B = 0,5$  м, глубина реки в нижнем бьефе  $h_0$  = (см. задание), м. Оценить степень разрушения зданий в городе и объектов на заводе (цех, пирс, плавучий кран).

## Рекомендации к решению задачи

1. Определяем время прихода гребня ( $t_{гр}$ ) и фронта ( $t_{фр}$ ) волны (табл. 1, приложения).

2. Определяем высоту ( $h$ ) и скорость ( $V$ ) волны прорыва по формулам:

$$h = \frac{A_h}{\sqrt{B_h + L}}, \text{ (м)}, \quad V = \frac{A_v}{\sqrt{B_v + L}}, \text{ (м/с)},$$

где  $A_h, B_h, A_v, B_v$  - коэффициенты, зависящие от  $H_0, i$  (табл. 2, приложения).

3. Определяем время затопления:

$$\tau_{пол} = t_{гр} - t_{фр}.$$

4. Определяем продолжительность затопления территории объекта по формуле:

$$\tau_{зат} = \beta(t_{гр} - t_{фр}) \left(1 - \frac{h_m}{h}\right), \text{ ч},$$

где  $\beta$  - коэффициент, зависящий от высоты плотины гидравлического уклона и расстояния до объекта (табл. 3, приложения).

5. Определяем степень поражения наземных и причальных сооружений (табл. 4 приложения).

№ варианта	$L$	$H_0$	$K$	$h_0$	№ варианта	$L$	$H_0$	$K$	$h_0$
1	5	20	1,2	2	13	40	80	1,3	4
2	10	80	1,4	4	14	80	40	1,5	2
3	20	40	1,6	2	15	40	80	1,7	4
4	40	80	1,8	4	16	20	40	1,9	4
5	80	40	2,0	4	17	5	80	2,1	4
6	40	80	2,2	4	18	80	20	2,3	2
7	20	20	2,4	2	19	5	20	2,5	2
8	5	20	1,4	2	20	5	40	1,4	2
9	80	40	1,6	4	21	10	20	1,6	2
10	5	80	1,8	4	22	20	80	1,8	4
11	20	40	2,0	2	23	40	40	2,0	2
12	40	80	2,2	4	24	80	80	2,2	4

## Пример решения задачи

На ГТС (плотина) в результате случайного водоспуска образовался проран. На расстоянии  $L=40$  км по течению находится судостроительный завод. Высота уровня воды  $H_0=40$  м. Высота места  $h_m = 2$  м, гидравлический уклон  $i=1 \times 10^{-3}$ , проран размером  $B=0,5$ , глубина реки в нижнем бьефе  $h_0=4$  м. Оценить степень разрушения зданий и объектов на заводе (цех, пирс, плавучий кран).

Определяем время прихода гребня ( $t_{гр}$ ) и фронта ( $t_{фр}$ ) волны при расстоянии  $L = 40$  км, высоте уровня воды  $H_0 = 40$  м и гидравлическом уклоне  $i=1 \times 10^{-3}$ .

$$t_{гр} = 7 \text{ ч}, \quad t_{фр} = 2 \text{ ч}.$$

Определяем высоту ( $h$ ) и скорость ( $V$ ) волны прорыва по формулам:

$$h = \frac{A_h}{\sqrt{B_h + L}} = \frac{124}{\sqrt{89 + 40}} = 10,9 \text{ м}, \quad V = \frac{A_v}{\sqrt{B_v + L}} = \frac{32}{\sqrt{44 + 40}} = 3,5 \text{ м/с}.$$

Определяем продолжительность затопления территории объекта по формуле:

$$\tau_{зат} = \beta(t_{гр} - t_{фр}) \cdot \left(1 - \frac{h_m}{h}\right) = 15,5 \cdot (7 - 2) \cdot \left(1 - \frac{2}{10,9}\right) = 63,3 \text{ ч},$$

где  $\beta$  - коэффициент, зависящий от высоты плотины гидравлического уклона и расстояния до объекта (табл. 3, приложения).

$$\text{при } H_0 = 10 \times h \text{ и } l = L \left( \frac{i \cdot L}{H_0} \right) = 40 \cdot \left( \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 40}{40} \right) = 0,04 \text{ принимаем } \beta = 15,5.$$

Определяем степень поражения наземных и причальных сооружений  
*Корпуса судостроительного завода получат сильные разрушения.*

## ЗАДАНИЕ 2

Объем водохранилища  $W$  (см. задание), млн  $\text{м}^3$ , ширина прорана  $B$  (см. задание), м, глубина воды перед плотиной (глубина прорана)  $H = 50$  м, средняя скорость движения волны пропуска  $V$  (см. задание), м/с.

Определить параметры волны на расстояниях 25,50 и 100 км от плотины при ее разрушении.

№ варианта	$W$ , млн $\text{м}^3$	$B$ , м	$V$ , м/с	№ варианта	$W$ , млн $\text{м}^3$	$B$ , м	$V$ , м/с
1	70	80	6	13	65	120	5
2	75	90	7	14	80	95	6
3	65	100	5	15	85	90	8
4	80	85	6	16	60	70	7
5	85	110	8	17	90	130	5
6	60	105	7	18	95	80	6
7	90	120	5	19	85	90	4
8	95	95	6	20	70	100	5
9	85	90	4	21	75	85	6
10	60	70	5	22	65	110	7
11	70	130	6	23	80	105	5
12	65	110	7	24	75	120	6

## Рекомендации к решению задачи

Определяем время прихода волны попуска на заданные расстояния по формуле:

$$t_{\text{пр}} = \frac{R}{V}, \text{ ч},$$

где  $R$  - заданное расстояние от плотины, км;  
 $V$  - скорость волны попуска, м/с.

Находим высоту волны попуска по формулам приведенным в (табл. 5 приложения) на заданных расстояниях.

$$H_{25} = 0,2H;$$

$$H_{50} = 0,15H;$$

$$H_{100} = 0,075H.$$

Определяем продолжительность прохождения волны попуска на заданных расстояниях, для чего находим время опорожнения водохранилища по формуле:

$$T = \frac{W}{N \cdot B \cdot 3600}, \text{ ч},$$

где  $W$  - объем водохранилища, м<sup>3</sup>;  
 $B$  - ширина прорана или участка перелива воды через гребень неразрушенной плотины, м;  
 $N$  - максимальный расход воды на 1 м ширины прорана (участка перелива воды через гребень плотины), м<sup>3</sup>/с·м ориентировочно (табл.6. приложения).

Продолжительность прохождения волны попуска на заданных расстояниях:

$$t_{25} = 1,7T;$$

$$t_{50} = 2,6T;$$

$$t_{100} = 4T.$$

## Пример решения задачи

Объем водохранилища  $W = 70$  млн.м<sup>3</sup>, ширина прорана  $B = 100$  м глубина воды перед плотиной (глубина прорана)  $H = 50$  м, средняя скорость движения волны пропуска  $V = 5$  м/с.

Определить параметры волны на расстояниях 25,50 и 100 км от плотины при ее разрушении.

Определяем время прихода волны попуска на заданные расстояния по формуле:

$$t_{25} = \frac{25}{5 \cdot 3,6} = 1,4 \text{ ч}, \quad t_{50} = \frac{50}{5 \cdot 3,6} = 2,8 \text{ ч}, \quad t_{100} = \frac{100}{5 \cdot 3,6} = 5,6 \text{ ч}.$$

Находим высоту волны попуска по формулам приведенным в (табл. 5

приложения) на заданных расстояниях.

$$H_{25}=0,2H=0,2\cdot 50=10 \text{ м,}$$

$$H_{50}=0,15H=0,15\cdot 50=7,5 \text{ м,}$$

$$H_{100}=0,075H=0,075\cdot 50=2,2 \text{ ч.}$$

Определяем продолжительность прохождения волны попуска на заданных расстояниях, для чего находим время опорожнения водохранилища по формуле:

$$T = \frac{70 \cdot 10^6}{350 \cdot 100 \cdot 3600} = 0,55 \text{ ч,}$$

где  $W$  - объем водохранилища,  $\text{м}^3$ ;  
 $B$  - ширина прорана или участка перелива воды через гребень неразрушенной плотины, м;  
 $N$  - максимальный расход воды на 1 м ширины прорана (участка перелива воды через гребень плотины),  $\text{м}^3/\text{с}\cdot\text{м}$  ориентировочно (табл.6. приложения).

Продолжительность прохождения волны попуска на заданных расстояниях:

$$t_{25}=1,7T=1,7\cdot 0,55=1 \text{ ч;}$$

$$t_{50}=2,6T=2,6\cdot 0,55=1,5 \text{ ч;}$$

$$t_{100}=4T=4\cdot 0,55=2,2 \text{ ч.}$$

## 2. Очаги поражения на взрыво- и пожароопасных объектах

Очаги поражения на предприятиях со взрыво- и пожароопасной технологией образуются вследствие истечения газообразных или сжиженных углеводородных продуктов, при перемешивании которых с воздухом образуются взрыво- и пожароопасные смеси таких газов, как пропилен, метан, пропан, бутан, этилен, бутилен и др. приводящие к разрушению зданий, сооружений, технологических установок, емкостей и трубопроводов. Взрыв или возгорание наступает при определенном содержании газа в воздухе.

При взрыве газозвушной смеси образуется ударная волна, подобная ударной волне ядерного взрыва.

## ЗАДАНИЕ 3

Расстояние от емкости до цеха  $R$  (см. задание), м. Определить избыточное давление ударной волны в районе механического цеха при взрыве емкости с пропаном  $Q$  (см. задание), т.



№ варианта	R, м	Q, т	№ варианта	R, м	Q, т
1	600	100	13	500	100
2	650	110	14	550	95
3	500	120	15	450	90
4	550	110	16	450	110
5	450	100	17	600	120
6	450	95	18	400	110
7	600	90	19	350	100
8	400	110	20	650	130
9	350	120	21	450	110
10	650	110	22	600	120
11	700	100	23	400	110
12	750	130	24	350	100

### Рекомендации к решению задачи

Определяем коэффициент  $K$  по формуле:

$$K = 0,24 \frac{R}{17,5 \cdot \sqrt[3]{Q}},$$

где  $Q$  - количество взрывоопасной смеси, хранящейся в емкости или агрегате, т.

Находим избыточное давление ударной волны по формулам:

$$\text{при } K < 2 \quad \Delta P_{\phi} = \frac{700}{3 \cdot \left( \sqrt{1 + 29,8 \cdot K^3} - 1 \right)}, \text{кПа};$$

$$\text{при } K > 2 \quad \Delta P_{\phi} = \frac{22}{K \cdot \sqrt{1gK + 0,158}}, \text{кПа}.$$

В соответствии с (табл. 7 приложения) определяем степень разрушения объекта.

### Пример решения задачи

Расстояние от емкости до цеха  $R=600$  м. Определить избыточное давление ударной волны в районе механического цеха при взрыве емкости с пропаном ( $Q=100$  т).

Определяем коэффициент  $K$  по формуле:

$$K = 0,24 \frac{600}{17,5 \cdot \sqrt[3]{100}} = 1,8 \leq 2.$$

Находим избыточное давление ударной волны по формулам:

$$\text{при } K < 2 \quad \Delta P_{\phi} = \frac{700}{3 \cdot \left( \sqrt{1 + 29,8 \cdot 1,8^3} - 1 \right)} = 20 \text{кПа}.$$

Вывод: так как здание механического цеха легкое с металлическим каркасом, то оно может получить среднее разрушение.

## ЗАДАНИЕ 4

В шлифовальном цехе объемом  $V_0$  (см. задание),  $\text{м}^3$ , при работающей вытяжке в сутки накапливается  $M_c$  (см. задание), г, еловой пыли.  $Q_{v\text{пыли}} = 20,4 \times 10^3$  кДж/кг. Определить время накопления взрывоопасных концентраций пыли и последствия ее взрыва  $t$  (см. задание),  $^{\circ}\text{C}$ .

№ варианта	$V_0, \text{м}^3$	$M_c, \text{г}$	$t, ^{\circ}\text{C}$	№ варианта	$V_0, \text{м}^3$	$M_c, \text{г}$	$t, ^{\circ}\text{C}$
1	7800	450	20	13	5800	560	24
2	8000	560	24	14	6200	510	22
3	7600	510	22	15	5700	540	23
4	8100	540	23	16	6300	460	25
5	6000	460	25	17	6000	480	24
6	6500	480	24	18	5100	500	18
7	5500	500	18	19	5600	520	16
8	5100	520	16	20	5000	510	17
9	5200	510	17	21	5400	470	19
10	6300	470	19	22	6000	540	20
11	5600	480	20	23	6400	520	21
12	4600	500	22	24	6200	510	19

### Рекомендации к решению задачи

Возможность взрыва определяется размером частиц ( $\delta < 100$  мкм) и наличии нижнего концентрационного предела воспламенения (взрывоопасности).

$$НКП = \frac{800}{Q_v}$$

Определяем критическую массу пыли, при которой возможен взрыв:

$$M_{кр} = НКП \cdot V_0, \text{ г.}$$

Определяем время накопления взрывоопасного количества пыли:

$$t_{взр} = \frac{M_{кр}}{M_c}, \text{ Ч.}$$

Определяем потенциальную возможность взрыва (он возможен при  $\rho_{факт} > НКП$ ):

$$\rho_{факт} = \frac{M_{кр}}{V_0}$$

Определяем избыточное давление в помещении цеха при взрыве ПВС:

$$\Delta P_{\phi} = 14,0 \cdot \frac{M_{кр} \cdot Q_v}{V_0 \cdot T_0}$$

По табл. 8 и 9 приложения определяем степень разрушения здания и потери среди людей. Радиус разброса смеси продуктов взрыва в цехе:

$$R_0 = \sqrt{\frac{3 \cdot V_0}{2\pi}}$$

## Пример решения задачи

В шлифовальном цехе объемом  $V_0 = 5000 \text{ м}^3$  при работающей вытяжке в сутки накапливается  $M_c = 500 \text{ г}$  еловой пыли.  $Q_{v_{\text{пыли}}} = 20,4 \times 10^3 \text{ кДж/кг}$ . Определить время накопления взрывоопасных концентраций пыли и последствия ее взрыва  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Возможность взрыва определяется размером частиц ( $\delta < 100 \text{ мкм}$ ) и наличии нижнего концентрационного предела воспламенения (взрывоопасности).

$$НКП = \frac{800}{20,4 \times 10^3} = 0,03921 \text{ кг/м}^3.$$

Определяем критическую массу пыли, при которой возможен взрыв:

$$M_T = 0,03921 \cdot 5000 = 196 \text{ г}.$$

Определяем время накопления взрывоопасного количества пыли:

$$t_{\text{взр}} = \frac{196}{500} = 0,4 \text{ ч}.$$

Определяем потенциальную возможность взрыва (он возможен при  $\rho_{\text{факт}} > \text{НКП}$ ):  $\rho_{\text{факт}} = \frac{196}{5000} = 0,03920$ . Взрыв невозможен, так как  $\rho_{\text{факт}}$  не превышает НКП = 0,03921.

Определяем избыточное давление в помещении цеха при взрыве ПВС:

$$\Delta P_{\text{ф}} = 14,0 \cdot \frac{196 \cdot 20,4 \cdot 10^3}{5000 \cdot (273 + 20)} = 38,2 \text{ кПа}.$$

Так как шлифовальный цех это здание с легким металлическим каркасом - степень разрушения сильная потери среди людей составляют 30 %.

Радиус разброса смеси продуктов взрыва в цехе:

$$R_0 = \sqrt{\frac{3 \cdot 5000}{2 \cdot 3,14}} = 48,9 \text{ м}.$$

## ЗАДАНИЕ 5

Определить зону токсического заражения (пороговую и смертельную), если при пожаре взорвалась цистерна с веществом (см. задание) и испарилось в атмосферу  $Q$  (см. задание), кг. Местность закрытая (город) состояние атмосферы - инверсия, скорость ветра  $V$  (см. задание), м/с, ветер устойчивый.

№ варианта	$V$ , м/с	$Q$ , кг	Вещество	№ варианта	Вещество	$V$ , м/с	$Q$ , кг
1	2,0	250	Хлор	13	Аммиак	3,0	390
2	3,0	200	Фенол	14	Хлор	1,0	380
3	1,0	160	Аммиак	15	Фосген	2,5	500

№ варианта	V, м/с	Q, кг	Вещество	№ варианта	Вещество	V, м/с	Q, кг
4	2,5	240	Хлор	16	Аммиак	3,0	450
5	3,0	210	Фосген	17	Двуокись хлора	2,6	420
6	2,6	360	Аммиак	18	Окись углерода	1,5	290
7	1,5	300	Двуокись хлора	19	Хлор	1,2	310
8	1,2	290	Хлор	20	Фенол	2,8	420
9	2,8	280	Окислы азо-	21	Аммиак	2,4	400
10	2,4	340	Хлор	22	Аммиак	2,2	450
11	1,3	360	Фенол	23	Окись углерода	3,1	330
12	1,6	410	Фосген	24	Фенол	1,9	360

### Рекомендации к решению задачи

Определяем глубину токсического задымления (пороговую и смертельную) по формуле:

$$\Gamma_{\text{порог,смерт.}} = \frac{34,2}{K_1} \left[ \frac{Q(a+v)}{K_2 \cdot V_n \cdot D} \right]^{2/3}, \text{ м.}$$

- где  $Q$  - масса токсических продуктов горения, кг;  
 $D$  - токсическая доза (пороговая и смертельная), мг/мин-л (табл. 10, приложения);  
 $V_n$  - скорость переноса дыма, равна от  $1,5V_B$  до  $2V_B$  м/с;  
 $K_1$  - коэффициент шероховатости поверхности ( $K_1 = 3,3$  - при закрытой местности);  
 $K_2$  - коэффициент вертикальной устойчивости атмосферы (при инверсии  $K_2 = 1$ );  
 $a, v$  - доли массы токсических веществ в «первичном» и «вторичном» облаке и значения токсодоз (пороговых и смертельных) (табл.10 приложения).

