

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АРХИТЕКТУРЫ, ДИЗАЙНА И СТРОИТЕЛЬСТВА**

**Кафедра Защита в чрезвычайных ситуациях**

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ  
И ОЦЕНКА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ  
ПОСЛЕДСТВИЙ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

**Методические указания  
к проведению практических занятий**

**Бишкек 2020**

УДК 351.862.6/8(076)

Рассмотрено и одобрено Учёным Советом факультета  
(протокол от 25.08.2020 № 1 )

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры  
(протокол от 24.08.2020 № 1 )

**Рецензент:** *Мусуралиева Д.Н.*, к.б.н. и.о. доцента кафедры «ЗЧС»

**Составитель:** *Сардарбекова Э.К.*, к.т.н., и.о. доцента кафедры «ЗЧС»

**Прогнозирование и оценка социально-экономических последствий в чрезвычайных ситуациях:** Методические указания к проведению практических занятий / Сост. Э. К. Сардарбекова. – Бишкек, 2020. – 64 с.

В методических указаниях изложены рассмотрены примеры расчета обстановки при чрезвычайных ситуациях, методики прогнозирования последствий стихийных бедствий, аварий и катастроф, краткие теоретические сведения по математическому моделированию основных чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера, а так же приведены задания для выполнения индивидуальных практических работ.

Издание предназначено для студентов специальности - Защита в чрезвычайных ситуациях.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ НАСТУПЛЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ .....	5
Задание для самостоятельной работы .....	11
ВЕРОЯТНОСТЯЯ ОЦЕНКА УЩЕРБА ПРИ ЧС .....	13
Задание для самостоятельной работы .....	16
РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ .....	17
Задание для самостоятельной работы .....	21
ОЦЕНКА И РАСЧЕТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИ УРАГАНАХ .....	23
Задание для самостоятельной работы .....	26
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ НАВОДНЕНИЯХ .....	27
Задание для самостоятельной работы .....	30
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРАХ .....	31
Задание для самостоятельной работы .....	35
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ ВЗРЫВЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЗРЫВЧАТАХ ВЕЩЕСТВ .....	36
Задание для самостоятельной работы .....	41
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ ПОЖАРАХ .....	42
Задание для самостоятельной работы .....	50
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ ХИМИЧЕСКИХ АВАРИЯХ .....	52
Задание для самостоятельной работы .....	61
ЛИТЕРАТУРА .....	63

## ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания предназначены для проведения практических занятий по курсу «Прогнозирование и оценка социально-экономических последствий в чрезвычайных ситуациях» со студентами специальности «Защита в чрезвычайных ситуациях».

Важным условием усвоения методов моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций является самостоятельная работа студентов. Одной из эффективных форм этой работы является самостоятельное изучение необходимых теоретических сведений и выполнение соответствующих расчетно-графических работ. Для организации самостоятельной работы студентов в методические указания включены варианты индивидуальных заданий по каждой теме курса.

Методические указания охватывают простейшие математические модели основных природных и техногенных чрезвычайных ситуаций и их последствий.

Данный учебно-методический материал составлен на основе учебного пособия «Основы моделирования чрезвычайных ситуаций» под ред В.Г. Шапталы, 2010 г. и может быть также использован в научной работе студентов, в курсовом и дипломном проектировании.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ НАСТУПЛЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Количественные характеристики риска чрезвычайных ситуаций (далее ЧС)  $R$  представляет собой прогнозирование вероятности её наступления  $P$  на величину ожидаемого ущерба  $Y$ :

$$R = PY \quad (1.1)$$

Вероятности наступления очередной ЧС зависит о времени ожидания

$$P = H(\tau), \quad (1.2)$$

где  $\tau > \tau_{чс}$  – время ожидания,  $\tau_{чс}$  – продолжительность протекания самой ЧС,  $H(\tau)$  – функция риска. Функция риска является интегральной функцией распределения непрерывной случайной величины,  $T$ -времени ожидания следующей ЧС, поэтому

$$H(\tau) \rightarrow 0 \text{ при } \tau \rightarrow \tau_{чс} \quad (1.3)$$

$$H(\tau) \rightarrow 0 \text{ при } \tau \rightarrow \infty$$

Для представления функции риска чаще всего используют показательную и степенную функцию:

$$H_n(\tau) = 1 - \exp - \left( \frac{\tau - \tau_{чс}}{\tau_c} \right), \quad (1.4)$$

$$H_c(\tau) = 1 - \left( \frac{\tau_{чс}}{\tau} \right)^{\alpha - 1}, \quad (1.5)$$

где  $\tau_c$  - средняя продолжительность чрезвычайной ситуации.

Функции риска (1.4) соответствует простейшему пуассонову потоку ЧС и быстро достигает насыщения, т.е. значения, близкого к единице. Функция риска

(1.5) стремится к единице более медленно и характерна для последовательности редких катастрофических событий.

Параметры функций риска  $\tau_{чс}$  и  $\tau_c$  определяются путём статистической обработки вариационного ряда эмпирических значений интервалов между смежными ЧС.

Для этого диапазоны изменения  $\tau_{чс}$  и  $\tau_c$  необходимо разбить на одинаковые частичные интервалы и подсчитать частоты значений этих величин  $n_i$ , попадающих в каждый интервал.

Каждому частичному интервалу ставится в соответствие значение  $\tau_{чс}$  и  $\tau_i$ , равные среднему арифметическому концов этих интервалов. Относительные частоты значений  $\tau_i$  определяются по формуле

$$W_i = n_i / n, \quad (1.6)$$

где,  $n = \sum_{i=1}^m n_i$  - объём выборки,  $m$  - число частичных интервалов. По относительным частотам периодов ожидания ЧС  $\tau_i$  вычисляются значения эмпирической функции риска:

$$H_i^* = \sum_{j=1}^i W_j. \quad (1.7)$$

В качестве значений параметров  $\tau_{чс}$  и  $\tau_c$  берутся их выборочные точечные оценки:

$$\tau_c = \bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^m \tau_i n_i}{n}; \quad (1.8)$$

$$\tau_{чс} = \bar{\tau}_{чс} = \frac{\sum_{i=1}^{m^e} \tau_{чс_{и}} n'_{i}}{n'}. \quad (1.9)$$