### Пример решения задачи

Определить зону токсического заражения (пороговую и смертельную), если при пожаре взорвалась цистерна с хлором и испарилось в атмосферу 300 кг. Местность закрытая (город) состояние атмосферы - инверсия, скорость ветра 1 м/с, ветер устойчивый.

Определяем глубину токсического задымления (пороговую и смертельную) по формуле:

$$\Gamma_{\text{порог,смерт.}} = \frac{34,2}{K_1} \left[ \frac{Q(a+v)}{K_2 \cdot V_n \cdot D} \right]^{2/3}, \text{ м.}$$

- где  $Q$  - масса токсических продуктов горения, кг;  
 $D$  - токсическая доза (пороговая и смертельная), для вещества – хлора: пороговая  $D_{п}=0,6$  мг/мин-л, смертельная  $D_{см}=6,0$  мг/мин-л (табл. 10, приложения);  
 $V_{п}$  - скорость переноса дыма, равна от  $1,5V_{В}$  до  $2V_{В}$ , м/с, при скорости ветра 1 м/с принимаем  $V_{п}= 2V_{В}=2$  м/с;  
 $K_1$  - коэффициент шероховатости поверхности ( $K_1 = 3,3$  - при закрытой местности);  
 $K_2$  - коэффициент вертикальной устойчивости атмосферы (при инверсии  $K_2 = 1$ );  
 $a, в$  - доли массы токсических веществ в «первичном» и «вторичном» облаке и значения токсодоз (пороговых и смертельных). Для хлора  $a=0,2$ ,  $в=0,15$  (табл. 10 приложения).

Глубина токсического задымления пороговая

$$\Gamma_{\text{порог.}} = \frac{34,2}{3,3} \left[ \frac{300 \cdot (0,2 + 0,15)}{1 \cdot 2 \cdot 0,6} \right]^{2/3} = 204 \text{ м.}$$

Глубина токсического задымления смертельная

$$\Gamma_{\text{смерт.}} = \frac{34,2}{3,3} \left[ \frac{300 \cdot (0,2 + 0,15)}{1 \cdot 2 \cdot 6} \right]^{2/3} = 44 \text{ м.}$$

## ЗАДАНИЕ 6

Определить массу водорода, вышедшего в помещение при аварии и категорию пожаровзрывоопасности производственного помещения по восстановлению взрывоопасного вещества водородом. Водород подается по трубопроводу диаметром 1 м под давлением 1,01 МПа. Длина трубопровода от задвижки с электроприводом до реактора  $l$  (см. задание), м. Объем реактора (см. задание), м<sup>3</sup>. Время работы задвижки по паспортным данным 5,0 с без указания на надежность. Температура в реакторе 1200 °С и в помещении (см. задание). Расход газа по трубопроводу 0,12 м<sup>3</sup>/с. Плотность газа 0,0817 кг/м<sup>3</sup>. Теплота сгорания водорода 11980 кДж/кг. Имеется аварийная вентиляция с кратностью воздухообмена 8, значение коэффициента  $z$  принимают равным 1.

№ варианта	Длина, м	Температура в помещении, °С	Объем реактора, м <sup>3</sup>	№ варианта	Длина, м	Температура в помещении, °С	Объем реактора, м <sup>3</sup>
1	15	21	1,1	13	16	22	1,1
2	13	20	0,9	14	18	23	1,3
3	16	18	1,0	15	12	24	1,4

№ вариан-та	Длина, м	Темпера-тура в по-мещении, °С	Объем ре-актора, м <sup>3</sup>	№ вариан-та	Длина, м	Темпера-тура в по-мещении, °С	Объем ре-актора, м <sup>3</sup>
4	18	19	1,1	16	14	25	1,0
5	12	21	0,8	17	19	22	0,9
6	14	22	0,7	18	16	22	1,0
7	19	23	1,2	19	16	20	1,1
8	16	24	1,1	20	17	21	0,8
9	17	25	1,3	21	15	20	0,7
10	15	26	1,4	22	16	18	1,2
11	16	20	1,0	23	11	19	1,1
12	11	21	0,9	24	14	21	1,3

### Рекомендации к решению задачи

Определяется масса водорода вышедшего в помещение при аварии, используя формулу:

$$m = (V_1 + V_\tau) \cdot \rho; \quad \text{где } V_1 = V_{an} \frac{P_{an}}{P_0} \cdot \frac{T}{T_0};$$

$$V_\tau = V_{1\tau} + V_{2\tau}; \quad V_{1\tau} = gt; \quad V_{2\tau} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l;$$

$$\text{Соответственно } m = V_{an} \frac{P_{an}}{P_0} \cdot \frac{T}{T_0} \cdot \rho + \frac{\pi d^2}{4} \cdot l \rho;$$

- где  $V_{an}$  - объем реактора, м;  
 $P_{an}$  - давление под которым находится газ, МПа;  
 $P_0$  - давление газа при стандартных условиях, МПа;  
 $T$  - температура воздуха в помещении, К;  
 $T_0$  - температура в реакторе, К;  
 $\rho$  - плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  
 $g$  - расход газа по трубопроводу, м<sup>3</sup>/с;  
 $t$  - время поступления взрывоопасных веществ в помещение (5 с);  
 $d$  - диаметр трубопровода, м;  
 $l$  - длина трубопровода, м.

Давление определяем по формуле:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_1 \cdot z}{T_0 \cdot \rho_B \cdot C_B \cdot T \cdot K_H} \cdot \frac{1}{K},$$

- где  $H_T$  - теплота сгорания вещества, кДж/кг;  
 $P_1$  - давление газа, кПа;  
 $T_0$  - температура в реакторе, °С;  
 $\rho_B$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$c_v$  - теплоемкость воздуха,  $c_v=1,005$  КДж/(кг·°С);  
 $T$  - температура воздуха в помещении, К;  
 $K_n$  - коэффициент изотермичности,  $K_n=1$ .

$$K = At + 1,$$

где  $A$  - кратность воздухообмена создаваемого аварийной вентиляцией,  $c^{-1}$ .

### Пример решения задачи

Определить массу водорода, вышедшего в помещение при аварии и категорию пожаровзрывоопасности производственного помещения по восстановлению взрывоопасного вещества водородом. Водород подается по трубопроводу диаметром 1 м под давлением 1,01 МПа. Длина трубопровода от задвижки с электроприводом до реактора  $l = 15$  м. Объем реактора  $0,9$  м<sup>3</sup>. Время работы задвижки по паспортным данным  $5,0$  с без указания на надежность. Температура в реакторе  $1200$  °С и в помещении  $25$  °С. Расход газа по трубопроводу  $0,12$  м<sup>3</sup>/с. Плотность газа  $0,0817$  кг/м<sup>3</sup>. Теплота сгорания водорода  $11980$  кДж/кг. Имеется аварийная вентиляция с кратностью воздухообмена  $8$ , значение коэффициента  $z$  принимают равным  $1$ .

Определяется масса водорода вышедшего в помещение при аварии:

$$m = 0,9 \frac{1,01}{0,101} \cdot \frac{298}{1473} \cdot 0,0817 + \frac{3,14 \cdot (1)^2}{4} \cdot 15 \cdot 0,0817 = 1,11 \text{ кг}.$$

Давление определяется по формуле:

$$\Delta P = \frac{1,11 \cdot 11980 \cdot 1010 \cdot 1}{1200 \cdot 1,2 \cdot 1,005 \cdot 298 \cdot 1} \cdot \frac{1}{1,01} = 30,8 \text{ кПа}.$$

$$K = \frac{8}{3600} \cdot 5 + 1 = 1,01.$$

### ЗАДАНИЕ 7

В помещении размерами (см. задание), м, находятся аппараты, в которых имеется ГЖ в количестве (см. задание), кг, в каждом. Температура вспышки ГЖ  $72$  °С. Теплота сгорания ГЖ  $41,87$  МДж/кг. Площадь размещения пожарной нагрузки при аварийном проливе (см. задание), м<sup>2</sup>. Температура воздуха в помещении  $20$  °С. Упругость пара ГЖ при  $20$  °С  $-9$  кПа. Молекулярная масса ГЖ (см. задание). Определить массу паров испарившейся жидкости и категорию помещения по взрывопожарной опасности.

№ варианта	Молекулярная масса	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	ГЖ в помещении, кг	Площадь пожарной нагрузки, м <sup>2</sup>	№ варианта	Молекулярная масса	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	ГЖ в помещении, кг	Площадь пожарной нагрузки, м <sup>2</sup>
1	156	32	18	9	15	8	13	160	32	18	9	15	8
2	170	34	16	9	18	8	14	155	34	16	9	18	8
3	169	36	18	9	20	10	15	159	36	18	9	20	10
4	160	30	18	8	21	10	16	161	30	18	8	21	10
5	155	28	18	8	25	12	17	162	28	18	8	25	12
6	159	32	20	9	28	12	18	160	32	20	9	28	12
7	161	34	18	8	17	9	19	155	34	18	8	17	9
8	162	36	16	8	16	9	20	159	36	16	8	16	9
9	168	32	18	8	28	10	21	161	32	18	8	28	10
10	170	32	16	8	15	8	22	162	32	16	8	15	8
11	172	32	18	9	15	8	23	170	30	18	8	21	10
12	174	34	16	9	18	8	24	172	28	18	8	25	12

### Рекомендации к решению задачи

Определим скорость испарения и массу паров:

$$W_n = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_n, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с.}$$

- где  $\eta$  - коэффициент учета движения воздуха = 1;  
 $M$  - молекулярная масса;  
 $P_n$  - упругость пара ГЖ при температуре 20°C, кПа.

Определяем массу паров, используя формулу:

$$m_p = W_n \cdot F_n \cdot \tau_n,$$

- где  $F_n$  - площадь размещения пожарной нагрузки при аварийном проливе, м<sup>2</sup>;  
 $\tau_n$  - время испарения равно 3600 с.

Для определения категории взрывоопасности рассчитаем давление по уравнению:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot z}{V_n \cdot \rho_g \cdot C_g \cdot T_0 \cdot K_n} \cdot \frac{1}{K},$$

- где  $H_T$  - теплота сгорания ГЖ 41,87 МДж/кг;  
 $P_0$  - давление газа при стандартных условиях, МПа;  
 $z$  - коэффициент, учитывающийся при испарении паров жидкости равен 0,3;



- $V_{\text{п}}$  - объем помещения, м<sup>3</sup>;  
 $\rho_{\text{в}}$  - плотность воздуха,  $\rho_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ;  
 $c_{\text{в}}$  - теплоемкость воздуха,  $c_{\text{в}} = 1,005 \text{ КДж/(кг}\cdot\text{°C)}$ ;  
 $T$  - температура воздуха в помещении, К ( $T=273+t$ )  
 $K_{\text{н}}$  - коэффициент, учитывающий негерметичность помещения (не учитывается);  
 $K$  - коэффициент учитывающий кратность воздухообмена (не учитывается, кратность не задана).

Для определения подкатегории определим пожарную нагрузку.  $Q$  = количество ГЖ x Теплоту сгорания, МДж. Принимаем  $S = 10 \text{ м}^2$ . Удельная пожарная нагрузка составит:

$$q = \frac{Q}{S}, \text{ МДж/м}^2.$$

### Пример решения задачи

В помещении размерами 32x18x9 м находятся аппараты, в которых имеется ГЖ количестве 15 кг в каждом. Температура вспышки ГЖ 72 °С. Теплота сгорания ГЖ 41,87 МДж/кг. Площадь размещения пожарной нагрузки при аварийном проливе 8 м<sup>2</sup>. Температура воздуха в помещении 20 °С. Упругость пара ГЖ при 20 °С - 9 кПа. Молекулярная масса ГЖ 168. Определить массу паров испарившейся жидкости и категорию помещения по взрывопожарной опасности.

Определим скорость испарения и массу паров:

$$W_{\text{и}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{168} \cdot 9 = 1,17 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}.$$

Определяем массу паров:

$$m_{\text{п}} = 1,17 \cdot 10^{-4} \cdot 8 \cdot 3600 = 3,37 \text{ кг}.$$

Для определения категории взрывоопасности рассчитаем давление:

$$\Delta P = \frac{3,37 \cdot 41870 \cdot 101 \cdot 0,3}{5184 \cdot 1,2 \cdot 1,005 \cdot 293} = 2,33 \text{ кПа}.$$

Для определения подкатегории определим пожарную нагрузку:

$$Q = 15 \cdot 41,87 = 628 \text{ МДж}.$$

Принимаем  $S = 10 \text{ м}^2$ .

Удельная пожарная нагрузка составит:

$$q = \frac{628}{10} = 62,8 \text{ МДж/м}^2.$$

## ЗАДАНИЕ 8

Определим категорию взрывопожарной или пожарной опасности помещения участка дробления резиновой крошки завода по переработке изношенных автомобильных шин. Площадь помещения  $S$  (см. задание),  $m^2$ , высота  $h$  (см. задание), м. Максимальное количество горючих материалов в помещении 24000 кг. Транспортировка крошки осуществляется конвейерами и шнеками закрытого типа. В местах пылевыделения устроены местные отсосы, удаляющие основное количество выделившейся пыли. Максимальное количество осевшей пыли на труднодоступных для уборки поверхностях составляет 12 кг, а на доступные - 8 кг. Крошка подается по транспортной линии в количестве (см. задание), кг/ч. Крошка содержит 12 % взрывоопасной пыли. Размеры частиц менее 350 мкм. Теплота сгорания резиновой крошки  $H_T = 27000$  кДж.

№ варианта	Площадь помещения $S$ , $m^2$	Высота $H$ , м	Количество крошки, кг/ч	№ варианта	Площадь помещения $S$ , $m^2$	Высота, $H$ , м	Количество крошки, кг/ч
1	2100	9	980	13	2200	9	1200
2	1900	9	1200	14	1800	9	1000
3	2000	9	1000	15	1900	9	980
4	2200	9	1100	16	2000	9	960
5	1800	9	1000	17	1900	9	1200
6	1900	9	990	18	1700	9	1000
7	2000	9	970	19	2100	9	980
8	1900	9	1100	20	1900	9	960
9	1700	9	1200	21	2000	9	980
10	2000	9	1000	22	2200	9	1200
11	1900	9	980	23	1900	9	1000
12	2000	9	960	24	1700	9	1100

### Рекомендации к решению задачи

Наибольшее количество взвешенной в воздухе пыли может быть в случае аварийного разрушения транспортной линии и выброса пыли в помещение. Время аварийного поступления пыли в помещение для случая ручного отключения системы составляет 5 минут.

В этом случае количество пыли, поступившей в помещение, будет равняться:

$$M_{ав} = (M_{ан} + qt)K_n,$$

где  $M_{ан} = 0$ ;

$q$  - крошка в количестве, кг/ч, 12 % от общего выделения пыли, равного 1, соответствует 0,12;

ввиду того, что размеры частиц пыли менее 350 мкм,  $K_n=1$ ;  
 $t$  - время аварийного поступления пыли в помещение, ч.

Расчетное количество осевшей пыли:

$$M_n = (m_1 + m_2), \text{ кг,}$$

где  $m_1$  - максимальное количество осевшей пыли на труднодоступных для уборки, кг;

$m_2$  - максимальное количество осевшей пыли на доступных для уборки, кг.

Количество взвихрившейся пыли:

$$M_{вз} = K_{вз} \cdot M_n, \text{ кг,}$$

где  $K_{вз}$  - коэффициент взвихрения,  $K_{вз}=0,9$ .

Общее количество взрывоопасной пыли в помещении:

$$M = M_{вз} + M_{ав}, \text{ кг.}$$

Давление взрыва:

$$p = \frac{0,1 \cdot M \cdot H_T \cdot z}{0,8 \cdot V}, \text{ кПа,}$$

где  $H_T$  - теплота сгорания резиновой крошки, кДж;

$V$  - объем помещения, м<sup>3</sup>;

$z$  - коэффициент участия горючего вещества при взрыве для пыли равен 0,5.

Определим пожарную нагрузку:

$$Q = G \cdot H, \text{ МДж.}$$

где  $G$  - максимальное количество горючих материалов в помещении, кг;

$H$  - теплота сгорания пыли ( $H = 21,7$  МДж/кг).

Удельная пожарная нагрузка составит:

$$q = \frac{Q}{S}, \text{ МДж/м}^2.$$

### Пример решения задачи

Определим категорию взрывопожарной или пожарной опасности помещения участка дробления резиновой крошки завода по переработке изношенных автомобильных шин. Площадь помещения  $S = 2000$  м<sup>2</sup>, высота  $h = 9$  м. Максимальное количество горючих материалов в помещении 24000 кг. Транспортировка крошки осуществляется конвейерами и шнеками закрытого типа. В местах пылевыделения устроены местные отсосы, удаляющие основное количество выделившейся пыли. Максимальное количест-

во осевшей пыли на труднодоступных для уборки поверхностях составляет 12 кг, а на доступные - 8 кг. Крошка подается по транспортной линии в количестве 1000 кг/ч. Крошка содержит 12 % взрывоопасной пыли. Размеры частиц менее 350 мкм. Теплота сгорания резиновой крошки  $H_T = 27000$  кДж.

Наибольшее количество взвешенной в воздухе пыли может быть в случае аварийного разрушения транспортной линии и выброса пыли в помещение. Время аварийного поступления пыли в помещение для случая ручного отключения системы составляет 5 минут.

В этом случае количество пыли, поступившей в помещение, будет равняться:

$$M_{ав} = 0 + \frac{1000 \cdot 0,12 \cdot 5}{60} = 10 \text{ кг.}$$

Расчетное количество осевшей пыли:

$$M_n = 12 + 8 = 20 \text{ кг.}$$

Количество взвихрившейся пыли:

$$M_{вз} = 0,9 \cdot 20 = 18 \text{ кг.}$$

Общее количество взрывоопасной пыли в помещении:

$$M = 18 + 10 = 28 \text{ кг.}$$

Давление взрыва:

$$p = \frac{0,1 \cdot 28 \cdot 27000 \cdot 0,5}{0,8 \cdot 18000} = 2,63, \text{ кПа.}$$

Определим пожарную нагрузку:

$$Q = 24000 \cdot 21,7 = 520800 \text{ МДж.}$$

Удельная пожарная нагрузка составит:

$$q = \frac{520800}{2000} = 260, \text{ МДж/м}^2.$$

## ЗАДАНИЕ 9

Город Барнаул. Максимальная скорость ветра (см. задание), м/с. Структура зданий: малоэтажные и многоэтажные кирпичные здания. Количество людей в одном здании (см. задание), человек. Определить степень разрушения зданий и структуру потерь людей с учетом количества людей в здании.

№ варианта	Максимальная скорость ветра	Количество людей в одном здании	№ варианта	Максимальная скорость ветра	Количество людей в одном здании
1	25	250	13	42	400
2	30	350	14	50	300

№ варианта	Максимальная скорость ветра	Количество людей в одном здании	№ варианта	Максимальная скорость ветра	Количество людей в одном здании
3	32	400	15	55	320
4	28	300	16	34	420
5	45	320	17	46	400
6	52	420	18	38	360
7	60	400	19	44	200
8	33	360	20	45	380
9	29	200	21	50	500
10	35	440	22	52	460
11	37	460	23	59	480
12	27	450	24	47	340

### Рекомендации к решению задачи

По скорости ветра определить степень разрушения зданий (табл. 14, приложения).

Определить структуру потерь людей (табл. 15, приложения) (общие, безвозвратные, санитарные).

### Пример решения задачи

Город Барнаул. Максимальная скорость ветра 48 м/с. Структура зданий: малоэтажные и многоэтажные кирпичные здания. Количество людей в одном здании - 300 человек. Определить степень разрушения зданий и структуру потерь людей с учетом количества людей в здании.

В соответствии с табл. 14 (прил.) для малоэтажных и многоэтажных кирпичных зданий при скорости ветра 48 м/с степень разрушения здания - сильная.

В соответствии с табл. 15 (прил.) потери людей составляют:

общие - 60 %, что от 300 человек составляет 180 человек;

безвозвратные - 15 %, что от 300 человек составляет 45 человек;

санитарные - 45 %, что от 300 человек составляет 135 человек.

### ЗАДАНИЕ 10

Из оценки обстановки известно, что химическое предприятие находится на расстоянии  $R_3 = 3,5$  км к северо-востоку от г. Волгоград. На предприятии в (см. задание) емкостях хранится  $G$  ( см. задание), т, вещества (см. задание) с удельной плотностью (табл. 11, приложения). Из долгосрочных метеорологических наблюдений известно, что скорость ветра в приземном слое составляет порядка  $V=1$  м/с.

Определить время подхода зараженного воздуха к населенному пункту, расположенному по направлению ветра в 6 км от объекта и время поражающего действия вещества.

№ варианта	Емкости	Вещество	Масса СДЯВ	№ варианта	Емкости	Вещество	Масса СДЯВ
1	Обвалованные	Аммиак	150	13	Обвалованные	Хлор	200
2	Необвалованные	Хлор	100	14	Необвалованные	Фосген	160
3	Обвалованные	Фосген	120	15	Необвалованные	Аммиак	180
4	Обвалованные	Сероводород	130	16	Обвалованные	Сероводород	160
5	Необвалованные	сернистый ангидрид	200	17	Необвалованные	Сернистый ангидрид	100
6	Необвалованные	Хлор	160	18	Обвалованные	Хлор	130
7	Обвалованные	Фосген	180	19	Необвалованные	Аммиак	150
8	Обвалованные	Аммиак	160	20	Необвалованные	Хлор	100
9	Необвалованные	Хлор	100	21	Обвалованные	Фосген	120
10	Обвалованные	Фосген	130	22	Обвалованные	Аммиак	130
11	Необвалованные	Сероводород	140	23	Необвалованные	Сероводород	200
12	Необвалованные	Сернистый ангидрид	170	24	Обвалованные	Сернистый ангидрид	160

### Рекомендации к решению задачи

Определение площади разлива вещества (СДЯВ)

$$S_p = \frac{G}{\rho \cdot d},$$

где  $G$  - масса СДЯВ, т;

$\rho$  - удельная плотность, т/м<sup>3</sup> (табл.11. приложения);

$d$  - толщина слоя разлива СДЯВ, м (для необвалованных емкостей  $d=0,05$ м, для обвалованных  $d=0,45 - 0,5$ м).

В параметры района разлива СДЯВ входят: длина  $L$  и ширина  $b$  района, а в идеальном случае район разлива – это окружность с радиусом  $r_p$ , м.

$$r = \sqrt{\frac{S_p}{\pi}}.$$

Определить время подхода зараженного воздуха к населенному пункту, расположенному по направлению ветра в 6 км от объекта.

$$t_{\text{подх}} = \frac{R}{V_{\text{ср}} \cdot 60}, \text{ МИН,}$$

где  $R$  - расстояние от места разлива СДЯВ до заданного рубежа, м;  
 $V_{\text{ср}}$  - средняя скорость переноса облака воздушным потоком, м/с.

$$V_{\text{ср}} = (1,5 \div 2)V, \text{ м/с,}$$

где  $V$  - скорость ветра в приземном слое, м/с;  
 1,5 - при  $R < 10$  км;  
 2 - при  $R > 10$  км.

Определить время поражающего действия вещества

$$t_{\text{пораж}} = t_{\text{исп}} \cdot K_{\text{поп}},$$

где  $t_{\text{исп}}$  - время испарения СДЯВ (табл. 16 приложения);  
 $K_{\text{поп}}$  - поправочный коэффициент (табл. 17 приложения).

### Пример решения задачи

Из оценки обстановки известно, что химическое предприятие находится на расстоянии  $R_3 = 3,5$  км к северо-востоку от г. Волгоград. На предприятии в необвалованных емкостях хранится  $G = 100$  т аммиака с удельной плотностью  $\rho = 0,681$  т/м<sup>3</sup>. Из долгосрочных метеорологических наблюдений известно, что скорость ветра в приземном слое составляет порядка  $V = 1$  м/с.

Определить время подхода зараженного воздуха к населенному пункту, расположенному по направлению ветра в 6 км от объекта и время поражающего действия аммиака.

Определение площади разлива аммиака (СДЯВ)

$$S_p = \frac{G}{\rho \cdot d} = \frac{100}{0,681 \cdot 0,05} = 2941 \text{ м}^2 \approx 3000 \text{ м}^2.$$

В параметры района разлива СДЯВ входят: длина  $L$  и ширина  $b$  района, а в идеальном случае район разлива – это окружность с радиусом  $r_p$ , м.

$$r = \sqrt{\frac{S_p}{\pi}} = \sqrt{\frac{2941}{3,14}} = 30,6 \text{ м.}$$

Следовательно, радиус разлива  $r_p = 31$  м и при  $L = b = 2r_p$ , т.е. район разлива имеет длину и ширину 62 м.

Определить время подхода зараженного воздуха к населенному пункту, расположенному по направлению ветра в 3,5 км от объекта.

$$t_{\text{подх}} = \frac{R}{V_{\text{ср}} \cdot 60} = \frac{3500}{1,5 \cdot 60} = 39, \text{ МИН,}$$

т.к. расстояние  $R_3 = 3,5$  км  $< 10$  км  $V_{\text{ср}} = 1,5 \cdot 1 = 1,5$  м/с.

Определить время поражающего действия аммиака:

$$t_{\text{пораж}} = t_{\text{исп}} \cdot K_{\text{поп}} = 1,2 \cdot 1 = 1,2 \text{ ч (72 мин)}.$$

Время испарения аммиака по табл. 16 приложения  $t_{\text{исп}} = 1,2 \text{ ч}$ .

Поправочный коэффициент по табл. 17 приложения при  $v=1 \text{ м/с}$   $K_{\text{поп}}=1$ .

## ЗАДАНИЕ 11

В результате аварии на объекте, расположенном на расстоянии (см. задание) км от города, произошло разрушение емкости с веществом (см. задание). Метеоусловия: изотермия, скорость ветра 4 м/с, температура воздуха (см. задание), °С. Определить время поражающего действия АХОВ и время подхода облака зараженного воздуха к границе города.

№ варианта	Расстояние от города, км	Вещество	Температура воздуха, °С	№ варианта	Расстояние от города, км	Вещество	Температура воздуха, °С
1	10	Аммиак	-25	13	3	Хлор	-27
2	8	Хлор	-40	14	5	Метиламин	-25
3	3	Фосген	+25	15	9	Аммиак	+26
4	5	Аммиак	+28	16	7	Хлор	-40
5	9	Фосген	+22	17	8	Сероводород	+25
6	7	Оксид азота	+30	18	6	Ацетонитрил	+28
7	8	Хлор	-20	19	4	Аммиак	+22
8	6	Сероводород	-18	20	5	Хлор	+30
9	4	Хлорпикрин	-40	21	6	Окислы азота	-26
10	5	Аммиак	-26	22	3	Хлор	+31
11	8	Фосген	+31	23	5	Водород бромистый	-40
12	9	Оксид этилена	-40	24	8	Фосген	-18

### Рекомендации к решению задачи

Время поражающего действия определяется по формуле:

$$T = \frac{h \cdot \rho}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7}, \text{ ч,}$$

где  $h$  - толщина слоя жидкости для АХОВ, разлившихся свободно на подстилающей поверхности, принимается равной 0,05 м по всей площади разлива, м;

$\rho$  - плотность АХОВ, т/м<sup>3</sup> (табл. 11, приложения);

$K_2$  - коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ (табл. 11, приложения);



$K_4$  - коэффициент, учитывающий скорость ветра (табл. 20, приложения);

$K_7$  - коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха (табл. 11, приложения).

Время подхода облака к городу определяется по формуле:

$$t = \frac{L}{V},$$

где  $L$  - расстояние от источника заражения до объекта, км;

$V$  - скорость переноса переднего фронта облака, км/ч (табл. 12, приложения).

### Пример решения задачи

В результате аварии на объекте, расположенном на расстоянии 5 км от города, произошло разрушение емкости с хлором. Метеоусловия: изотермия, скорость ветра 4 м/с, температура воздуха +25 °С. Определить время поражающего действия АХОВ и время подхода облака зараженного воздуха к границе города.

Время поражающего действия определяется по формуле:

$$T = \frac{h \cdot \rho}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7} = \frac{0,05 \cdot 1,553}{0,052 \cdot 2 \cdot 1,1} = 0,678 \text{ ч (41 мин)}.$$

Коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха, определяется из табл. 11 приложения, т.к. для первичного облака при температуре +20 °С  $K_7=1$ , а при температуре +40 °С  $K_7=1,4$ . Интерполируя, получаем для температуры +25 °С  $K_7=1,1$ .

Время подхода облака к городу определяется по формуле:

$$t = \frac{L}{V} = \frac{5}{24} = 0,21 \text{ ч} = 12,5 \text{ мин}.$$

### ЗАДАНИЕ 12

Определить вероятное время возникновения оползня в горизонтальных склонах. Исходные данные: прогнозируемый период  $T=50$  лет, значение среднего начального коэффициента устойчивости склона  $K_{cp}^n$  (см. задание). Сравнительно равномерный подмыв подошвы склона и сопутствующие процессы обуславливают среднее годовое уменьшение коэффициента его устойчивости  $\Delta K_{cp}$  (см. задание), среднее годовое отрицательное отклонение коэффициента устойчивости склона в результате колебаний его водонасыщения и пригрузки основания наносами  $A_{cp}=3 \times 10^{-2}$ ,  $A_{max}=0,1$ .

№ варианта	$K_{\text{cp}}^{\text{H}}$	$\Delta K_{\text{cp}}$	№ варианта	$K_{\text{cp}}^{\text{H}}$	$\Delta K_{\text{cp}}$
1	1,28	$5 \times 10^{-3}$	13	1,23	$4 \times 10^{-3}$
2	1,3	$7 \times 10^{-3}$	14	1,26	$5 \times 10^{-3}$
3	1,29	$6 \times 10^{-3}$	15	1,31	$7 \times 10^{-3}$
4	1,27	$4 \times 10^{-3}$	16	1,38	$5 \times 10^{-3}$
5	1,25	$8 \times 10^{-3}$	17	1,3	$6 \times 10^{-3}$
6	1,34	$5 \times 10^{-3}$	18	1,29	$7 \times 10^{-3}$
7	1,33	$4 \times 10^{-3}$	19	1,27	$8 \times 10^{-3}$
8	1,25	$6 \times 10^{-3}$	20	1,25	$9 \times 10^{-3}$
9	1,30	$9 \times 10^{-3}$	21	1,34	$5 \times 10^{-3}$
10	1,32	$4 \times 10^{-3}$	22	1,33	$4 \times 10^{-3}$
11	1,27	$7 \times 10^{-3}$	23	1,28	$7 \times 10^{-3}$
12	1,20	$8 \times 10^{-3}$	24	1,3	$6 \times 10^{-3}$

### Рекомендации к решению задачи

Рассчитываем вероятное время смещения оползня:

$$\text{от } \frac{K_{\text{cp}}^{\text{H}} - A_{\text{max}} - 1}{\Delta K_{\text{cp}}} \text{ лет до } \frac{K_{\text{cp}}^{\text{H}} - A_{\text{cp}} - 1}{\Delta K_{\text{cp}}} \text{ лет.}$$

Вывод. Указать, можно ли возводить на этом месте объект со сроком эксплуатации в 50 лет.

### Пример решения задачи

Определить вероятное время возникновения оползня в горизонтальных склонах. Исходные данные: прогнозируемый период  $T=50$  лет, значение среднего начального коэффициента устойчивости склона  $K_{\text{cp}}^{\text{H}}=1,27$ . Сравнительно равномерный подмыв подошвы склона и сопутствующие процессы обуславливают среднее годовое уменьшение коэффициента его устойчивости  $\Delta K_{\text{cp}}=5 \times 10^{-3}$ , среднее годовое отрицательное отклонение коэффициента устойчивости склона в результате колебаний его водонасыщения и пригрузки основания наносами  $A_{\text{cp}}=3 \times 10^{-2}$ ,  $A_{\text{max}}=0,1$ .

Рассчитываем вероятное время смещения оползня:

$$\text{от } \frac{1,27 - 0,1 - 1}{5 \times 10^{-3}} = 34 \text{ лет до } \frac{1,27 - 3 \times 10^{-2} - 1}{5 \times 10^{-3}} = 48 \text{ лет.}$$

Вывод. Нельзя возводить на этом месте объект со сроком эксплуатации в 50 лет.

### ЗАДАНИЕ 13

Определить глубину распространения АХОВ и площади зон возможного и фактического заражения, время подхода зараженного воздуха к населенному пункту на расстоянии 200 км от источника при аварии на химически опасном объекте, при следующих исходных данных: тип АХОВ - см. задание; количество АХОВ  $Q_0$  (см. задание), т; условия хранения АХОВ - жидкость под давлением; высота обвалования  $H$  (см. задание), м; метеоусловия - изотермия; температура воздуха  $t_b = 20$  °С; скорость ветра  $V$  (см. задание), м/с.

№ варианта	АХОВ	$Q_0$ , т	$H$ , м	$V$ , м/с	№ варианта	АХОВ	$Q_0$ , т	$H$ , м	$V$ , м/с
1	Ацетонитрил	100	2,5	1	13	Сероуглерод	98	3,0	1
2	Фтор	120	2,0	4	14	Триметиламин	96	1,5	4
3	Хлор	110	3,0	5	15	Формальдегид	94	2,0	5
4	Сероводород	98	1,5	2	16	Акролеин	110	2,5	2
5	Метиламин	96	2,0	1	17	Фосген	94	3,0	1
6	Оксиды азота	94	2,5	3	18	хлорпикрин	150	2,5	3
7	Сероуглерод	110	3,0	4	19	Ацетонитрил	98	2,0	4
8	Триметиламин	94	2,5	5	20	Фтор	96	3,0	5
9	Формальдегид	150	2,0	6	21	Хлор	94	2,5	2
10	Акролеин	140	1,5	4	22	Сероводород	110	2,0	1
11	Фосген	90	1,5	3	23	Метиламин	94	1,5	3
12	хлорпикрин	92	2,0	2	24	Оксиды азота	150	3,0	6

#### Рекомендации к решению задачи

Вычисляем эквивалентное количество АХОВ, перешедшее в первичное и вторичное облака.