Параметр  $\alpha$  функции риска (1.5) определяется по эмпирическим данным методом наименьших квадратов

$$\alpha = 1 + \frac{A}{B}, \quad (1.10)$$

где:

$$A = \sum_{i=1}^m \ln\left(\frac{\tau_{qC}}{\tau_i}\right) \ln(1 - H_i^*) \quad (1.11)$$

$$B = \sum_{i=1}^m \ln^2\left(\frac{\tau_{qC}}{\tau_i}\right) \quad (1.12)$$

Более точно соответствует опытным данным функция риска, минимизирующая сумму квадратов разностей её расчётных и эмпирических значений:

$$S = \sum_{i=1}^m (H(\tau_i) - H_i^*)^2 \rightarrow \min. \quad (1.13)$$

В формуле риска (1.1) входит вероятность наступления ЧС за единицу времени, обычно в течении года. Эта вероятность может быть найдена с помощью функции риска:

$$P = H(\tau=1), \quad (1.14)$$

Проверка адекватности математической модели осуществляется путем сравнения модельных (расчетных) значений  $y_{xi}$  с эмпирическими значениями  $y_i$ , найденными на  $m$  различных уровнях независимой переменной  $x_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Простейшей предварительной мерой соответствия математической модели реальной ситуации является относительное среднее квадратическое отклонение расчетных данных от опытных:

$$\tilde{\Delta} = \frac{S_e}{\bar{y}},$$

где  $\bar{y} = \sum_{i=1}^m y_i/m$  - среднее значение опытных данных, возможность выполнить дисперсионный анализ расчетных и эмпирических данных. Для этого на каждом уровне независимой переменной  $x_i$  вычислим групповые средние значения  $y_i$ :

### Пример расчета

Определение параметров математической модели и проверка ее адекватности.

*Исходные данные.*

Аварийность в системе водоснабжения города за последние 15 лет характеризуется статистическим распределением 25-ти значений случайной величины  $\tau$  – времени ожидания следующей аварии (табл. 1.2). Одно значение  $\tau$  выходит за рамки последнего частичного интервала и поэтому не учитывается. Средняя продолжительность устранения аварии, найденная предварительно путем обработки имеющихся данных, составляет  $\tau_{ср} = 0,01$  месяца.

Таблица 1.2. **Статистическое распределение времени ожидания следующей аварии**

Частичные интервалы	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20
$\tau_i$	3	5	7	9	11	13	15	17	19
$n_i$	5	4	3	2	3	3	2	1	1

По данным, характеризующим аварийность в системе водоснабжения (табл. 1.2), определить параметры степенной функции риска (1.4) и проверить ее адекватность опытным данным.

*Решение.*

Математическая модель повторяемости аварий (1.4) определяет вероятность отказа в течение интервала времени  $(\tau_{ср}, \tau)$ . Модель содержит два параметра ( $p = 2$ ):  $\tau_{ср} = 0,01$  и  $\tau_c$  – средняя продолжительность интервала между



двумя смежными авариями. Вычислим относительные частоты  $W_i$  отдельных значений  $\tau_i$ :

Найдём относительные частоты значений  $W_i$  отдельных значений  $\tau_i$  по (1.6), где  $n = 25$ , а также рассчитаем эмпирическую функцию риска  $H_i^*$ , где  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $m = g$  – число уровней величины  $\tau$ .

Результаты расчетов приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3. Значения эмпирической функции риска

$\tau_i$	3	5	7	9	11	13	15	17	19
$W_i$	0,20	0,16	0,12	0,08	0,12	0,12	0,08	0,04	0,04
$H_i^*$	0,2	0,36	0,48	0,56	0,68	0,80	0,88	0,92	0,96

Найдём средние значения времени ожидания  $\tau_c$  и эмпирической функции распределения  $\bar{H}^*$ :

$$\tau_i = \sum_{i=1}^m \tau_i W_i = 8,48 \text{ месяца};$$

$$\bar{H}^* = \sum_{i=1}^m H_i^* W_i = 0,649.$$

Подставив значения параметров  $\tau_{uc}$  и  $\tau_c$  в формулу (1.5), получим следующее выражение для модели повторяемости аварий:

$$H_\tau = 1 - \exp - \left( \frac{\tau - 0,01}{8,48} \right)$$

С помощью этой формулы рассчитаем теоретические (модельные) значения функции риска  $H_{\tau_i}$  в точках  $\tau_i$  и вычислим разности (невязки)  $H_i^* - H_{\tau_i}$  (табл. 1.4).

Таблица 1.4. **Значения теоретической функции риска и их отклонения от значений**

$\tau_i$	3	5	7	9	11	13	15	17	19
$H_{\tau_i}$	0,297	0,445	0,561	0,654	0,726	0,784	0,829	0,865	0,893
$H_i^* - H_{\tau_i}$	-0,097	-0,085	-0,081	-0,094	-0,046	0,016	0,051	0,055	0,067

По данным табл. 1.4 найдем выборочное среднее квадратическое отклонение эмпирических значений функции риска от модельных:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (H_i^* - H_{\tau_i})^2}{m-p}} = 0,08,$$

А также относительную величину этого отклонения:

$$\tilde{\Delta} = \frac{S_e}{\bar{H}^*} = 0,23 = 12,3\%.$$

Отсюда следует, что рассматриваемая математическая модель вполне удовлетворительно описывает повторяемость аварий. Проверим адекватность этой модели с помощью критерия Вилкоксона-Манна-Уитни. Для этого построим общий вариационный ряд, объединяющий эмпирическую ( $H_i^*$ ) и модельную ( $H_{\tau_i}$ ) выборки значений функции риска:

1	3	5	6	9
<b>0,2</b>	0,297	<b>0,36</b>	0,445	<b>0,48</b>
			<b>0,56</b>	0,561
	12		15	17
0,726	0,784	<b>0,80</b>	0,829	0,865
			<b>0,88</b>	0,893
				<b>0,92</b>
				<b>0,96</b>

Вычислим сумму рангов (порядковых номеров) эмпирических значений функции риска в объединенной выборке

$$S = 1+3+5+6+9+12+15+17+18=86.$$

Найдем параметры нормального распределения случайной величины  $S$ :

$$m_s = \frac{9 \cdot 19}{2} = 85,5, \quad \sigma_s = \sqrt{\frac{9 \cdot 81}{6}} = 11.$$

Вычислим границы критической области для гипотезы об однородности эмпирической и модельной выборки на уровне значимости  $\alpha = 0,05$ :

$$S \leq 85,5 - 1,96 \cdot 11 = 63,94$$

$$S \geq 85,5 + 1,96 \cdot 11 = 107,06$$

Значение  $S = 86$  не попадает в критическую область, значит гипотеза об однородности эмпирической и модельной выборок подтверждается, различие между эмпирическими и модельными значениями функции риска статистически незначимы и рассмотренную выше математическую модель повторяемости аварий следует считать адекватной.