Вычисляем эквивалентное количество АХОВ, перешедшее в первичное облако.

$$Q_{01} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0, \text{ т,}$$

где  $K_1$  - коэффициент, зависящий от хранения АХОВ, (табл. 11 приложения);

$K_3$  - вспомогательный коэффициент (табл.11 приложения);

$K_5$  - коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости воздуха равный: 1- для инверсии, 0,23 - для изотермии, 0,08- для конвекции;

$K_7$  - коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха на скорость образования первичного облака, (табл.11 приложения);

$Q_0$  - количество выброшенного при аварии АХОВ, т.

Вычисляем эквивалентное количество АХОВ, перешедшее во вторичное облако.

$$Q_{\text{э2}} = (1 - K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7'' \cdot \frac{Q_0}{h \cdot d}, \text{ т,}$$

где  $K_2$  - коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ (табл. 11 приложения);

$K_4$  - коэффициент, учитывающий скорость ветра (табл.20 приложения);

$K_6$  - коэффициент, зависящий от времени прошедшего после аварии ( $N$ ), и определяется по формулам:

$$K_6 = N^{0,8} \text{ при } N < T,$$

$$K_6 = T^{0,8} \text{ при } N \geq T,$$

где  $N$  - предельная продолжительность сохранения метеоусловий  $N = 4$  ч;  
 $T$  - время испарения АХОВ с площади разлива, ч;

$$\text{для вторичного облака } T = \frac{hd}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7''} \text{ ч;}$$

$K_7$  - коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха на скорость образования первичного облака (табл. 11 приложения);

$h$  - толщина слоя жидкостей АХОВ, принимается:

для разлившихся свободно 0,05;

для жидкостей, имеющих самостоятельный поддон (обвалование),

$$h = H - 0,2;$$

для жидкостей, имеющих общий поддон (обвалование) для групп

$$\text{пы, } h = \frac{Q_0}{Fd},$$

где  $F$  - реальная площадь разлива в поддон, м<sup>2</sup>;

$d$  - плотность АХОВ, т/м<sup>3</sup> (табл. 11 приложения).

Определяем максимальные значения глубин зон заражения первичным  $\Gamma_1$  или вторичным  $\Gamma_2$  облаком АХОВ в зависимости от эквивалентного количества вещества и скорости ветра (табл. 22 приложения).

Общая глубина зоны заражения  $\Gamma_{\text{об}}$ , обусловленная первичным и вторичным облаками, определяется по формуле

$$\Gamma_{\text{об}} = \max\{\Gamma_1; \Gamma_2\} + 0,5 \min\{\Gamma_1; \Gamma_2\}, \text{ км.}$$

Степень вертикальной устойчивости воздуха значительно влияет на скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха, что не в полной мере учтено табл. 22 приложения, ввиду чего дополнительно рассчитывается глубина переноса переднего фронта зараженного воздуха:

$$\Gamma_{\text{п}} = N \cdot V_{\text{п}}, \text{ км,}$$

где  $V_{\text{п}}$  - скорость переноса переднего фронта облака (табл. 12 приложения), км/ч.

За расчетную глубину зоны принимается минимальная из величин  $\Gamma_{об}$  и  $\Gamma_{п}$ :

$$\Gamma = \min \{ \Gamma_{об}; \Gamma_{п} \}, \text{ км.}$$

Определяем зону возможного заражения. Зона возможного заражения - это пространство, в котором может распространиться АХОВ при данных метеоусловиях:

$$S = 8,73 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma^2 \cdot \varphi / 360, \text{ км}^2,$$

где  $\varphi$  - угловые размеры зоны, определяемые в зависимости от скорости ветра (табл. 21 приложения).

Определяем зону фактического заражения. Зоной фактического заражения называется территория, воздушное пространство которой заражено АХОВ в опасных для жизни пределах. Конфигурация зоны фактического заражения близка к эллипсу, ее размеры меньше зоны возможного заражения и с высокой вероятностью не выходят за ее пределы.

$$S_{\phi} = K_8 \cdot \Gamma^2 \cdot \Theta^{0,2}, \text{ км}^2,$$

где  $K_8$  - коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха: для инверсии  $K_8 = 0,081$ , для изотермии  $K_8 = 0,133$ , для конвекции  $K_8 = 0,235$ ;  
 $\Theta = \min \{ N, T_{\phi} \}, T_{\phi} = \Gamma / V_{п}$ .

В необходимых случаях рассчитывается время подхода зараженного воздуха к заданному рубежу

$$t = \frac{X}{V_n}, \text{ ч,}$$

где  $X$  - расстояние от источника зараженного до выбранного рубежа, км.

### Пример решения задачи

Определить глубину распространения АХОВ и площади зон возможного и фактического заражения, время подхода зараженного воздуха до населенного пункта на расстоянии 200 км от источника при аварии на химически опасном объекте при следующих исходных данных: тип АХОВ - хлор; количество АХОВ  $Q_0 = 96$  т; условия хранения АХОВ - жидкость под давлением; высота обвалования  $H = 2$  м; метеоусловия - изотермия; температура воздуха  $t_b = 20$  °С; скорость ветра  $V = 2$  м/с.

Вычисляем эквивалентное количество АХОВ, перешедшее в первичное и вторичное облака.

Вычисляем эквивалентное количество АХОВ, перешедшее в первичное облако.

$$Q_{31} = 0,18 \cdot 1 \cdot 0,23 \cdot 1 \cdot 96 = 3,97 \text{ т.}$$

Вычисляем эквивалентное количество АХОВ, перешедшее во вторичное облако:

$$Q_{32} = (1 - 0,18) \cdot 0,052 \cdot 1 \cdot 1,33 \cdot 0,23 \cdot 3,03 \cdot 1 \cdot \frac{96}{1,8 \cdot 1,553} = 1,36 \text{ т,}$$

для вторичного облака

$$T = \frac{1,8 \cdot 1,553}{0,052 \cdot 1,33 \cdot 1} = 40,4 \text{ ч,}$$

т.к.  $T > N = 40,4 > 4$   $K_6 = 4^{0,8} = 3,03$ .

Так как по условию задачи жидкость имеет самостоятельную поддон,  $h = 2 - 0,2 = 1,8 \text{ м.}$

Определяем максимальные значения глубин зон заражения первичным  $\Gamma_1$  или вторичным  $\Gamma_2$  облаком АХОВ в зависимости от эквивалентного количества вещества и скорости ветра (табл. 22 приложения):

при  $V=2 \text{ м/с}$  и  $Q_{31} = 3,97 \text{ т}$  (интерполируя)  $\Gamma_1 = 6,25 \text{ км}$ ;

при  $V=2 \text{ м/с}$  и  $Q_{32} = 1,36 \text{ т}$  (интерполируя)  $\Gamma_2 = 3,3 \text{ км}$ .

Общая глубина зоны заражения  $\Gamma_{об}$  обусловленная первичным и вторичным облаками, определяется по формуле

$$\Gamma_{об} = \max\{\Gamma_1; \Gamma_2\} + 0,5 \min\{\Gamma_1; \Gamma_2\}, \text{ км};$$

$$\Gamma_{об} = 6,25 + 0,5 \cdot 3,3 = 7,9 \text{ км.}$$

Степень вертикальной устойчивости воздуха значительно влияет на скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха, что не в полной мере учтено в табл. 22 приложения, ввиду чего дополнительно рассчитывается глубина переноса переднего фронта зараженного воздуха:

В соответствии с табл. 12 приложения при скорости ветра  $2 \text{ м/с}$  и метеоусловиях - изотермия  $V_n = 12 \text{ км/ч}$ .

$$\Gamma_n = 4 \cdot 12 = 48 \text{ км.}$$

За расчетную глубину зоны принимается минимальная из величин  $\Gamma_{об}$  и  $\Gamma_n$ :  $\Gamma = 7,9 \text{ км}$ .

Определяем зону возможного заражения

$$S = 8,73 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma^2 \cdot \varphi / 360 = 8,73 \cdot 10^{-3} \cdot 7,9^2 \cdot 90 = 49 \text{ км}^2.$$

Определяем зону фактического заражения

$$T_{\phi} = 7,9 / 12 = 0,66 \quad S_{\phi} = 0,133 \cdot 7,9^2 \cdot 0,66^{0,2} = 7,6 \text{ км}^2.$$

Предположим, нас интересует, когда зараженный воздух подойдет к населенному пункту на расстоянии  $200 \text{ км}$  от источника взрыва.

$$t = \frac{X}{V_n} = \frac{200}{12} = 16,7, \text{ ч.}$$

## ЗАДАНИЕ 14

На химически опасном объекте произошел выброс фосгена. Определить ожидаемые общие потери населения и их структуру при следующих исходных данных:

- глубина распространения облака зараженного воздуха  $\Gamma$  (см. задание), км, в том числе в городе  $\Gamma_r$  (см. задание), км;
- площадь зоны фактического заражения  $S_\phi = 25,8 \text{ км}^2$ ;
- средняя плотность населения в городе  $\Delta$  (см. задание), чел/км<sup>2</sup>; в загородной зоне  $\Delta' = 140 \text{ чел/км}^2$ ;
- обеспеченность населения противогазами - в городе  $n_1 = 60 \%$ ; в загородной зоне  $n'_1 = 50 \%$ ;
- обеспеченность населения убежищами - в городе  $n_2 = 10 \%$ ; в загородной зоне  $n'_2 = 0 \%$ .

№ варианта	$\Gamma$ , км	$\Gamma_r$ , км	$\Delta$ , чел/км <sup>2</sup>	№ варианта	$\Gamma$ , км	$\Gamma_r$ , км	$\Delta$ , чел/км <sup>2</sup>
1	14	6	2900	13	10	6	3500
2	15	7	3000	14	11	8	3200
3	16	5	3500	15	15	7	2800
4	12	4	3200	16	12	6	2700
5	10	6	2800	17	14	5	3400
6	11	8	2700	18	13	4	2600
7	15	7	3400	19	15	8	3900
8	12	6	2600	20	12	5	2900
9	14	5	3900	21	14	7	3000
10	13	4	2800	22	15	6	3500
11	15	8	3800	23	16	5	3200
12	12	5	3700	24	12	4	2600

### Рекомендации к решению задачи

Вычисляются доля незащищенного населения:

- в городе  $K = 1 - n_1 - n_2$ ;
- в загородной зоне  $K' = 1 - n'_1 - n'_2$ .

Вычисляются возможные общие потери населения в очаге поражения:

$$P^0 = S_\phi \cdot \left[ \frac{\Gamma_z}{\Gamma} \cdot \Delta \cdot K + \left( 1 - \frac{\Gamma_z}{\Gamma} \right) \cdot \Delta' \cdot K' \right], \text{ чел.}$$

Для оперативных расчетов принимается, что структура людских потерь в очаге поражения АХОВ составит:

- 35 % - безвозвратные;
- 40 % - санитарные потери тяжелой и средней форм тяжести (выход людей из строя не менее чем на 2-3 недели с обязательной госпитализацией);
- 25% - санитарные потери легкой формы тяжести.

### Пример решения задачи

На химически опасном объекте произошел выброс фосгена. Определить ожидаемые общие потери населения и их структуру при следующих исходных данных:

- глубина распространения облака зараженного воздуха  $\Gamma = 12$  км, в том числе в городе  $\Gamma_r = 5$  км;
- площадь зоны фактического заражения  $S_{\phi} = 25,8$  км<sup>2</sup>;
- средняя плотность населения в городе  $\Delta = 2800$  чел/км<sup>2</sup>, в загородной зоне  $\Delta' = 140$  чел/км<sup>2</sup>;
- обеспеченность населения противогАЗами - в городе  $n_1 = 60$  %; в загородной зоне  $n'_1 = 50$  %;
- обеспеченность населения убежищами - в городе  $n_2 = 10$  %; в загородной зоне  $n'_2 = 0$  %.

Вычисляются доля незащищенного населения:

- в городе  $K = 1 - 0,6 - 0,1 = 0,3$ ;
- в загородной зоне  $K' = 1 - 0,5 - 0 = 0,5$ .

Вычисляются возможные общие потери населения в очаге поражения:

$$P^0 = 25,8 \cdot \left[ \frac{5}{12} \cdot 2800 \cdot 0,3 + \left( 1 - \frac{5}{12} \right) \cdot 140 \cdot 0,5 \right] = 10083 \text{ чел.}$$

Для оперативных расчетов принимается, что структура людских потерь в очаге поражения АХОВ составит:

- 35 % - безвозвратные:  $10083 \cdot 0,35 = 3529$  чел;
- 40 % - санитарные потери тяжелой и средней форм тяжести:  $10083 \times 0,40 = 4033$  чел;
- 25% - санитарные потери легкой формы тяжести:  $10083 \cdot 0,25 = 2521$  чел.

### 3. Оценка радиационной обстановки при чрезвычайных ситуациях

Под радиационной обстановкой понимают совокупность последствий радиоактивного загрязнения (заражения) местности, оказывающих влияние на деятельность объектов народного хозяйства, сил ГО и населения.

Радиационная обстановка характеризуется масштабами (размерами зон) и характером радиоактивного загрязнения (заражения) (уровнем радиации). Размеры зон радиоактивного загрязнения (заражения) и уровни радиации являются основными показателями степени опасности радиоактивного заражения для людей.



## ЗАДАЧА 15

Формированию ГО предстоит работать  $T$  (см. задание), ч, на радиоактивно загрязненной местности ( $K_{\text{осл}} = 1$ ). Определить дозу излучения, которую получит личный состав формирования при входе в зону через  $t$  (см. задание), ч, после аварии, если уровень радиации к этому времени составил  $P_n$  (см. задание), рад/ч.

№ варианта	$T$ , ч	$t$ , ч	$P_n$ , рад/ч	№ варианта	$T$ , ч	$t$ , ч	$P_n$ , рад/ч
1	5	2	6	13	2	4	2
2	4	3	4	14	6	6	4
3	6	4	7	15	5	2	5
4	5	2	8	16	4	5	6
5	4	2	5	17	5	4	4
6	5	4	4	18	6	5	7
7	3	3	9	19	4	3	8
8	4	5	8	20	4	2	5
9	2	6	7	21	5	4	4
10	3	4	5	22	2	6	9
11	6	2	2	23	4	5	8
12	8	6	4	24	6	2	3

### Рекомендации к решению задачи

Доза излучения, которую получит личный состав формирования за время работ, рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{1,7(P_k \cdot t_k - P_n \cdot t_n)}{K_{\text{осл}}}, \text{ рад,}$$

где  $P_n$ ,  $P_k$  - уровни радиации соответственно в начале ( $t_n$ ) и в конце ( $t_k$ ) пребывания в зоне заражения;  
 $K_{\text{осл}}$  - коэффициент ослабления.

$$P_k = P_n \cdot \frac{K_k}{K_n}, \text{ рад/ч,}$$

где  $K_n, K_k$  - коэффициенты для пересчета уровней радиации (табл. 25, прил.).

### Пример решения задачи

Формированию ГО предстоит работать  $T=6$  ч на радиоактивно загрязненной местности ( $K_{\text{осл}} = 1$ ). Определить дозу излучения, которую получит личный состав формирования при входе в зону через  $t=4$  ч после аварии, если уровень радиации к этому времени составил  $P_n = 5$  рад/ч.

Определяем

$$t_k = t_n + T = 4 + 6 = 10 \text{ ч.}$$

Уровень радиации соответственно в конце ( $t_k$ ) пребывания в зоне заражения

$$P_k = P_n \cdot \frac{K_{10}}{K_4} = 5 \cdot \frac{0,4}{0,575} = 3,5 \text{ рад/ч.}$$

Доза излучения, которую получит личный состав формирования за время работ

$$D = \frac{1,7(P_k \cdot t_k - P_n \cdot t_n)}{K_{\text{осл}}} = \frac{1,7(3,5 \cdot 10 - 5 \cdot 4)}{1} = 25,5, \text{ рад.}$$

## ЗАДАЧА 16

Определить допустимую продолжительность работы личного состава формирования ГО на радиоактивно загрязненной местности, если измеренный уровень радиации при входе в зону через  $t_n$  (см. задание), ч, после аварии составлял  $P_2$  (см. задание), рад/ч. Заданная доза излучения  $D_{\text{зад}}$  (см. задание), рад.

№ варианта	$t_n$ , ч	$P_2$ , рад/ч	$D_{\text{зад}}$ , рад.	№ варианта	$t_n$ , ч	$P_2$ , рад/ч	$D_{\text{зад}}$ , рад.
1	2	4	10	13	2	3	10
2	4	2	8	14	1	5	8
3	3	3	9	15	4	6	9
4	4	5	10	16	3	4	10
5	2	6	8	17	4	5	8
6	1	4	9	18	2	3	9
7	3	5	10	19	1	6	10
8	4	3	8	20	3	4	11
9	5	6	9	21	4	2	12
10	2	7	10	22	5	3	10
11	3	5	11	23	2	5	9
12	4	4	12	24	3	4	8

## Рекомендации к решению задачи

Находим отношение

$$\alpha = \frac{P_1}{D_{\text{зад}} \cdot K_{\text{осл}}} = \frac{P_n}{K_n \cdot D_{\text{зад}} \cdot K_{\text{осл}}},$$

где  $D_{\text{зад}}$  - заданная доза излучения, рад;

$K_k$  - коэффициент для пересчета уровней радиации (табл. 25. приложения).

По табл. 26 приложения по значениям  $\alpha$  и  $t_n$  определяем допустимую продолжительность пребывания людей на радиоактивно загрязненной местности.