Найдем с помощью построенной выше модели вероятность наступления аварии в течение месяца и года после ликвидации предыдущей аварии:

$$H(\tau=1) = 0,11; \quad H(\tau=12) = 0,76$$

Найденные вероятности свидетельствуют о необходимости безотлагательного приведения профилактических мероприятий.

### **Задание для самостоятельной работы**

1. По заданному статистическому распределению времени ожидания ЧС (табл. 1.5) выбрать функцию риска.
2. Вычислить вероятность наступления ЧС в течении года.
3. На плоскости  $(\tau, H(\tau))$  построить графики функций риска отметить значения  $H^*(\tau_i)$

Таблица 1.5. Варианты исходных данных  $n=20$ ,  $\tau_{\text{чс}} = 0.01$ 

№ варианта	Интервалы					
	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14
	Средние значения $\tau_i$					
	3	5	7	9	11	13
Частоты $n_i$						
1	10	4	1	2	1	1
2	9	4	2	2	1	1
3	8	4	3	2	1	1
4	2	5	6	3	2	1
5	7	6	2	2	1	1
6	6	5	4	2	1	1
7	4	6	3	3	2	1
8	5	8	3	1	1	1
9	6	7	2	2	1	1
10	4	5	4	3	2	1
11	3	6	3	3	3	1
12	4	5	4	3	2	1
13	3	4	4	3	3	2
14	2	5	4	4	3	1
15	1	6	4	3	3	2
16	4	9	3	1	1	1
17	1	5	5	3	3	2
18	3	6	5	2	2	1
19	2	6	4	3	3	1
20	3	8	3	3	1	1
21	4	7	4	2	1	1
22	5	6	4	2	1	1
23	6	7	3	1	1	1
24	7	5	3	2	1	1
25	8	5	3	1	1	1

## ВЕРОЯТНОСТЯЯ ОЦЕНКА УЩЕРБА ПРИ ЧС

Независимо от характера и источника ЧС вероятность определенной степени разрешений и поражения людей можно выразить с помощью одного и того же соотношения:

$$P_{nop} = 0,5 + \int_0^{Pr} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt = 0.5 + \Phi(Pr), \quad (2.1)$$

где  $\Phi(Pr) = \int_0^{Pr} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$  – интеграл вероятностей, функция Лапласа,  $Pr$  – пробит функция (от английского *probability* – вероятность), которая является количественной мерой поражающего воздействия.

Выражение для пробит функции, включающие количественные характеристики поражающих факторов, найдены для всех основных опасных событий путем обработки статистических данных о последствиях аварий и катастроф.

Значение функции Лапласа могут быть найдены по таблицам или вычислить с помощью приближенной формулы:

$$\Phi(x) = 0.5(1 - (1 + 0.049867x + 0.021141x^2 + 0,032x^3 + 0.000038x^4)^{-16}) \quad (2.2)$$

При вычислениях по формуле (2.1) следует иметь в виду свойства функции Лапласа:

$$\Phi(-x) = -\Phi(x); \quad \Phi(0) = 0; \quad \Phi(x)|_{x \geq 5} = 0.5 \quad (2.3)$$

Из формулы (2.1) следует, чего при  $Pr \geq 2,33$  вероятность заданного разрушения или поражения человека превышает 99%, т.е. заданный ущерб становится практически достоверным.

При  $Pr = -3,2$ ,  $P_{nop} \leq 0,001$  вероятностью поражения можно пренебречь.

Например, одним из поражающих факторов пожара, является тепловое излучение.

Пробит-функция для оценки вероятности смертельных поражений людей в результате их теплового облучения имеет вид:

$$Pr = -14,5 + 2,5 \ln\left(I_{\frac{4}{3}} \tau\right), \quad (2.4)$$

где  $I$  – интенсивность воздействующего на человека теплового потока, кВт/м<sup>2</sup>;  
 $\tau$  - время воздействия, с.

Подставив в формулу (2.4)  $Pr=2,33$  и  $Pr=0,025$ , найдем значения выражения  $I^{4/3}\tau$  для критического и безопасного состояния не защищенного человека в зоне действия теплового потока

$$\begin{aligned}(I^{4/3}\tau)_{кр} &= 716,4, \\ (I^{4/3}\tau)_{без} &= 82,6\end{aligned}\quad (2.5)$$

Для оценки критического ( $P_{нор}\geq 99\%$ , также безопасного ( $P_{нор}\geq 1\%$ ) расстояния от источника теплового излучения можно воспользоваться формулой:

$$I \approx 5 \cdot 10^{-12} T^4 \frac{S_{изл}}{R^2}, \text{ кВт/м}^2, \quad (2.6)$$

Где  $T$  - абсолютная температура источника излучения, К ( $T=273+t$  с);  $S$  – площадь источника излучения, м<sup>2</sup>;  $R$  – расстояние, м.

Для интерполяции результатов расчетов по формулам (2.1-2.6) можно использовать интерполяционную формулу Лагранжа второй степени:

$$f(x) \approx f(x_1) \frac{(x-x_2)(x-x_3)}{(x_1-x_2)(x_1-x_3)} + f(x_2) \frac{(x-x_1)(x-x_3)}{(x_2-x_1)(x_2-x_3)} + f(x_3) \frac{(x-x_1)(x-x_2)}{(x_3-x_1)(x_3-x_2)} \quad (2.7)$$

При применении этой формулы необходимо следить за тем, что бы одни из разностей  $x_1-x_2$ ,  $x_1-x_3$ ,  $x_2-x_3$  не была очень малой.

### Пример расчета

В результате развития пожара возник источник теплового излучения с параметрами  $S_{изл} = 15 \text{ м}^2$ ,  $T=2200 \text{ К}$ . Время пребывания в зоне облучения равно  $\tau = 10 \text{ с}$ .

## Решение

1. По формуле (2.6) найдем поток излучения

$$I = 5 \cdot 10^{-12} \cdot 2200^4 \cdot 15 / R^2 = \frac{1756.9}{R^2} . \quad (2.8)$$

2. По формулам (2.5) найдем  $R_{кр}$  и  $R_{без}$ :

$$R_{кр} = \left( \frac{10}{716.4} \right)^{3/8} \sqrt{1756.9} = 8.4 \text{ м};$$

$$R_{без} = \left( \frac{10}{82.6} \right)^{3/8} \sqrt{1756.9} = 19 \text{ м}.$$

3. Найдем вероятность смертельного поражения человека посередине отрезка (8.4; 19):

$$R_2 = (8.4 + 19) / 2 = 13.7 \text{ м}$$

$$I = \frac{1756.9}{13.7^2} = 9.36 \text{ кВт/м}^2$$

$$P_r = 14.5 + 2.56 \ln(9.36^{4/3} \cdot 10) = -0.97$$

$$P_{пор}(R_2) = 0.5 - \Phi(0.97) = 0.166$$

4. По формуле (2.7) составим интерполяционную квадратичную зависимость  $P_{пор}$  от  $R$ :

$$P_{пор} \approx 0.0176(R - 13.7)(R - 19) - 0.0059(R - 8.4)(R - 19) + 0.000018(R - 8.4)(R - 13.7)$$

5. С помощью интерполяционной формулы заполним таблицу распределения вероятностей смертельного поражения людей за время  $\tau = 10$  с

$R$ , м	$R_{кр}$	$R_4$	$R_2$	$R_5$	$R_{без}$
	8.4	11.05	13.7	16.35	19
$P_{пор}$	0.99	0.495	0.166	0.0011	0.0010

### Задание для самостоятельной работы

Для источника мощного теплового излучения, параметры которого приведены в таблице (2.1), найти  $R_{кр}$  и  $R_{без}$  и вычислить  $P_{нор}$  в т.  $R_2$   $R_2 = (R_{кр} + R_{без})/2$ .

По значениям вероятности поражения в точках  $R_{кр}$ ,  $R_{без}$  и  $R_{без}$  записать интерполяционную формулу (2.7) и с её помощью найти  $P_{нор}$  в точках  $R_4$   $R_4 = (R_{кр} + R_2)/2$  и  $R_5 = (R_2 + R_{без})/2$ .

Построить график зависимости  $P_{нор}(R)$ .

Таблица 2.1. Варианты исходных данных

№ варианта	$S_{изл}, \text{ м}^2$	T, K	$\tau, \text{ с}$
1	10	2000	20
2	30	1800	15
3	15	2200	30
4	20	1500	25
5	10	2500	15
6	25	2000	20
7	30	1200	30
8	10	1500	25
9	15	1750	20
10	20	1800	30
11	30	1500	20
12	35	1200	25
13	10	2000	15
14	20	1750	30
15	30	1300	25
16	35	1000	30
17	15	1500	35
18	10	2500	40
19	20	1800	20
20	30	1000	30
21	25	1500	25
22	15	2200	35
23	20	1800	40
24	30	1300	30
25	25	1850	25



## РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Энергия сейсмических волн  $E$ , Дж, возникающих при землетрясениях, определяется соотношением:

$$E = 10^{4,8+1,5M}, \quad (3.1)$$

где  $M$  – магнитуда землетрясений – условная единица измерения его общей энергии принимающая по шкале Рихтера значения от 1 до 9.

Амплитуда колебаний земной поверхности  $Z_M$ , мкм, зависит от магнитуды землетрясения и расстояний от его эпицентра:

$$Z_M = 10^{M-1.32\lg R}. \quad (3.2)$$

Интенсивность (сила) землетрясения  $J$  является условной количественной характеристикой его разрушительного действия, принимает по шкале MSK-64 значения от 1 до 12 баллов и вычисляется

$$J(R) = 3 + 1,5M - 3,5\lg\sqrt{R^2 + h^2}, \quad (3.3)$$

где  $h$ , км – глубина расположения очага землетрясения – эпицентра.

Наибольшего значения эффективность землетрясения достигает в его эпицентре ( $R=0$ ):

$$J_0 = 3 + 1,5M - 3,5\lg h \quad (3.4)$$

Если глубина залегания гипоцентра неизвестна, то используется приближительная оценка

$$J_0 \geq 1,5(M-1). \quad (3.5)$$

С учетом (3.4), формула (3.3) можно привести к виду:

$$J(R) = J_0 + 3,5\lg\frac{h}{\sqrt{h^2 + R^2}} \quad (3.6)$$

Реальную интенсивность землетрясения, учитывающую различие типов грунта под застройкой и на всей остальной окружающей местности, определяют по формуле:

$$J_{реал} = J(R) - (\Delta J_s - \Delta J_m), \quad (3.7)$$

где  $\Delta J_z$  и  $\Delta J_m$  – приращение балльности грунта под застройкой и на окружающей местности (табл. 3.1)

Таблица 3.1. **Изменения балльности землетрясения для различных типов грунта**

Тип грунта	$\Delta J_z, \Delta J_m$
Гранит	0
Известняк	0,52
Щебень, гравий	1,36
Полускальные грунты	0,92
Песчаник	1,60
Глинистые грунты	1,61
Насыпные рыхлые	2,60

Различают 3 фазы землетрясения, связанные с приходом в данную точку земной поверхности продольных волны (*P*-фаза), поперечных (*S*-фаза) и поверхностных волн (*L*-фаза) Время наступления этих фаз, с момента землетрясения определяется формулами:

$$t_p = \frac{\sqrt{h^2 + R^2}}{V_p}, \quad t_s = 1,7t_p, \quad t_L = \frac{h + 3,4R}{V_p},$$

где  $V_p$ , км/с – скорость распространения продольных сейсмических волн, зависящая от типа горной породы или грунта (табл. 3.2)

Таблица 3.2 - Скорость распространения продольных сейсмических волн

Тип горной породы или грунта	$V_p$ , км/с
Граниты, базальты	6, 9
Осадочные породы	6,1
Песчаники, известняки	1,5-5,6
Полускальные грунты	1,4-3,6
Крупнооболочные грунты	1,1-2,1
Песок	0,7-1,6
Глина, суглинок	0,5-1,5
Насыпные грунты	0,2-0,5

Характер и тяжесть последствий землетрясения зависят от их интенсивности.