## Пример решения задачи

Определить допустимую продолжительность работы личного состава формирования ГО на радиоактивно загрязненной местности, если измеренный уровень радиации при входе в зону через  $t_H=2$  ч после аварии составлял  $P_2=3$  рад/ч. Заданная доза излучения  $D_{\text{зад}}=10$  рад.

При  $t_H=2$  ч  $K_H=0,76$ .

$$\alpha = \frac{3}{0,76 \cdot 10 \cdot 1} = 0,4.$$

В соответствии с табл. 26 приложения по значениям  $\alpha=0,4$  и  $t_H=2$  ч определяем допустимую продолжительность пребывания людей на радиоактивно загрязненной местности,  $T=4$  ч.

## ЗАДАЧА 17

Определить дозу излучения сельского населения при проживании его на местности с уровнем первоначального загрязнения по цезию-137  $N_0$  (см. задание), Ки/км<sup>2</sup>, за период от  $t_1=10$  лет до  $t_2=70$  лет после аварии, когда доза в основном будет определяться цезием-137.  $T=30$  лет,  $K_{\text{осл}}=2,5$ ,  $E$  (см. задание), МэВ,  $n=1$ .

№ варианта	$N_0$ , Ки/км <sup>2</sup>	$E$ , МэВ	№ варианта	$N_0$ , Ки/км <sup>2</sup>	$E$ , МэВ
1	5	0,5	13	7	2,0
2	6	0,25	14	5	3,0
3	8	0,1	15	8	0,2
4	4	0,5	16	6	0,5
5	7	2,0	17	4	0,25
6	5	3,0	18	7	0,1
7	8	1,0	19	5	0,5
8	6	0,25	20	6	2,0
9	4	0,5	21	8	3,0
10	7	0,1	22	7	1,0
11	5	0,5	23	5	0,25
12	6	2,0	24	6	0,5

## Рекомендации к решению задачи

Доза излучения определяется по формуле:

$$D = \frac{1,44 \cdot T \cdot P_0}{K_{\text{осл}}} \cdot (2^{-t_1/T} - 2^{-t_2/T}), \text{ рад,}$$

где  $T$  - период полураспада радионуклидов, лет;  
 $P_0$  - первоначальный (исходный) уровень радиации, соответствующий первоначальной поверхностной активности радионуклида.

$$P_0 = 0,2 \cdot \mu \cdot E \cdot N_0 \cdot n, \text{ рад/ч,}$$

где  $n$  - число гамма-квантов, приходящихся на один распад;  
 $\mu$  - линейный коэффициент ослабления гамма-лучей воздухом (табл. 27 приложения);  
 $E$  - энергия гамма-квантов, МэВ.

### Пример решения задачи

Определить дозу излучения сельского населения при проживании его на местности с уровнем первоначального загрязнения по цезию-137  $N_0 = 5 \text{ Ки/км}^2$  за период от  $t_1 = 10$  лет до  $t_2 = 70$  лет после аварии, когда доза в основном будет определяться цезием-137.

$T = 30$  лет,  $K_{\text{осл}} = 2,5$ ,  $E = 0,7$  МэВ,  $n = 1$ .

Первоначальный уровень радиации, соответствующий первоначальной поверхностной активности радионуклида,

$$P_0 = 0,2 \cdot 0,95 \cdot 10^{-4} \cdot 0,7 \cdot 5 = 0,66 \cdot 10^{-4}, \text{ рад/ч,}$$

$$0,66 \cdot 10^{-4} \cdot 24 \cdot 365 = 0,6 \text{ рад/год.}$$

Доза излучения определяется по формуле:

$$D = \frac{1,44 \cdot 30 \cdot 0,6}{2,5} \cdot (2^{-10/30} - 2^{-70/30}) = 6,2 \text{ рад.}$$

### ЗАДАЧА 18

В районе расположения цеха были измерены уровни радиации в  $t_1$  (см. задание),  $P_{t1}$  (см. задание), рад/ч и в  $t_2$  (см. задание) -  $P_{t2}$  (см. задание), рад/ч. Определить время взрыва.

№ варианта	$t_1$ , ч	$P_{t1}$ , рад/ч	$t_2$ , ч	$P_{t2}$ , рад/ч	№ варианта	$t_1$ , ч	$P_{t1}$ , рад/ч	$t_2$ , ч	$P_{t2}$ , рад/ч
1	8.30	60	8.45	55	13	8.30	85	8.45	75
2	10.00	50	11.00	45	14	10.00	75	11.00	65
3	9.00	55	9.30	50	15	9.00	70	9.30	60
4	11.15	65	11.30	50	16	11.15	60	11.30	55
5	11.00	70	12.00	65	17	11.00	60	12.00	50
6	10.15	65	11.15	50	18	10.15	50	11.15	45
7	11.00	60	11.30	45	19	11.00	55	11.30	40
8	9.15	80	9.45	65	20	9.15	65	9.45	55
9	9.00	85	9.30	70	21	9.00	70	9.30	60
10	11.00	75	11.30	60	22	11.00	65	11.30	60
11	10.00	70	11.00	65	23	10.00	60	11.00	45
12	11.30	60	12.00	55	24	11.30	80	12.00	75

## Рекомендации к решению задачи

Определяем промежуток между измерениями  $\Delta t = t_2 - t_1$ , мин.

Находим отношение  $P_{t_2}/P_{t_1}$ . Для отношения  $P_{t_2}/P_{t_1}$  и  $\Delta t$  по табл. 28 приложения определяем время, прошедшее после взрыва до второго измерения.

Искомое время можно определить  $t_{\text{взр}} = t_2 - t$ , ч.

### Пример решения задачи

В районе расположения цеха были измерены уровни радиации в  $t_1 = 10.00$  -  $P_{t_1} = 50$  рад/ч и в  $t_2 = 10.30$  -  $P_{t_2} = 45$  рад/ч. Определить время взрыва.

Определяем промежуток между измерениями:  $\Delta t = t_2 - t_1 = 10.30 - 10.00 = 30$  мин.

Находим отношение  $P_{t_2}/P_{t_1} = 45/50 = 0,9$ .

Для отношения  $P_{t_2}/P_{t_1} = 0,9$  и  $\Delta t = 30$  мин определяем время, прошедшее после взрыва до второго измерения  $t = 6$  ч.

Искомое время можно определить  $t_{\text{взр}} = 10.30 - 6 = 4$  ч 30 мин.

## ЗАДАЧА 19

Формированию ГО предстоит работать 2 ч на открытой местности, где уровни радиации на 1 ч после взрыва составили  $P_1$  (см. задание), рад/ч. Личный состав формирования (см. задание) недели тому назад получил дозу  $D_{\text{пр}} = 10$  рад. Определить суммарную дозу излучения, которую получит личный состав формирования при входе в очаг через 2 ч после взрыва с учетом остаточной дозы.

№ варианта	$P_1$ , рад/ч	Время, прошедшее после предыдущего облучения, недели	№ варианта	$P_1$ , рад/ч	Время, прошедшее после предыдущего облучения, недели
1	50	2	13	65	6
2	60	4	14	45	4
3	40	6	15	30	8
4	30	8	16	46	10
5	50	3	17	35	2
6	55	4	18	60	6
7	60	8	19	40	4
8	65	10	20	30	2
9	45	2	21	50	4
10	30	6	22	55	6
11	46	4	23	45	8
12	35	3	24	40	6

## Рекомендации к решению задачи

Доза излучения, которую получит личный состав формирования за время работ, рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{5 \cdot (P_n \cdot t_n - P_k \cdot t_k)}{K_{\text{осл}}}, \text{ рад,}$$

где  $P_n, P_k$  - уровни радиации соответственно в начале ( $t_n$ ) и в конце ( $t_k = t_n + T$ ) пребывания в зоне заражения.

$$P_n = P_1 \cdot K_n, \text{ рад/ч} \quad P_k = P_1 \cdot K_k,$$

где  $K_n, K_k$  - коэффициенты для пересчета уровней радиации на различное время  $t$  после ядерного взрыва (табл. 29 приложения).

Определяем суммарную дозу излучения:

$$D_{\text{сум}} = D + D_{\text{ост}}, \text{ рад,}$$

$$D_{\text{ост}} = K \cdot D_{\text{пр}}, \text{ рад,}$$

где  $K$  - коэффициент остаточной доли излучения (табл. 30 приложения).

## Пример решения задачи

Формированию ГО предстоит работать 2 ч на открытой местности, где уровни радиации на 1 ч после взрыва составили  $P_1 = 50$  рад/ч. Личный состав формирования 4 недели тому назад получил дозу  $D_{\text{пр}} = 10$  рад. Определить суммарную дозу излучения, которую получит личный состав формирования при входе в очаг через 2 ч после взрыва с учетом остаточной дозы.

$$t_n = 2 \text{ ч,}$$

$$t_k = 2 + 2 = 4 \text{ ч,}$$

$$P_n = P_1 \cdot K_n = 50 \cdot 0,435 = 21,75 \text{ рад/ч,}$$

$$P_k = P_1 \cdot K_k = 50 \cdot 0,189 = 9,45 \text{ рад/ч.}$$

$$D = \frac{5 \cdot (21,75 \cdot 2 - 9,45 \cdot 4)}{1} = 28,5 \text{ рад.}$$

Определяем суммарную дозу излучения:

$$D_{\text{сум}} = 28,5 + 5 = 33,5 \text{ рад,}$$

$$D_{\text{ост}} = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ рад.}$$

## ЗАДАЧА 20

Формированию ГО предстоит преодоление следа радиоактивного заражения протяженностью  $l = 10$  км на автомобилях со скоростью  $v = 20$  км/ч. Определить дозу излучения личного состава, если измеренные разведкой уровни радиации в точках маршрута составили 8, 30, 240, 20 и 10 рад/ч.

№ варианта	$l$ , км	$v$ , км/ч	№ варианта	$l$ , км	$v$ , км/ч
1	25	40	13	15	25
2	30	60	14	10	30
3	15	40	15	20	40
4	10	30	16	25	50
5	20	60	17	30	60
6	25	20	18	15	55
7	30	25	19	10	25
8	40	30	20	20	30
9	25	40	21	25	40
10	35	50	22	30	50
11	20	60	23	40	60
12	35	55	24	25	55

### Рекомендации к решению задачи

Доля излучения определяется по формуле:

$$D = \frac{P_{\text{ср}} \cdot l}{K_{\text{осл}} \cdot v}, \text{ рад,}$$

где  $P_{\text{ср}}$  - средний уровень радиации, рад/ч;  
 $l$  - путь движения, км;  
 $v$  - скорость движения автомобиля;  
 $K_{\text{осл}}$  - коэффициент ослабления (табл. 31 приложения).

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n}, \text{ рад/ч,}$$

где  $P_1, P_2, \dots, P_n$  - измеренные уровни радиации на маршруте движения, рад/ч.

### Пример решения задачи

$$P_{\text{ср}} = \frac{8 + 30 + 240 + 20 + 10}{5} = 61,6 \text{ рад/ч,}$$

для автомобилей  $K_{\text{осл}} = 2$ .

$$\text{Доля излучения } D = \frac{P_{\text{ср}} \cdot l}{K_{\text{осл}} \cdot v} = \frac{61,6 \cdot 10}{2 \cdot 20} = 15 \text{ рад.}$$

#### 4. Прогнозирование состояния объекта экономики при аварии со взрывом газозвоздушной смеси

Инициирование (зажигание) газозвоздушной смеси с образованием очага горения возможно, если будут выполнены следующие условия:

- концентрация горючего газа в газозвушной смеси должна быть в диапазоне между нижним и верхним концентрационными пределами распространения пламени;

- энергия зажигания от искры (горячей поверхности) должна быть не ниже минимальной. Для большинства взрывчатых смесей энергия зажигания не превышает 30 Дж.

Нижний концентрационный предел ( $C_{\text{нкл}}$ ) распространения пламени - это такая концентрация горючего газа в смеси с окислительной средой, ниже которой смесь становится неспособной к распространению пламени.

Верхний концентрационный предел ( $C_{\text{вкл}}$ ) распространения пламени - это такая концентрация горючего в смеси с окислительной средой, выше которой смесь становится неспособной к распространению пламени.

Минимальная энергия инициирования (зажигания) ( $E_{\text{и}}$ ) - наименьшее значение энергии электрического разряда, способное воспламенить смесь стехиометрического состава.

Концентрация газа стехиометрического состава ( $C_{\text{сх}}$ ) - концентрация горючего газа в смеси с окислительной средой, при которой обеспечивается полное без остатка химическое взаимодействие горючего и окислителя смеси.

К основным факторам, влияющим на параметры взрыва, относят: массу и тип взрывоопасного вещества, его параметры и условия хранения или использования в технологическом процессе, место возникновения взрыва, объемно-планировочные решения сооружений в месте взрыва.

Взрывы на промышленных предприятиях и базах хранения можно разделить на две группы: в открытом пространстве и производственных помещениях.

С целью проведения расчетов с гарантированным запасом по объему инженерно-спасательных работ, при обосновании исходных данных принимают такой случай разрушения резервуара, чтобы образовавшийся при этом взрыв газозвушной смеси произвел максимальное поражающее воздействие. Этот случай соответствует разрушению того резервуара, в котором хранится максимальное количество горючего вещества на рассматриваемом объекте.

При взрыве газозвушных смесей различают две зоны действия: детонационной волны - в пределах облака ГВС и воздушной ударной волны - за пределами облака ГВС. В зоне облака действует детонационная волна, избыточное давление во фронте которой принимается постоянным в пределах облака ГВС и приблизительно равным  $APD = 17 \text{ кгс/см}^2$  (1,7 МПа).

В расчетах принимают, что зона действия детонационной волны ограничена радиусом  $r_0$ , который определяется из допущения, что ГВС после разрушения емкости образует в открытом пространстве полусферическое облако.

## ЗАДАЧА 21

Произошел взрыв облака ГВС, образованного при разрушении резервуара с газом сжиженным под давлением (см. задание), кг, вещества (см. задание). Определить давление ударной волны на расстоянии  $r = 200$  м от центра взрыва.



№ варианта	Количество вещества $Q$ , кг	Вещество	№ варианта	Количество вещества $Q$ , кг	Вещество
1	2500	Метан	13	2200	
2	2100	Окись углерода	14	2130	Окись углерода
3	2300	Пропан	15	2480	Пропан
4	2450	Пропилен	16	2540	Пропилен
5	2180	Этан	17	2645	Этан
6	2160	Этилен	18	2870	Водород
7	2340	Бутилен	19	2460	Дивинил
8	2875	Винилхлорид	20	2130	Пропан
9	2648	Водород	21	2450	Пропилен
10	1540	Дивинил	22	2160	Этан
11	3540	Аммиак	23	2980	Этилен
12	2480	Ацетилен	24	2480	Бутан

### Рекомендации к решению задачи

Объем полусферического облака может быть определен по формуле:

$$V = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot r_0^3, \text{ м}^3$$

где  $\pi = 3,14$ .

Учитывая, что киломоль идеального газа при нормальных условиях занимает  $22,4 \text{ м}^3$ , объем образовавшейся ГВС при аварийной ситуации составит:

$$V = \frac{22,4 \cdot k \cdot Q \cdot 100}{m_k \cdot C}, \text{ м}^3$$

где  $k$  - коэффициент, учитывающий долю активного газа (долю продукта, участвующего во взрыве), принимают в зависимости от способа хранения продукта:

$k = 1$  - для резервуаров с газообразным веществом;

$k = 0,6$  - для газов, сжиженных под давлением;

$k = 0,1$  - для газов, сжиженных охлаждением (хранящихся в изотермических емкостях);

$k = 0,05$  - при аварийном разливе легковоспламеняющихся жидкостей;

$Q$  - количество сжиженных углеводородных газов в хранилище до взрыва, кг;

$C$  - стехиометрическая концентрация газа в % по объему (табл. 32 приложения);

$m_k$  - молярная масса газа, кг/кмоль (табл. 32 приложения).

Из условия равенства полусферы и объема образовавшейся смеси получим:

$$r_0 \approx 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q \cdot k}{m_k \cdot C}}, \text{ м}$$

Эта формула получила широкое распространение при проведении расчетов по определению последствий взрывов для углеводородных газов.

Значение коэффициента  $k$ .

Зона действия воздушной ударной волны (ВУВ) начинается сразу за внешней границей облака ГВС. Давление во фронте ударной волны  $\Delta P_\phi$  зависит от расстояния до центра взрыва (определяется по рис. 1 приложения или табл. 33 приложения) исходя из соотношения:

$$\Delta P_\phi = f\left(\frac{r}{r_0}\right),$$

где  $r$  - расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки.

### Пример решения задачи

Произошел взрыв облака ГВС, образованного при разрушении резервуара с 1500 кг вещества – этилена.

Определить давление ударной волны на расстоянии  $r = 200$  м от центра взрыва.

Определяем радиус зоны действия детонационной волны:

$$r_0 \approx 10 \cdot \sqrt[2]{\frac{Q \cdot k}{m_k \cdot C}} = 10 \cdot \sqrt[2]{\frac{1500 \cdot 0,6}{6,54 \cdot 28}} = 17 \text{ м},$$

$C$  - стехиометрическая концентрация газа в % по объему (табл. 32 приложения) для этилена 6,54;

$m_k$  - молярная масса газа, кг/кмоль (табл. 32 приложения), для этилена равна 28.