Состояние зданий и сооружений после землетрясения оценивается степенью их разрушения (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Степени разрушения зданий при землетрясениях

Признаки повреждений	Степень разрушений.
Отсутствие видимых повреждений (сотрясение зданий в целом)	0
Слабые повреждения (тонкие трещины, откалывание штукатурки)	1
Средние повреждения (умеренные повреждения несущих конструкций)	2
Сильные повреждения (несущих конструкций, сквозные трещины в несущих стенах)	3
Частичные разрушение (проколы, обрушения отдельных панелей)	4
Обвал (полное обрушение зданий с потерей их формы)	5

Здания и сооружения традиционной постройки (без применения специальных антисейсмических мероприятий) характеризуется определенной сейсмостойкостью, равной интенсивности землетрясения  $J_c$  которую они способны выдержать без существенных повреждений (табл. 3.5).

Таблица 3.4. Классификация зданий и сооружений по сейсмостойкости

Характеристика здания	$J_c$ , баллы
Здания со стенами из сырцового кирпича на глиняном растворе без регулярной кладки в углах и без фундамента	4
То же, но с фундаментом и регулярной кладкой в углах.	4,5
Здания с деревянным каркасом и легкими перекрытиями	5
Типовые здания из керамического кирпича или бетонных блоков на цементном растворе. Сплошные кирпичные заборы, трансформаторные будки, водонапорные башни	5,5
Деревянные рубленые дома	6
Типовые крупнопанельные дома и сооружения	6,5
Типовые здания и сооружения с антисейсмическими мероприятиями и расчетной сейсмостойкостью в 7 баллов	7
То же для расчетной сейсмостойкости 8 баллов	8
То же для расчетной сейсмостойкости 9 баллов	9

Степень разрушения однотипных зданий и сооружений в зависимости от их сейсмостойкости и реальной интенсивности землетрясения является случайной величиной, распределение вероятности которой приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5. **Распределение вероятностей различных степеней разрушения зданий**

$J_{реал} - J_c$	Степень разрушения					
	0	1	2	3	4	5
0	0,9	0,1				
1	0,4	0,5	0,1			
2	0,1	0,3	0,5	0,1		
3	0	0,1	0,3	0,5	0,1	
4	0	0	0,1	0,3	0,5	0,1
5	0	0	0	0,1	0,3	0,6
6	0	0	0	0	0,1	0,9

Вероятности потерь находящиеся в зданиях людей общих  $P^{общ}$  (погибшие и раненые) безвозвратные  $P^{безв}$  и санитарных  $P^{сан}$  определяются по формулам:

$$P^{общ} = 0,05 P^3_{i=3} + 0,5 P^3_{i=4} + 0,95 P^3_{I=5}, \quad (3.11)$$

$$P^{безв} = 0,01 P^3_{i=3} + 0,17 P^3_{i=4} + 0,65 P^3_{I=5}, \quad (3.12)$$

$$P^{сан} = P^{общ} - P^{безв}. \quad (3.13)$$

Для определения абсолютных потерь населения найденные вероятности потерь следует умножить на численность людей, находящихся в зданиях, которая рассчитывается по общей численности населения и его распределению по местам пребывания (личные и производственные здания, транспорт, улица) (табл. 3.6)

**Таблица 3.6. Среднесуточное распределение городского населения по месту его пребывания**

Время суток, ч	Доля населения в данном месте нахождения, %							
	Жилые здания и здания бытового назначения	Производственные здания	В транспорте			На улице (открыто)		
			Города с населением, млн. чел					
			0,25-0,5	0,5-1	>1	0,25-0,5	0,5-1	>1
1-6	94	6						
6-7	74	6	7	9	12	13	11	8
7-10	22	50	9	11	17	19	17	11
10-13	28	52	6	7	10	14	13	10
13-15	45	37	4	4	7	14	14	11
15-17	27	49	8	9	13	15	15	12
17-19	45	24	10	12	15	20	18	15
19-01	77	14	4	4	6	5	5	3

### Задание для самостоятельной работы

Для населенного пункта с заданной численностью населения и заданной застройкой (табл. 3.7) оказавшегося в зоне действия землетрясения с заданными параметрами. Определить моменты наступления фаз землетрясения, структуру и степень разрушения зданий, величину потерь населения.

Таблица 3.7. **Варианты исходных данных**

№ вар.	Числен. насел. тыс. чел.	Тип грунта		Тип здания	Параметры землетрясения			
		в окруж. месте	под зданием		γ <sub>0</sub>	R	h	время земл.
1	50	Глина	Гранит	Дерево	8	70	30	2
2	70	Песок	Насып.	Кирп	7	40	20	6
3	90	Гравий	Полуск.	Ж/б	9	100	25	4
4	100	Известняк	Гранит	Кирп	8,5	60	35	10
5	60	Песок	Известня	Ж/б	7,5	50	15	11
6	50	Глина	Щебень	Дерев каркас	8	40	40	13
7	70	Известняк	Глина	Кирп	9	65	30	14
8	80	Песок	Гранит	Ж /б	8,5	70	20	16
9	90	Щебень	Насып.	Дерев. каркас	7	60	25	18
10	100	Песок	Полуск.	Дерев. каркас	7,5	55	35	19
11	150	Глина	Щебень	Ж/б	8	80	20	21
12	120	Песок	Извест	Кирп	8,5	90	30	16
13	75	Известняк	Глина	Дерев. каркас	9	120	35	15
14	80	Глина	Гранит	Кирп	8	100	25	14
15	60	Песок	Извест	ж/б	8,5	95	40	13
16	70	Глина	Щебень	Кирп	7	50	30	12
17	90	Песок	Полуск	Дерев. каркас	7,5	40	35	11
18	100	Гравий	Насып.	Ж/б	8	45	20	13
19	120	Известняк	Гранит	Кирп	9	100	15	16
20	110	Глина	Полуск.	Ж/б	8,5	60	25	18
21	80	Песок	Насып.	Дерев. каркас	7	50	30	14
22	70	Гравий	Глина	ж/б	7,5	55	35	6
23	60	Известняк	Щебень	ж/б	8	90	40	7
24	50	Глина	Известн	Дерев. каркас	9	95	30	8
25	100	Песок	Гранит	Кирп	7	60	25	11

## ОЦЕНКА И РАСЧЕТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИ УРАГАНАХ

Ураган – это ветер большой разрушительной силы и значительной продолжительности, скорость которого превышает 32 м/с (115—200 км/ч). Урагану может предшествовать буря со скоростью ветра 15—20 м/ч. Силу ветра по его действию на наземные предметы и по волнению моря оценивают также в баллах по шкале Бофорта: 0 баллов – штиль, безветрие; 4 – умеренный ветер; 6 – сильный ветер; 10 – буря (шторм); 12 баллов – ураган. Продолжительность урагана может достигать 1 – 12 дней. Ширина урагана – от 20 до 200 км, а если учитывать ветер штормовой силы, то ширина урагана может достигать 1000 км.

Ураганы часто сопровождаются ливнями, которые по своему разрушительному действию могут превосходить сами ураганы.

Ураганы несут в себе колоссальную энергию, сравнимую с энергией землетрясений. Их основным разрушительным фактором являются скоростной напор воздушного потока.

Силу скоростного напора можно вычислить по формуле:

$$F_H = CS \frac{\rho u^2}{2}, \quad (4.1)$$

где  $S$  – площадь обдуваемой поверхности,  $\text{м}^2$ ;  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха,  $u$  – скорость ветра  $\text{м/с}$ ,  $C$  – коэффициент аэродинамического сопротивления (табл.4.1).

Таблица 4.1. Значение коэффициентов аэродинамического сопротивления

Форма поверхности	C
Пластина круглой формы	1,11
Прямоугольная пластина с отношением сторон:	
1	1,1
2	1,15
4	1,19
10	1,29
Круглый цилиндр	1,2

При ураганах различают четыре степени разрушения зданий и сооружений (слабая, средняя, сильная и полная), характеристики которых приведены в табл. 4.3

Таблица 4.3. **Характеристика степеней разрушения зданий и сооружений при ураганах**

Здания, соор. и оборуд.	Степень разрушения		
	слабая	средняя	сильная
Производственные и административные здания	Разрушения наименее прочных конструкций зданий и сооружений: заполненных дверных и оконных проемов; небольшие трещины в стенах, откалывание штукатурки, падение кровельных черепиц, трещины или падение их отдельных частей	Разрушение перегородок, кровли, части оборудования; большие и глубокие трещины в стенах, падение дымовых труб, разрушение оконных и дверных заполнений, появление трещин в стенах	Значительная деформация несущих конструкций; сквозные трещины и проломы в стенах, обрушения частей стен и перекрытий верхних этажей, деформация перекрытий нижних этажей
Технологическое оборудование	Повреждение деформация отдельных деталей, электропроводки, приборов автоматики	Повреждение шестерен и повреждение передаточных механизмов, обрыв маховиков и рычагов управления, разрыв приводных ремней	Смещение с фундаментов и деформации станин, трещины в деталях, изгиб валов
Подъемно-транспортные механизмы, крановое оборудование	Частичное разрушение и деформация обшивки повреждение стекол и приборов	Повреждение наружного оборудования, разрыв трубопроводов систем питания, смазки охлажд.	Опрокидывание, срыв отдельных частей, общая деформация рамы
Газгольдеры, резервуары для нефтепродуктов и сжиженных газов	Небольшие вмятины, деформация трубопроводов повреждение запорной арматуры	Смещения на опорах, деформация оболочек, подводящих трубопроводов, повреждение запорной арматуры	Срыв с опор, опрокидывание, разрушение оболочек, обрыв трубопроводов и запорной арматуры
Трубопроводы	Повреждение стыковых соединений, частичное повреждение КИП	Разрыв стыковых соединений, повреждение КИП и запорной арматуры, перелом труб на вводах и отдельных местах	Переломы труб на вводах. Разрыв и деформация труб. Сильные повреждения арматуры.

Степень разрушения зданий и сооружений (табл. 4.4) зависит от скорости ветра и типа застройки (назначение, стоимость, материал стен, перекрытий и т.д.)



**Таблица 4.4. Скорость ветра (м/с),  
вызывающая определенную степень разрушения**

№ п/п	Типы конструктивных решений здания, сооружения и оборудования	Степень разрушения			
		слабая	средняя	сильная	полная
1	Промышленные здания с легким металл. каркасом и здания бескаркасной констр.	25-30	30-50	50-70	>70
2	Кирпичные малоэтажные здания	20-25	25-40	40-60	>60
3	Кирпичные многоэтажные здания	20-25	25-35	35-50	>50
4	Административные многоэтажные здания с металлическими и железобетонными каркасами	25-30	35-50	50-60	>60
5	Крупнопанельные жилые здания	20-30	30-40	40-50	>50
6	Складские кирпичные здания	25-30	30-45	45-55	>55
7	Легкие-навесы с металлическим каркасом и шиферной кровлей	15-20	20-45	45-60	>60
8	Склады-навесы из ж/б элементов	25-35	35-55	55-70	>70
9	Трансформаторные подстанции закр. типа	35-45	45-70	70-100	>100
<b>Водонапорные башни:</b>					
10	Кирпичные	30-35	35-55	55-85	>85
11	Стальные	30-35	35-55	55-85	>85
<b>Резервуары:</b>					
12	Наземные металлические	30-40	40-45	55-70	>70
13	Частично заглубленные	35-45	45-65	65-85	>85
14	Газгольдеры	30-35	35-45	45-55	>55
<b>Градири:</b>					
15	Прямоугольные вентиляторные с железобетонным или стальным каркасом	15-20	20-30	30-40	>40
16	Цилиндрические вентиляторные из монолитного или сборного железобетона	20-25	25-35	35-45	>45
<b>Насосные станции:</b>					
17	наземные кирпичные	25-35	30-40	40-50	>50
18	наземные железобетонные	25-35	35-45	55-45	>55
19	полузаглубленные железобетонные	35-40	40-50	50-65	>65
20	Ректификационные колонны	25-30	30-40	40-55	>55
21	Открытое распредел. устройство	20-25	25-35	35-55	>55
22	Крановое оборудование	35-40	40-55	55-65	>65
23	Подъемно-транспортное оборудование	35-40	40-50	50-60	>60
24	Контрольно-измерительные приборы	20-25	25-35	35-45	>45
<b>Трубопроводы:</b>					
25	Наземные	35-45	45-60	60-80	>80
26	На металлических или железобетонных эстакадах	35-40	40-55	55-65	>65
27	Кабельные наземные линии	25-30	30-40	40-50	>50
28	Воздушные линии низкого напряжения	25-30	30-45	45-60	>60
29	Кабельные наземные линии связи	20-25	25-35	35-50	>50