Определяем соотношение радиуса рассматриваемого расстояния к радиусу детонационной зоны:

$$\frac{r}{r_0} = \frac{200}{17} = 11,76 \approx 12$$

По табл. 33 приложения определяем избыточное давление на расстоянии 200 м от источника взрыва.

$$\Delta P_\phi = 10 \text{ кПа.}$$

### ЗАДАЧА 22

Определить  $r_0$  и значения  $\Delta P_\phi$  на расстоянии (см задание), м, при разливе и взрыве ГВС  $Q$  (см. задание), кг.

№ варианта	Количество вещества $Q$ , кг	Расстояние	№ варианта	Количество вещества $Q$ , кг	Расстояние
1	500	10	13	30000	350
2	2000	50	14	50000	400
3	1000	100	15	800	100
4	1500	200	16	1000	50
№ варианта	Количество вещества $Q$ , кг	Расстояние	№ варианта	Количество вещества $Q$ , кг	Расстояние
5	2000	300	17	500	10
6	200	150	18	2000	50
7	10000	250	19	1000	100
8	5000	350	20	1500	200
9	2300	400	21	2000	300
10	20000	100	22	200	150
11	150	50	23	10000	250
12	300	10	24	1200	500

### Рекомендации к решению задачи

$r_0$  и  $\Delta P_{\phi}$  определяются по графику рис. 1 приложения. На пересечении вертикальной линии расстояние  $r$  с горизонтальной количеством вещества  $Q$ , кг, выбирается точка, соответствующая значениям.

### Пример решения задачи

Определить  $r_0$  и значения  $\Delta P_{\phi}$  на расстоянии 100 м при разлитии и взрыве ГВС  $Q=500$  кг. На пересечении вертикальной линии  $r=100$  м с горизонтальной  $Q=1000$  кг получим точку  $A_1$ , соответствующую  $\Delta P_{\phi} = 0,25$  кгс/см<sup>2</sup>;  $z_0 = 15,6$  м.

### ЗАДАЧА 23

Определить плотность теплового потока, падающего с поверхности «огненного шара», и время существования «огненного шара» при массе горючего вещества 444 кг и на расстоянии от точки на поверхности земли непосредственно под центром «огненного шара» до облучаемого объекта 10 м.

№ варианта	Количество горючего вещества $M$ , кг	№ варианта	Количество вещества $Q$ , кг
1	555	13	458
2	547	14	587
3	478	15	569
4	446	16	487
5	487	17	456

6	499	18	485
7	428	19	588
8	488	20	573
9	542	21	522
10	546	22	564
11	425	23	578
12	412	24	647

### Рекомендации к решению задачи

Крупномасштабное диффузионное горение ПГВ облака, реализуемое при разгерметизации резервуара с горючей жидкостью или газом под давлением, носит название «огненный шар». Плотность теплового потока, падающего с поверхности «огненного шара» на элементарную площадку на поверхности мишени  $q^{\text{пад}}$ , кВт/м<sup>2</sup>, равна:

$$q^{\text{пад}} = q^{\text{соб}} \cdot \varphi \cdot e^{\left[-7,0 \cdot 10^{-4} \left(\sqrt{R^2 + H^2} - D_{\text{эф}}/2\right)\right]},$$

где  $q^{\text{соб}}$  – плотность потока собственного излучения «огненного шара», кВт/м<sup>2</sup>, допускается принимать равной 450 кВт/м<sup>2</sup>;

$R$  – расстояние от точки на поверхности земли непосредственно под центром «огненного шара» до облучаемого объекта, м;

$D_{\text{эф}}$  – эффективный диаметр «огненного шара», м, определяемый по формуле

$$D_{\text{эф}} = 5,33 \cdot M^{0,327}, \text{ м}$$

где  $M$  – масса горючего вещества, кг;

$H$  – высота центра «огненного шара», м, которую допускается принимать равной  $0,5D_{\text{эф}}$ ;

$\varphi$  – угловой коэффициент излучения с «огненного шара» на элементарную площадку на поверхности облучаемой поверхности, определяемый по формуле:

$$\varphi = \frac{\frac{H}{D_{\text{эф}}} + 0,5}{4 \left[ \left( \frac{H}{D_{\text{эф}}} + 0,5 \right)^2 + \left( R/D_{\text{эф}} \right)^2 \right]^{1,5}}$$

Время существования «огненного шара»  $\tau$ , с, рассчитывают по формуле:

$$\tau = 0,92 \cdot M^{0,303}, \text{ с}$$

## Пример решения задачи

Определить плотность теплового потока, падающего с поверхности «огненного шара», и время существования «огненного шара» при массе горючего вещества 444 кг и на расстоянии от точки на поверхности земли непосредственно под центром «огненного шара» до облучаемого объекта 10 м.

Определяем эффективный диаметр «огненного шара»:

$$D_{эф} = 5,33 \cdot M^{0,327} = 5,33 \cdot 444^{0,327} = 39 \text{ м}$$

Высота центра «огненного шара», м, которую допускается принимать равной  $0,5D_{эф}$ ,

$$H = 0,5 \cdot 39 = 19,5 \text{ м.}$$

Угловой коэффициент излучения с «огненного шара» на элементарную площадку на поверхности облучаемой поверхности:

$$\varphi = \frac{\frac{H}{D_{эф}} + 0,5}{4 \left[ \left( \frac{H}{D_{эф}} + 0,5 \right)^2 + \left( R/D_{эф} \right)^2 \right]^{1,5}} = \frac{\frac{19,5}{39} + 0,5}{4 \left[ \left( \frac{19,5}{39} + 0,5 \right)^2 + (100/39)^2 \right]^{1,5}} = 0,012$$

Плотность теплового потока, падающего с поверхности «огненного шара» на элементарную площадку на поверхности мишени  $q^{пад}$ , кВт/м<sup>2</sup>, равна:

$$q^{пад} = q^{соб} \cdot \varphi \cdot e^{\left[ -7,0 \cdot 10^{-4} \left( \sqrt{R^2 + H^2} - \frac{D_{эф}}{2} \right) \right]} = 450 \cdot 0,012 \cdot 2,718^{\left[ -7,0 \cdot 10^{-4} \left( \sqrt{100^2 + 19,5^2} - \frac{39}{2} \right) \right]} = 5,7$$

Время существования «огненного шара»  $\tau$ , с, рассчитывают по формуле:

$$\tau = 0,92 \cdot M^{0,303} = 0,92 \cdot 444^{0,303} = 5,8, \text{ с}$$

## 5. Пожар разлива ЛВЖ

Пожар разлива может произойти в ряде ситуаций. Одна из пространственно ограниченных форм его проявления — это, вероятно, пожар в резервуаре хранения, например, когда в результате либо внутреннего, либо внешнего взрыва резервуар остается без крыши. В резервуарах, сделанных из алюминия, стенки могут оплавиться до уровня жидкости, и, таким образом, резервуар будет становиться все более низким по мере того, как сгорает жидкость. Следующий по пространственному ограничению случай - это пожар разлива. В обеих ситуациях подразумеваются четко определенные граница и форма, последняя может быть круглой или прямоугольной.

В других ситуациях пожары разлиции происходят после того, как жидкость выбрасывается на поверхность земли; форма и глубина разлития определяются особенностями места разлития. На заводах и в аэропортах, хотя они занимают большие территории, выброшенная жидкость вероятнее всего будет устремляться в водостоки, где она может гореть под землей. Дренажные канавы вдоль автомобильных дорог обычно несут воды в близлежащее русло. Поэтому при выбросе на дороге потоки горючей жидкости могут переносить огонь на сотни метров. Наконец, происходят выбросы жидкостей непосредственно на поверхности водостоков, рек, озер или моря, где возможности для распространения фактически неограниченны

## ЗАДАЧА 24

На территории железнодорожной станции произошла авария - перевернулась цистерна с бензином АИ93 объемом (см. задание) и произошло возгорание. Определить радиус окружности разлива, давление насыщенных паров ЛВЖ при расчётной температуре воздуха (см. задание), интенсивность испарения, продолжительность времени полного испарения ЛВЖ, массу паров, испарившихся с поверхности разлива, диаметр факела от пожара.

№ варианта	$V_{\text{цист}}$	Температура воздуха, °С	№ варианта	$V_{\text{цист}}$	Температура воздуха, °С
1	70	20	13	100	30
2	80	18	14	120	28
3	90	16	15	110	10
4	95	10	16	80	8
5	90	12	17	90	16
6	85	14	18	95	14
7	75	15	19	70	9
8	60	17	20	75	10
9	65	18	21	85	12
10	100	22	22	90	24
11	110	24	23	95	25
12	120	26	24	110	27

### Рекомендации к решению задачи

Площадь разлития всего объёма жидкости,  $\text{м}^2$ :

$$S_P = 5 \times (V_{\text{цист}} \times V_{\text{зап}} / 100), \text{ м}^2,$$

где  $V_{\text{зап}}$  - степень заполнения цистерны, %.

Форма разлива жидкости – окружность.

Радиус окружности разлива, м:

$$R_p = \sqrt{\frac{S_p}{\pi}}, \text{ м}$$

Давление насыщенных паров ЛВЖ при расчётной температуре, кПа:

$$P_n = 10^{\left( A - \frac{B}{t_p + C_A} \right)}$$

- где  $A, B, C$  - константы уравнения Антуана для бензина АИ93, определяется по табл. 34 приложения;  
 $t_p$  - температура окружающей среды, °С.

Интенсивность испарения кг/с·м<sup>2</sup>:

$$I_p = 10^{-6} \times N_K \times M_M \times P_n,$$

- где  $N_K$  - коэффициент, учитывающий скорость ветра и температуру, принимается 1;  
 $M_M$  - молярная масса, кг/кМоль, для бензина АИ93 определяется по табл. 34 приложения.

Расчётная продолжительность времени полного испарения ЛВЖ, с:

$$T_{\text{исп}} = M_{\text{вещ}} \times 1000 / (I_p \times S_p), \text{ с},$$

- где  $M_{\text{вещ}}$  - исходная масса вещества, т.

$$M_{\text{вещ}} = V \cdot \rho_{\text{вещ}},$$

- где  $\rho_{\text{вещ}}$  - плотность жидкой фазы вещества, т/м<sup>3</sup>, для бензина АИ93 определяется по табл. 34 приложения.

Масса паров, испарившихся с поверхности разлива, кг

$$M_p = I_p \times T_{\text{исп}} \times S_p, \text{ кг}.$$

Плотность паров ЛВЖ, кг/м<sup>3</sup>:

$$P_n = M_M / [V_0 \times (1 + 0,00367 \times t_0)], \text{ кг/м}^3,$$

- где  $V_0$  - мольный объем, м<sup>3</sup>/кМоль, для бензина АИ93 определяется по табл. 34 приложения;  
 $M_M$  - молярная масса, кг/кМоль, для бензина АИ93 определяется по табл. 34 приложения.

Приведённая масса паров ЛВЖ, кг

$$M_{\text{пр}} = 0,1 \times (Q_{\text{сг}} / Q_0) \times M_p, \text{ кг},$$

- где  $Q_{\text{сг}}$  - удельная теплота сгорания, кДж/кг, для бензина АИ93 определяется по табл. 34 приложения.  
 $Q_0$  - константа для приведенной массы паров ЛВЖ, кДж/кг, для бензина АИ93 определяется по табл. 34 приложения.

Диаметр факела от пожара, м

$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot S_p}{\pi}}, \text{ м}$$

### Пример решения задачи

На территории железнодорожной станции произошла авария - перевернулась цистерна с ЛВЖ объемом  $V_{\text{цист}} = 25 \text{ м}^3$  произошло возгорание. Определить радиус окружности разлива, давление насыщенных паров ЛВЖ при расчётной температуре воздуха  $10 \text{ С}^\circ$  интенсивность испарения, продолжительность времени полного испарения ЛВЖ, массу паров, испарившихся с поверхности разлива, диаметр факела от пожара.

Площадь разлития всего объёма жидкости,  $\text{м}^2$ :

$$S_p = 5 \times (V_{\text{цист}} \times V_{\text{зап}} / 100) = 5 \times (25 \times 90 / 100) = 112,5 \text{ м}^2.$$

Форма разлива жидкости – окружность.

Радиус окружности разлива, м:

$$R_p = \sqrt{\frac{S_p}{\pi}} = \sqrt{\frac{112,5}{3,14}} = 5,98 \text{ м}$$

Давление насыщенных паров ЛВЖ при расчётной температуре, кПа

$$P_H = 10^{\left(\frac{A-B}{t_p+C_A}\right)} = 10^{\left(\frac{4,99831 - \frac{664,976}{10+221,695}}{10}\right)} = 10^{2,128} = 134,28$$

Интенсивность испарения,  $\text{кг} / \text{с} * \text{м}^2$ :

$$I_p = 10^{-6} \times N_K \times M_M \times P_H = 10^{-6} \times 1 \times 98,2 \times 134,28 = 0,0132.$$

Расчётная продолжительность времени полного испарения ЛВЖ, с:

$$T_r = M_{\text{вещ}} \times 1000 / (I_p \times S_p) = 18,75 \times 1000 / (0,0132 \times 112,5) = 12626 \text{ с} = 210 \text{ мин} = 3,5 \text{ ч}.$$

Масса паров, испарившихся с поверхности разлива, кг:

$$M_p = I_p \times T_{\text{ав}} \times S_p = 0,0132 \times 12626 \times 112,5 = 18749,6 \text{ кг} = 18,75 \text{ т}.$$

Плотность паров ЛВЖ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ :

$$P_{\text{п}} = M_M / [V_0 \times (1 + 0,00367 \times t_0)] = 98,2 / [22,413 \times (1 + 0,00367 \times 10)] = 4,227.$$

Приведённая масса паров ЛВЖ, кг:

$$M_{\text{пр}} = 0,1 \times (Q_{\text{сг}} / Q_0) \times M_p = 0,1 \times (43641 / 4520) \times 18749,6 = 18102,9.$$

Диаметр факела от пожара, м:



$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot S_p}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 112,5}{3,14}} = 11,97 \text{ м}$$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РД 52.04.253-90 «Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте». М., 1990.
2. Локтев Е. М., Елагина М. А. Прогнозирование последствий аварий с выбросом радиоактивных веществ: учебно-методическое пособие для вузов. Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008
3. Александров Г. и др. Устойчивость, безопасность, риск // Военные знания. 1995. № 11-12. С. 8
4. Баранов А. А. Обеспечение устойчивости работы ОНХ в военное время. М.: Атомиздат, 1970. 61 с.
5. Безопасность жизнедеятельности. Ч. 2. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: учебное пособие / В. А. Горишний, В. Б. Чернецов, В. А. Днепровский; под ред. К. Н. Тишкова. Н. Новгород: НГТУ. 1998. 140 с.
6. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С. В. Белов, А. В. Ильницкая, А. Ф. Козьяков и др.; под общ. ред. С. В. Белова. 3-е изд., испр. и доп. М.: Высшая школа, 2001.
7. Безопасность жизнедеятельности: учебник / под ред. Э. А. Арустанова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К<sup>0</sup>», 2002.
8. Безопасность и защита населения в чрезвычайных ситуациях / под общ. ред. Г. Н. Кириллова. М., 2001.
9. Величко К. Ф. и др. Оценка устойчивости объектов и систем народного хозяйства. М.: МИФИ, 1984. 84 с.
10. Долгий Н. Управление при авариях на АЭС // Гражданская защита. 1996. № 5. С. 89-94.
11. Закон РФ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21 июля 1997 г., № 116-ФЗ // Гражданская защита. 1998. № 3.
12. Оценка устойчивости работы промышленных объектов в военное время / ГПИ; сост. Н. М. Терёхин. Горький, 1989. 18 с.
13. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение / М. В. Бесчастнов. М.: Химия. 1991.
14. Сборник таблиц по оценке воздействия поражающих факторов ядерного взрыва / ГПИ; сост. Н.В. Михайлик. Горький, 1988. 20 с.
15. Хван Т. А., Хван П. А. Безопасность жизнедеятельности. Ростов н/Д: Феникс, 2000.
16. Черпак Е. Ф. Гражданская оборона на объектах энергетики. Повышение устойчивости работы объектов энергетики в военное время: учебное пособие. Свердловск, УПИ, 1988. 124 с.
17. Чрезвычайные ситуации в промышленности: учебное пособие / И. П. Шадский. М.: Институт Риска и Безопасности, 2002. 194 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

**Таблица 1**

Время прихода гребня ( $t_{гр}$ ) и фронта ( $t_{фр}$ ) волны прорыва к объекту

$L$ , км	$H_0 = 20$				$H_0 = 40$				$H_0 = 80$			
	$1 = 10^{-4}$		$1 = 10^{-3}$		$1 = 10^{-4}$		$1 = 10^{-3}$		$1 = 10^{-4}$		$1 = 10^{-3}$	
	$t_{фр}$	$t_{гр}$	$t_{фр}$	$t_{гр}$	$t_{фр}$	$t_{гр}$	$t_{фр}$	$t_{гр}$	$t_{фр}$	$t_{гр}$	$t_{фр}$	$t_{гр}$
5	0,2	1,8	0,2	1,2	0,1	2	0,1	1,2	0,1	1,1	0,1	0,2
10	0,6	4	0,6	2,4	0,3	3	0,3	2	0,2	1,7	0,1	0,4
20	1,6	7	2	5	1,0	6	1	4	0,5	3	0,4	1
40	5	14	4	10	3	10	2	7	1,2	5	1	2
80	13	30	11	21	8	21	6	14	3	9	3	4