В зависимости от степени разрушения зданий по таблице 4.5 определяется вероятности потерь людей, умножив эти вероятности на число людей, находящихся в зданиях, найдем численность общих и безвозвратных людских потерь.

**Таблица 4.5. Вероятность потерь населения  
в разрушенных зданиях при ураганах**

Вероятность потерь	Степени разрушения зданий			
	слабая	средняя	сильная	полное
Общие	0,05	0,30	0,60	1,00
Безвозвратные	0	0,08	0,15	0,60

**Задания для самостоятельной работы**

Оценить степень разрушения зданий и потери среди населения в результате урагана в городе. Параметры города и урагана приведены в таблице 4.6.

**Таблица 4.6. Варианты исходных данных**

№ вар.	Числ насел тыс. чел.	Жилая застройка	Промышл. застройка	Время наст. урагана ч.	Макс. скорость ветра м/с
1	250	К, мэ	л/к	1	25
2	280	К, мнэ	жб/к	2	27
3	350	к/п	жб/к	3	30
4	400	К, мэ	л/к	4	33
5	450	К, мнэ	л/к	5	36
6	300	к/п	жб/к	6	40
7	350	К, мэ	л/к	7	42
8	250	К, мнэ	жб/к	8	39
9	200	к/п	л/к	9	35
10	400	К, мнэ	жб/к	10	32
11	350	К, мэ	жб/к	11	28
12	300	к/п	л/к	12	25
13	250	к/п	л/к	13	23
14	200	К, мэ	жб/к	14	26
15	300	К, мэ	жб/к	15	28
16	350	К, мнэ	л/к	16	30
17	400	К, мнэ	л/к	17	32
18	450	к/п	жб/к	18	34
19	350	к/п	жб/к	19	36
20	200	К, мнэ	л/к	20	38
21	250	К, мнэ	л/к	21	40
22	300	К, мэ	жб/к	22	42
23	400	К, мэ	л/к	23	35
24	450	к/п	жб/к	24	30
25	350	к/п	л/к	1	25

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ НАВОДНЕНИЯХ

Наводнение – это затопление водой прилегающих к реке, озеру или водохранилищу местности, которое причиняет материальный ущерб, наносит урон здоровью населения или приводит к гибели людей.

Площадь суши, с которой талая и дождевая вода стекает в реку, называется размером водосбора или поймы реки  $F$ , км<sup>2</sup>.

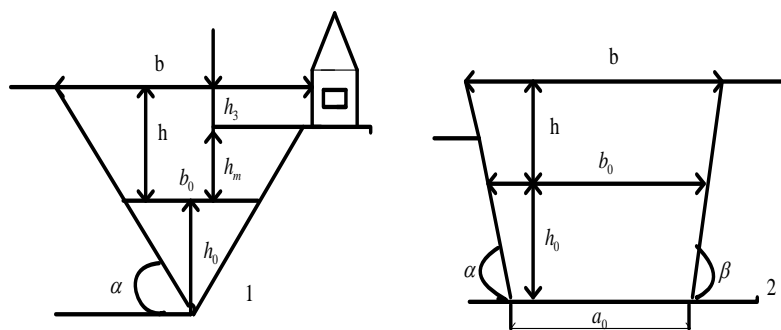
Водностью или стоком реки называется объемный расход воды

$$Q_0 = V_0 \cdot S_0 \quad (5.1)$$

где  $V_0$  – скорость течения, м/с;  $S_0$  – площадь течения русла реки, м<sup>2</sup>:

$S_0 = 0,5 \cdot b_0 \cdot h_0$  – для треугольного сечения русла (рис 5.1,1)

$S_0 = 0,5 \cdot (a_0 + b_0) \cdot h_0$  – для трапецидального сечения (рис. 5.1,2)



*Рис. 5.1 Расчетная схема русла реки ( $a_0$  – ширина дна реки;  $b_0$  – ширина реки до паводка;  $h_0$  – глубина реки до паводка;  $\alpha, \beta$  – углы наклона берегов;  $h$  – высота подъема реки при прохождении паводка;  $h_m$  – высота места, т.е. превышение уровня местности над уровнем воды до паводка;  $h_z$  – глубина затопления;  $b$  – условная ширина реки прохождения паводка).*

В результате выпадения осадков или таяния снега может наступить паводок с возрастания расхода воды до уровня  $Q_{\max}$ , м<sup>3</sup>/с

$$Q_{\max} = Q_0 + JF/3,6, \quad (5.2)$$

где  $J$  – интенсивность осадков (таяния снега), мм/ч;  $F$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>.

Высота подъема воды в реке при прохождении паводка независимо от формы русла определяются по формуле:

$$h = \left( \frac{2Q_{\max} h_0^{5/3}}{b_0 V_0} \right)^{3/8} - h_0. \quad (5.3)$$

Максимальная скорость потока воды при прохождении паводка  $V_{\max}$ , м/с,

$$V_{\max} = \frac{Q_{\max}}{S_{\max}}, \quad (5.4)$$

где  $S_{\max}$  -площадь поперечного сечения потока воды при прохождении паводка, которая независимо от формы русла реки определяется по формуле:

$$S_{\max} = (S_0 + 0,5h(b_0 - a_0)) \left(1 + \frac{h}{h_0}\right). \quad (5.5)$$

При треугольном профиле русла следует положить  $a_0 = 0$ .