**Таблица 2**

Коэффициенты А и В

$H_0$ , м	$B$	Значение							
		$I=1 \cdot 10^{-4}$				$I=1 \cdot 10^{-3}$			
		$A_h$	$B_h$	$A_v$	$B_v$	$A_h$	$B_h$	$A_v$	$B_v$
20		428	204	11	11	56	51	18	38
40	0,5	340	332	19	14	124	89	32	44
80		844	588	34	17	310	166	61	52

**Таблица 3**

Значение коэффициента  $\beta$

$l = L \left( \frac{i \cdot L}{H_0} \right)$	Высота плотины в долях от средней глубины реки в нижнем бьефе ( $h_0$ )	
	$H_0 = 10xh_0$	$H_0 = 20xh_0$
	0,05	15,5
0,1	14,0	16
0,2	12,5	14
0,4	11,0	12
0,8	9,5	10,8
1,6	8,3	9,9

**Таблица 4**

Характеристика разрушений от волны прорыва

Объект	Сильные		Средние		Слабые	
	$h$ , м	$V$ , м/с	$h$ , м	$V$ , м/с	$h$ , м	$V$ , м/с
Кирпичные здания	4	2,5	3	2	2	1
Корпус цеха	7,5	4	6	3	3	1,5
Пирс	5	6	3	4	1,5	1
Плав. док.	8	2	5	1,5	3	1,5
Плав. кран.	7	2	5	1,5	2,5	1,5
Суда до $h < 2$ м	5	2	4	1,5	2	1,5

Таблица 5

Ориентировочная высота волны попуска  
и продолжительность ее прохождения на различных расстояниях от плотины

Наименование параметров	Расстояние от плотины, км						
	0	25	50	100	150	200	250
Высота волны попуска $h$ , м	$0,25H$	$0,2H$	$0,15H$	$0,075H$	$0,05H$	$0,03H$	$0,02H$
Продолжительность прохождения волны попуска $t$ , ч	$T$	$1,7T$	$2,6T$	$4T$	$5T$	$6T$	$7T$

Таблица 6

$H$ , м	5	10	25	50
$N$ , м/с·м	10	30	125	350

Таблица 7

N п/п	Элементы объекта	Разрушение			
		слабое	среднее	сильное	полное
1	Массивные промышленные здания с металлическим каркасом и крановым оборудованием грузоподъемностью 25...50 т	20...30	30...40	40...50	50...70
2	Бетонные и железобетонные здания и здания с антисейсмической конструкции	25...35	80...120	150...200	200
3	Здания с легким металлическим каркасом и бескаркасной конструкции	10...20	20...30	30...50	50...70
4	Административные многоэтажные здания с металлическим и железобетонным каркасом	20...30	30...40	40...50	50...70
5	Кирпичные многоэтажные здания (3 этажа и более)	8...12	12...20	20...30	30...40
6	Станки тяжелые	25...40	40...60	60...70	-
7	Краны и крановое оборудование	20...30	30...50	50...70	70
8	Кабельные наземные линии	10...30	30...50	50...60	60
9	Кабельные подземные линии	200...300	300...600	600...1000	1500
10	Трубопроводы наземные	20	50	130	-
11	Трубопроводы на металлических или железобетонных эстакадах	20...30	30...40	40...50	-
12	Трубопроводы, заглубленные на 20 см	150...200	250...350	500	-

Таблица 8

Степень разрушения объектов (зданий, сооружений, транспорта)  
в зависимости от избыточного давления (РФ, кПа)

Элементы ИТК	Степень разрушения		
	сильная	средняя	слабая
1	2	3	4
Цех с легким металлическим каркасом	50...30	20...30	20...10
Кирпичные (более 3-х этажей) здания	30...20	20...12	12...8
Цистерны ж/д	90...60	60...40	40...20
Грузовая машина	50	50...40	40...20
ЛЭП	120...80	70...50	40...20
Трубопроводы наземные	130	50	20
Трубопроводы на эстакаде	50...40	40...30	30...20
Резервуары ГСМ:			
-наземные	100...50	50...30	30...10
-подземные	200...100	100...50	50...30
ТЭС	25...20	20...15	15...10
Водонапорная башня'	60...40	40...20	20...10
Деревянные дома	30...20	20...10	10

Таблица 9

Потери рабочих и служащих на объекте, % (С)

Степень разрушения зданий, сооружений	Степень защищенности персонала					
	Не защищен		В зданиях		В защитных сооруже- ниях	
	общие	санитарные	общие	санитарные	общие	санитарные
Слабая	8	3	1,2	0,4	0,3	0,1
Средняя	12	9	3,5	1,0	1,0	0,3
Сильная	80	25	30	10	2,5	0,8
Полная	100	30	40	15	7,0	2,5

Таблица 10

Значения токсодоз и коэффициентов «а», «в»

СДЯВ	Токсическая доза, мг·мин/л		Коэффициенты	
	Смертельная $D_{см}$	Пороговая $D_{п}$	а	в
Аммиак	60	18	0,2	0,15
Двуокись хлора	0,6	0,06	0,07	0,15
Окись углерода	60	25	1,0	0
Окислы азота	3	1,5	0	0,03
Сернистый ангидрит	70	1,8	0,2	0,15
Синильная кислота	2	0,2	0	0,03
Фосген	6	6,2	0,07	0,15
Фурфурол	22,5	1,5	0	0,03
Фенол	22,5	1,5	0	0,03
Формалин	22,5	1,5	0	0,03
Хлор	6,0	0,6	0,2	0,15
Формальдегид	22,5	1,5	0	0,03

Таблица 11

Характеристики АХОВ и вспомогательные коэффициенты  
для определения глубины зон заражения

Наименование АХОВ	Плотность АХОВ, т/м <sup>3</sup>		Температура кипения, °С	Пороговая токсодоза,	Значения вспомогательных коэффициентов							
	газ	жидкость			К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	К <sub>3</sub>	К <sub>7</sub> для температуры, °С				
								-40	-20	0	20	40
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Акролеин	-	0,839	52,7	0,2 <sup>x</sup>	0	0,013	0,75	0,1	0,2	0,4	1	2,2
Аммиак: хранение под давлением	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
Изотермическое хранение	-	0,681	-33,42	15	0,01	0,025	0,04	0/0,9	1/1	1/1	1/1	1/1
Ацетонитрил	-	0,786	81,6	21,6**	0	0,004	0,028	0,02	0,1	0,3	1	2,6
Ацетонциангидрин	-	0,932	120	1,9**	0	0,002	0,316	0	0	0,3	1	1,5
Водород мышьяковистый	0,0035	1,64	-62,47	0 2**	0,17	0,054	0,857	0,3/1	0,5/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Водород фтористый	-	0,989	19,52	4	0	0,028	0,15	0,1	0,2	0,5	1	1
Водород хлористый	0,0016	1,191	-85,10	2	0,28	0,037	0,3	0,64/ 1	0,6/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Водород бромистый	0,0036	1,49	-66,77	2,4	0,13	0,055	6,0	0,2/1	0,5/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Водород цианистый	-	0,687	25,7	0,2	0	0,026	3,0	0	0	0,4	1/1	1,3
Диметиламин	0,002	0,68	6,9	1,2**	0,06	0,041	0,5	0/0,1	0/0,3	0/0,8	1/1	2,5/1
Метиламин	0,0014	0,699	-6,5	2**	0,13	0,034	0,5	0/0,3	0/0,7	0,5/1	1/1	2,5/1
Метил бромистый	-	0,732	3,6	1 2**	0,04	0,039	0,5	0/0,2	0/0,4	0/0,9	1/1	2,3/1
Метил хлористый	0,0023	0,983	-23,76	10,8**	0,125	0,044	5,056	0/0,5	0,1/1	0,6/1	1/1	1,5/1
Метилакрилат	-	0,953	80,2	6**	0	0,005	0,025	0,1	0,2	0,4	1	3,1
Метил меркаптан	-	0,867	5,95	1,7**	0,06	0,043	0,353	0/0,1	0/0,3	0/0,8	1/1	2,4/1
Нитрил акриловой кислоты	-	0,806	77,3	0,75	0	0,007	0,8	0,04	0,1	0,4	1	2,4
Оксиды азота	-	1,491	21	1,5	0	0,04	0,04	0	0	0,4	1	1
Оксид этилена	-	0,882	10,7	2,2**	0,05	0,041	0,27	0/0,1	0/0,3	0/0,7	1/1	3,2/1
Сернистый ангидрид	0,0029	1,462	-10,1	1,8	0,11	0,049	0,333	0/0,2	0/0,5	0,3/1	1/1	1,7/1
Сероводород	0,0015	0,964	-60,35	16,1	0,27	0,042	0,036	0,3/1	0,5/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Серовуглерод	-	1,263	46,2	45	0	0,021	0,013	0,1	0,2	0,4	1	2,1
Соляная кислота	1	1,198	-	2*	0	0,021	0,3	0	0,1	0,3	1	1,6
Триметиламин	-	0,671	2,9	6*	0,07	0,047	0,1	0/0,1	0/0,4	0/0,9	1/1	2,2/1
Формальдегид	-	0,815	-19,0	0,6*	0,19	0,034	1,0	0/0,4	0/1	0,5/1	1/1	1,5/1
Фосген	0,0035	0,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	0/0,1	0/0,3	0/0,7	1/1	2,7/1
Фтор	0,0017	0,512	-188,2	0,2*	0,95	0,038	3,0	0,7/1	0,8/1	0,9/1	1/1	1,1/1
Фосфор треххлористый	-	0,57	75,3	3	0	0,01	0,2	0,1	0,2	0,4	1	2,3
Фосфор хлороксид	-	0,675	107,2	0,06*	0	0,003	10,0	0,05	0,1	0,3	1	2,6
Хлор	0,0062	1,553	-34,1	0,6	0,18	0,052	1,0	0/0,9	0,3/1	0,6/1	1/1	1,4/1
Хлорпикрин	-	0,658	112,3	0,02	0	0,002	30	0,03	0,1	0,3	1	2,9
Хлорциан	0,0021	1,22	12,6	0,75	0,04	0,048	0,8	0/0	0/0	0/0,6	1/1	3,9/1
Этиленимин	-	0,838	55,0	4,8	0	0,009	3,125	0,05	0,1	0,4	1	2,2
Этиленсульфид	-	1,005	55,0	0,1*	0	0,013	6,0	0,05	0,1	0,4	1	2,2
Этилмеркаптан	-	0,839	35,0	2,2**	0	0,028	0,27	0,1	0,2	0,5	1	1,7

Примечание.

Плотности газообразных АХОВ (в графе 2) приведены для атмосферного давления; при давлении в емкости, отличном от атмосферного, плотности газообразных АХОВ определяются умножением данных графы 2 на значения давления в атмосфере.

В графах 9-13 в числителе значения  $K_7$  для первичного, в знаменателе - для вторичного облака.

В графе 5 численные значения токсидоз, помеченные звездочками, определены ориентировочно расчетом по соотношению  $\Pi=240 \cdot K \cdot \text{ПДК}$ , где  $K=5$  для раздражающих ядов (помечены одной звездочкой);  $\Pi$  - токсодоза мг.мин/л  $K=9$  для всех прочих ядов (помечены двумя звездочками).

**Таблица 12**

Скорость (км/ч) переноса переднего фронта облака зараженного воздуха  
в зависимости от скорости ветра

Состояние атмосферы (степень вертикальной устойчивости)	Скорость ветра, м/с														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
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	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Таблица 13**

Потери рабочих и служащих на объекте, % (С)

Степень разрушения зданий, сооружений	Степень защищенности персонала					
	Не защищен		В зданиях		В защитных сооружениях	
	общие	санитарные	общие	санитарные	общие	санитарные
Слабая	8	3	1,2	0,4	0,3	0,1
Средняя	12	9	3,5	1,0	1,0	0,3
Сильная	80	25	30	10	2,5	0,8
Полная	100	30	40	15	7,0	2,5

**Таблица 14**

Степени разрушения зданий и сооружений при ураганах

Объекты	Скорость ветра, м/с			
	Степень разрушения			
	Слабая	Средняя	Сильная	Полная
Промышленные здания с легким металлическим каркасом	25...30	30...50	50...70	>70
Здания:				
-кирпичные малоэтажные	20...25	25...40	40...60	>60
-кирпичные многоэтажные	20...25	25...35	35...50	>50
Склады кирпичные	25...30	30...45	45...55	>55
Резервуары наземные	30...40	40...55	55...70	>70
Крановое оборудование	35...40	40...55	55...65	>65
Воздушные линии энергоснабжения	25...30	30...45	45...60	>60
Трубопроводы наземные	35...45	45...60	60...80	>80

Таблица 15

Структура потерь населения в разрушенных зданиях при ураганах, %

Структура потерь	Степени разрушения зданий			
	слабая	средняя	сильная	полная
Общие	5	30	60	100
Безвозвратные	0	8	15	60
Санитарные	5	22	45	40

Таблица 16

Время испарения некоторых СДЯВ, ч (скорость ветра - 1 м/с)

Наименование СДЯВ	Вид хранилища	
	необвалованное	обвалованное
Хлор	1,3	23
Фосген	1,4	23
Аммиак	1,2	20
Сернистый ангидрид	1,3	20
Сероводород	1	19

Таблица 17

Поправочные коэффициенты ко времени испарения при скорости ветра более 1 м/с

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6
Поправочный коэффициент	1	0,7	0,55	0,43	0,37	0,32

Таблица 18

Удельная теплота взрыва распространенных промышленных ВВ

Взрывчатое вещество	$Q_m$ , кДж/кг	Взрывчатое вещество	$<(2_t$ , кДж/кг
Тротил (ТНТ)	4240	Тринитрохлорбензол	4240
Гексоген	5540	Нитрогу анилин	3020
ТЭН*	5880	Дымный порох	2790
Динитробензол	3650	Пироксилин (N=13,3%)	4370
Тринитробензол	4520	Аммотол	4200
Пикрат аммония	3360	Октоген	5420
Тринитроанилин	4160	Гликольдинитрат	6640
Аммонийная селитра	1440	Оксиликвиты: торф,	3800...4200
Пентолит 50/50: 50% ТЭН + 50% ТНТ	4800	уголь, мох, древесная мука	

\*ТЭН - тетранитропентаэритрит (нитроэфир).

Таблица 19

## Характеристики газопаровоздушных смесей

Горючий компонент	$D$ , м/с	$\rho_{стх}$ , кг/м <sup>3</sup>	$Q_{m,стх}$ , МДж/кг	$Q_{v,стх}$ , МДж/м <sup>3</sup>	$\gamma_{стх}$	$\mu^*$	$C_{стх}$ , об.%	$\Delta P_2$ , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Газовоздушные смеси</b>								
Аммиак NH <sub>3</sub>	1630	1,180	2,370	2,791	1,248	17	19,72	1,29
Ацетилен C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1990	1,278	3,387	4,329	1,259	26	7,75	2,14
Бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	1840	1,328	2,776	3,684	1,270	58	3,13	1,88
Бутилен C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	1840	1,329	2,892	3,843	1,260	56	3,38	1,89
Винилхлорид C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	1710	1,400	2,483	3,980	1,260	63	7,75	1,71
Водород H <sub>2</sub>	1770	0,933	3,425	3,195	1,248	2	29,59	1,20
Дивинил C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	1870	1,330	2,962	3,967	1,260	54	3,68	1,96
Метан CH <sub>4</sub>	1750	1,232	2,763	3,404	1,256	16	9,45	1,57
Окись углерода CO	1840	1,280	2,930	3,750	1,256	28	29,59	1,82
Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1850	1,315	2,801	3,676	1,257	44	4,03	1,89
Пропилен C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	1840	1,314	2,922	3,839	1,259	42	4,46	1,87
Этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1800	1,250	2,797	3,496	1,257	30	5,66	1,69
Этилен C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1880	1,285	3,010	3,869	1,259	28	6,54	1,91
<b>Паровоздушные смеси</b>								
Ацетон C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O	1910	1,210	3,112	3,766	1,259	42	4,99	1,85
Бензин авиационный	-	1,350	2,973	3,770	-	94	2,10	-
Бензол C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1860	1,350	2,937	3,966	1,261	78	2,84	1,96
Гексан C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	1820	1,340	2,797	3,748	1,261	86	2,16	1,86
Дихлорэтан C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	1610	1,490	2,164	3,224	1,265	99	6,54	1,60
Диэтиловый эфир C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	1830	1,360	2,840	3,862	1,261	74	3,38	1,91
Ксилол C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	1820	1,355	2,830	3,834	1,259	106	1,96	1,89
Метанол CH <sub>4</sub> O	1800	1,300	2,843	3,696	1,253	32	12,30	1,77
Пентан C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	1810	1,340	2,797	3,748	1,258	72	2,56	1,84
Толуол C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	1830	1,350	2,843	3,838	1,260	92	2,23	1,90
Циклогексан C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	1770	1,340	2,797	3,748	1,248	84	2,28	1,77
Этанол C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	1770	1,340	2,804	3,757	1,256	46	6,54	1,76

В таблице использованы следующие обозначения:

$\Delta P_2$  - избыточное давление детонационной волны (эффективное);  $\gamma_{стх}$  - показатель адиабаты продуктов детонации;  $\rho_{стх}$  - плотность;  $Q_{m,стх}$  и  $Q_{v,стх}$  - теплота взрыва единицы массы и объема смеси (индексом «стх» помечен стехиометрический состав).

Таблица 20

## Значение коэффициента K4 в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
$K_4$	1	1,33	1,67	2,0	2,34	2,67	3,0	3,34	3,67	4,0	5,68



Таблица 21

Угловые размеры зоны возможного заражения (АХОВ)  
в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	<0,5	0,6-1	1,1-2	>2
Ф, град	360	180	90	45

Таблица 22

Глубины возможного заражения АХОВ, км

Ско- рость ветра, м/с	Эквивалентное количество АХОВ, т															
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	3	5	10	20	30	50	70	100	300	500	1000
1	0.38	0.85	1.25	3.16	4.75	9.18	12.5	19.2	29.5	38.1	52.6	65.2	81.9	166	231	363
2	0.26	0.59	0.84	1.92	2.84	5.35	7.2	10.8	16.4	21.0	28.7	35.3	44.0	87.7	121	189
3	0.22	0.48	0.68	1.53	2.17	3.99	5.34	7.96	11.9	15.1	20.5	25.2	31.3	61.4	84.5	130
4	0.19	0.42	0.59	1.33	1.88	3.28	4.36	6.46	9.62	12.1	16.4	20.0	24.8	41.1	65.9	101
5	0.17	0.38	0.53	1.19	1.68	2.91	3.75	5.53	8.19	10.3	13.8	16.8	20.8	40.1	51.6	83.6
6	0.15	0.34	0.48	1.09	1.53	2.66	3.43	4.88	7.2	9.06	12.1	14.7	18.1	34.6	44.7	71.7
7	0.14	0.32	0.45	1.0	1.42	2.46	3.17	4.49	6.48	8.14	10.8	13.1	16.1	30.7	41.6	63.1
8	0.13	0.3	0.42	0.94	1.33	2.3	2.97	4.2	5.92	7.42	9.9	11.9	14.6	27.7	37.4	56.7
9	0.12	0.28	0.4	0.88	1.25	2.17	2.8	3.96	5.6	6.86	9.12	11.0	13.5	25.3	34.2	51.6
10	0.12	0.26	0.38	0.84	1.19	2.06	2.66	3.76	5.31	6.5	8.5	10.2	12.5	23.4	31.6	47.5
И	0.11	0.25	0.36	0.8	1.13	1.96	2.53	3.58	5.06	6.2	8.01	9.61	11.7	21.9	29.4	44.1
12	0.11	0.24	0.34	0.76	1.08	1.88	2.42	3.43	4.85	5.94	7.67	9.07	11.0	20.5	27.6	41.3
13	0.1	0.23	0.33	0.74	1.04	1.8	2.37	3.29	4.66	5.7	7.37	8.72	10.4	19.4	26.0	38.9
14	0.1	0.22	0.32	0.71	1.0	1.74	2.24	3.17	4.49	5.5	7.1	8.4	10.0	18.4	24.6	36.8
15	0.1	0.22	0.31	0.69	0.97	1.68	2.17	3.07	4.34	5.31	6.86	8.11	9.7	17.6	23.5	34.9

**Примечание** При скорости ветра больше 15 м/с размеры зон принимать как при скорости ветра 15 м/с.

При скорости ветра меньше 1 м/с размеры заражения как при скорости ветра 1 м/с.

Таблица 23

Определение степени вертикальной устойчивости воздуха при разной погоде

Скорость ветра, м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	Ясно, пере- менная облач- ность	Сплош- ная об- лач- ность	Ясно, пе- ременная облачность	Спло- шная облач- ность	Ясно, пе- ременная облач- ность	Сплош- ная об- лачность	Ясно, пе- ременная облач- ность	Сплош- ная об- лач- ность
Менее 2	ИН	ИЗ	ИЗ (ИН)	ИЗ	К (ИЗ)	ИЗ	ИН	ИЗ
2-3,9	ИЗ	ИЗ	ИЗ (ИН)	ИЗ	ИЗ	ИЗ(ИН)	ИЗ(ИН)	ИЗ
Более 4	ИЗ	ИЗ	ИЗ (ИН)	ИЗ	ИЗ	ИЗ	ИЗ	ИЗ

**Примечание** Обозначения: ИН-инверсия, ИЗ - изотермия, К- конвекция; буквы в скобках - при снежном покрове.

Скорость ветра и степень вертикальной устойчивости воздуха принимается в расчетах на момент аварии.

Таблица 24

## Категории устойчивости атмосферы

Скорость ( $V_{10}$ ) ветра на вы- соте 10 м, м/с	Время суток				
	День			Ночь	
	Облачность отсутствует	Облач- ность средняя	Облачность сплошная	Облачность отсутствует	Облачность сплошная
$V_{10} < 2$	А	А	А	А	А
$2 < V_{10} < 3$	А	А	Д	Ф	Ф
$3 < V_{10} < 5$	А	Д	Д	Д	Ф
$5 < V_{10} < 6$	Д	Д	Д	Д	Д
$V_{10} > 6$	Д	Д	Д	Д	Д

**Примечание.** А- сильно неустойчивая (конвекция); Д - нейтральная (изотермия); Ф устойчивая (инверсия).

Таблица 25

Коэффициенты  $K_t = t^{-0,4}$  для пересчета уровней радиации на различное время  $t$  после аварии (разрушения) АЭС

$t$ , ч	$K_t$	$t$ , ч	$K_t$	1,4	$K_t$	$t$ , ч	$K_t$
0,5	1,32	4,5	0,545	8,5	0,427	16	0,3
1	1	5	0,525	9	0,417	20	0,303
1,5	0,85	5,5	0,508	9,5	0,408	1 сут	0,282
2	0,76	6	0,49	10	0,4	2 сут	0,213
2,5	0,7	6,5	0,474	10,5	0,39	3 сут	0,182
3	0,645	7	0,465	11	0,385	4 сут	0,162
3,5	0,61	7,5	0,447	11,5	0,77	5 сут	0,146
4	0,575	8	0,434	12	0,37	6 сут	0,137

Таблица 26

Допустимая продолжительность пребывания людей  $T$ , с, мин, на радиоактивно загрязненной местности при аварии (разрушении) АЭС

$\alpha = \frac{P_1}{D_{зад} \cdot K_{осл}}$	Время, произошедшее с момента аварии до начала с облучения $t_{н}$ , ч							
	1	2	3	4	6	8	12	24
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,2	7,3	8,35	10,0	11,3	12,3	14,0	16,0	21,0
0,3	4,5	5,35	6,3	7,1	8,0	9,0	10,3	13,3
0,4	3,3	4,0	4,35	5,1	5,5	6,3	7,3	10,0
0,5	2,45	3,05	3,35	4,05	4,3	5,0	6,0	7,5
0,6	2,15	2,35	3,0	3,2	3,45	4,1	4,5	6,25
0,7	1,5	2,1	2,3	2,4	3,1	3,3	4,0	5,25
0,8	1,35	1,5	2,1	2,25	2,45	3,0	3,3	4,5
0,9	1,25	1,35	1,55	2,05	2,25	2,4	3,05	4,0
1,0	1,15	1,3	1,4	1,55	2,1	2,2	2,45	3,4

Таблица 27

Определение линейного коэффициента ослабления гамма-лучей воздухом

$E$ , МэВ	0,1	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0
$\mu$ , 1/см	$1,98 \cdot 10^{-4}$	$1,46 \cdot 10^{-4}$	$1,11 \cdot 10^{-4}$	$0,81 \cdot 10^{-4}$	$0,57 \cdot 10^{-4}$	$0,46 \cdot 10^{-4}$

Таблица 28

Определение времени, прошедшее после взрыва до второго измерения

Отношение уровня радиации при втором измерении к уровню радиации при первом измерении, $P_{t2}/P_{t1}$	Время между измерениями, мин		
	15	30	60
	Время после взрыва до второго измерения (ч, мин)		
0,9	3,00	6,00	12,00
0,8	1,30	3,00	6,00
0,7	1,0	2,00	4,00
0,6	0,45	1,3	3,00
0,5	0,35	1,1	2,2
0,4	-	0,55	1,5
0,3	-	-	1,35
0,2	-	-	1,2

Таблица 29

Коэффициенты  $K_t$  для пересчета уровней радиации на различное время  $t$  после взрыва

$t$ ,ч	$K_t$	$t$ ,ч	$K_t$	$t$ ,ч	$K_t$	$t$ ,ч	$K_t$
0,5	2,3	4,5	0,165	8,5	0,077	16	0,036
1	1	5	0,145	9	0,072	20	0,027
1,5	0,615	5,5	0,13	9,5	0,068	24	0,022
2	0,435	6	0,116	10	0,063	28	0,018
2,5	0,333	6,5	0,106	10,5	0,06	32	0,015
3	0,267	7	0,097	11	0,056	36	0,013
3,5	0,223	7,5	0,09	11,5	0,053	40	0,012
4	0,189	8	0,082	12	0,051	48	0,01

Таблица 30

Остаточная доля от полученной дозы излучения

Время, прошедшее после предыдущего облучения $t_{np}$ , недели	1	2	3	4	6	8	10	12
$K$	0,9	0,75	0,6	0,5	0,35	0,25	0,17	0,13

Таблица 31

Средние значения коэффициентов ослабления излучения укрытиями  
и транспортными средствами ( $K_{осл}$ )

Наименование укрытий и транспортных средств	$K_{осл}$
1	2
<b>Открытое расположение на местности Фортификационные</b>	1
Открытые траншеи, окопы, щели	3
Деактивированные (или открытые на зараженной местности) траншеи, окопы, щели	20
Перекрытые щели	50
<b>Транспортные средства</b>	
Автомобили и автобусы	2
Железнодорожные платформы	1,5
Крытые вагоны	2
Пассажирские вагоны	3
<b>Промышленные и административные здания</b>	
Производственные одноэтажные здания (цехи)	7
Производственные и административные трехэтажные здания	6
<b>Жилые каменные дома</b>	
Одноэтажные	10
Подвал	40
Двухэтажные	15
Подвал	100
Трехэтажные	20
Подвал	400
Пятиэтажные	27
подвал	400
<b>Жилые деревянные дома</b>	
Одноэтажные	2
Подвал	7
Двухэтажные	8
Подвал	12
<b>В среднем для населения</b>	
Городского	8
Сельского	4

Таблица 32

Вещество, характеризующее смесь	Формула вещества, образующего смесь	Характеристики газопаровоздушных смесей			
		$m_k$ кг/моль	стх кг/м <sup>3</sup>	$Q_{стх}$ , МДж/кг	C, об. %
1	2	3	4	5	6
<b>Газовоздушные смеси</b>					
Аммиак	NH <sub>3</sub>	15	1,180	2,370	19,72
Ацетилен	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26	1.278	3,387	7,75

Вещество, характеризующее смесь	Формула вещества, образующего смесь	Характеристики газопаровоздушных смесей			
		$m_k$ кг/моль	стх кг/м <sup>3</sup>	$Q_{стх}$ , МДж/кг	$C$ , об. %
1	2	3	4	5	6
Бутан	$C_4H_{10}$	58	1328	2,776	3,13
Бутилен	$C_4H_8$	56	1,329	2,892	3,38
Винилхлорид	$C_2H_3Cl$	63	1,400	2,483	7,75
Водород	$H_2$	2	0,933	3,425	29,59
Дивинил	$C_4H_6$	54	1,330	2,962	3,68
Метан	$CH_4$	16	1,232	2,763	9,45
Оксид углерода	$CO$	28	1,280	2,930	29,59
Пропан	$C_3H_8$	44	1,315	2,801	4,03
Пропилен	$C_3H_6$	42	3,314	2,922	4,46
Этан	$C_2H_6$	30	1,250	2,797	5,66
Этилен	$C_2H_4$	28	1,285	1,285	6,54
Паровоздушные смеси					
Ацетон	$C_3H_6O$	58	1,210	3,112	4,99
Бензин авиационный		94	1,350	2,973	2,10
Бензол	$C_6H_6$	78	1,350	2,937	2,84
Гексан	$C_6H_{14}$	86	1,340	2,797	2,16
Дихлорэтан	$C_2H_4Cl_2$	99	1,49	2,164	6,54
Диэтиловый эфир	$C_4H_{10}O$	74	1,360	2,840	3,38
Ксилол	$C_6H_{10}$	106	1,355	2,830	1,96
Метанол	$CH_4O$	32	1,300	2,843	12,30
Пентан	$C_5H_{12}$	72	1,340	2,797	2,56
Тоулол	$C_7H_8$	92	1,350	2,843	2,23
Циклогексан	$C_6H_{12}$	84	1,340	2,797	2,28
Этанол	$C_2H_6O$	46	1,340	2,804	6,54

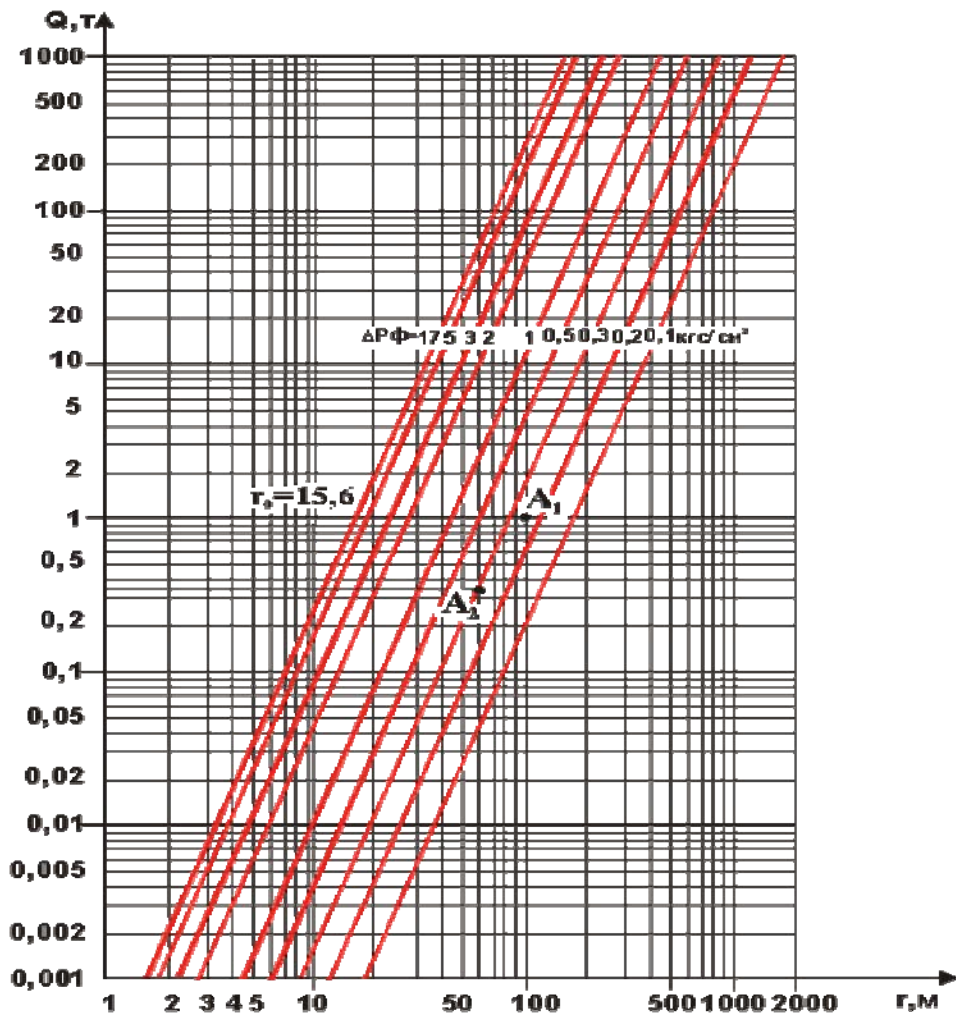


Рис. 1. Изменение значений  $\Delta P_{\phi}$  ( $\text{кгс/см}^2$ ) при взрыве пропанобутановых ГВС в зависимости от массы сжиженного газа  $Q$  ( $\text{кг}$ ) и расстояния  $r$  ( $\text{м}$ )

Таблица 33

$r/r_0$	0-1	1,01	1,04	1,08	1,2	1,4	1,8	2,7	3	4	5	6	8	12	50
$\Delta P_{\phi}$ кПа	1700	1232	814	568	400	300	200	100	80	50	40	30	20	10	5

Таблица 34

Свойства бензина АИ93

Наименование	Обозначение	Данные
Плотность жидкой фазы вещества, $\text{т/м}^3$	$\rho_{\text{вещ}}$	0,8
Мольный объем, $\text{м}^3/\text{кМоль}$	$V_0$	22,413
Молярная масса, $\text{кг/кМоль}$	$M_M$	98,2
Нижний конкреционный предел распространения пламени, % (об)	$C_{\text{нкпр}}$	1,06
Удельная теплота сгорания, $\text{кДж/кг}$	$Q_{\text{сг}}$	43641
Время с начала аварии, сек	$T_{\text{ав}}$	14400 (4 часа)
$A$ – константа уравнения Антуана	$A$	4,99831
$B$ – константа уравнения Антуана	$B$	664,976
$C$ – константа уравнения Антуана	$C_A$	221,695
Константа для приведенной массы паров ЛВЖ, $\text{кДж/кг}$	$Q_0$	4520
Температура вспышки паров ЛВЖ, град, С	$T_{\text{всп}}$	-36
Средняя плотность теплового излучения, $\text{кВт/м}^2$	$E_{\phi}$	130

План выпуска учеб.-метод. документ. 2015 г., поз. 33

Публикуется в авторской редакции

Подписано в свет 28.12.2015.

Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 2,2. Объем данных 0,8 Мбайт

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»  
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1  
<http://www.vgasu.ru>, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)