Поражающее действие паводка определяется глубиной затопления

$$h_3 = h - h_m \quad (5.6)$$

и максимальной скоростью потока затопления  $V_3$ , м/с:

$$V_3 = V_{\max} f, \quad (5.7)$$

где  $f$  – параметр удаления объекта от русла реки, которой определяется по таблице 5.1

Таблица 5.1. Значение параметра  $f$

$h_3 / h$	Сечение русла		
	Прямоугольное	Трапецидальное	Треугольное
0,1	0,2	0,23	0,3
0,2	0,38	0,43	0,5
0,4	0,60	0,64	0,72
0,6	0,76	0,84	0,96
0,8	0,92	1,05	1,18
1,0	1,12	1,2	1,32

Поражающее действие волны затопления паводка может быть оценено по таблице 5.2.

Таблица 5.2. Значения параметров волны затопления, приводящей к разрушению объектов

Наименование объекта	Степень разрушения					
	Сильная		Средняя		Слабая	
	V, м/с	H, м	V, м/с	H, м	V, м/с	H, м
Сборные деревянные жилые дома	3,0	2,0	2,5	1,5	1,0	1,0
Деревянные дома (1..2 этажа)	3,5	2,0	2,5	1,5	1,0	1,0
Промышленные здания с легким металлическим каркасом и здания бескаркасной постройки	5,0	2,5	3,5	2,0	2,0	1,0
Кирпичные дома средней этажности (4 этажа)	6,0	3,0	4,0	2,5	2,5	1,5
Промышленные здания с тяжелым металлическим или железобетонным каркасом (стены из керамзитовых панелей)	7,5	4,0	6,0	3,0	3,0	1,5
Бетонные и железобетонные здания антисейсмической инструкции	12,0	4,0	9,0	3,0	4,0	1,5
Деревянные мосты (поток выше проезжей части)	1,0	2,0	1,0	1,5	0,0	0,5
Железобетонные мосты	2,0	3,0	1,0	2,0	0,0	0,5
Металлические мосты и путепроводы с пролетом (30...100 м)	2,0	3,0	1,0	2,0	0,0	0,5
То же с пролетом 100	2,0	2,5	1,0	2,0	0,0	0,5
Железнодорожные пути	2,0	2,0	1,0	2,0	0,0	0,5
Дороги с гравийным (щебеночным) покрытием	2,5	2,0	1,0	1,5	0,5	0,5
Шоссейные дороги с асфальтовым и бетонным покрытием	4,0	3,0	2,0	1,5	1,0	1,0

Наводнение и паводок оказывают продолжительное действие, усугубляющее первоначальное разрушающее воздействие волны затопления. Масштабы повреждения объектов на затопленных площадях можно оценить с помощью таблицы 5.3.

Таблица 5.3. Доля поврежденных объектов (%) на затопленных площадях при крупных наводнениях ( $V_3=3-4$  м/с)

Объект	Время затопления, ч					
	1	2	3	4	24	48
Затопление подвалов	10	15	40	60	85	90
Нарушение дорожного движения	15	30	60	75	95	100
Разрушение уличных мостовых	-	-	3	6	30	5
Смыв деревянных домов	-	7	70	90	100	100
Разрешение кирпичных зданий	-	-	10	40	50	60
Прекращение электропитания	75	90	90	100	100	100
Прекращение телефонной связи	75	85	100	100	100	100
Повреждение систем газо- и тепло-снабжения	-	-	7	10	30	70
Гибель урожая	-	-	-	-	3	8

Примечание. При  $V_3=1,5-2,5$  м/с приведенные в таблице значения необходимо умножить на 0.6; при  $V_3=4,5-5,5$ , м/с – умножить на 1.4.

### Задания для самостоятельной работы

По данным, приведенным в таблице 5.4 определить последствия наводнения, вызванного выпадением обильных осадков или таяние снега.

Таблица 5.4. Варианты исходных данных

№ варианта	Интенс. осадков, таяния снега $J$ , мм/ч	Площадь поймы реки $F$ , км <sup>2</sup>	Параметры реки						Характеристика застройки	
			Проф. русла	$a_0$	$b_0$	$h_0$	$V_0$	$h_m$	Жилая	Промышл
1	70	320	Трап.	100	120	3	3	1	К, мэ	Т к
2	65	350	Треуг	120	150	4	2	2	ДД	Т к
3	60	400	Треуг	-	100	5	2,5	3	К, сэ	Л к
4	75	300	Трап.	150	200	4	3	2,5	К, мэ	Л к
5	80	250	Треуг.	-	90	3	4	1,5	ДД	Т к
6	85	200	Трап.	90	120	6	3	1	К, нэ	Л к
7	90	175	Треуг.	-	130	5	2	2	ДД	Т к
8	80	220	Трап.	75	100	3	3,5	3	ДД	Л к
9	75	250	Трап.	100	120	4	2	2,5	К, сэ	Т к

10	70	350	Треуг.	-	110	5	3	1,5	К, мЭ	Л к
11	65	400	Треуг.	-	130	4	1,5	1	ДД	Т к
12	90	270	Трап.	100	150	3	4	3	К, мЭ	Т к
13	85	250	Трап.	110	140	4	3	2,5	К, сЭ	Л к
14	95	200	Трап.	90	120	5	3,5	2	ДД	Л к
15	80	300	Треуг.	-	100	6	2	1,5	К, мЭ	Т к
16	75	400	Треуг.	-	120	5	2,5	1	ДД	Т к
17	70	350	Трап.	95	130	4	4	3	К, нЭ	Л к
18	65	450	Треуг.	-	90	3	3	2	К, сЭ	Т к
19	60	500	Трап.	85	125	4	3,5	1	К, мЭ	Л к
20	75	350	Треуг.	-	115	6	2,5	1,5	К, сЭ	Т к
21	80	280	Трап.	80	130	5	4	2	ДД	Л к
22	85	250	Трап.	90	120	4	2	2,5	К, мЭ	Л к
23	95	300	Треуг.	-	105	3	3,5	3	К, мЭ	Т к
24	90	200	Треуг.	-	90	4	2	1,5	ДД	Т к
25	100	250	Трап.	100	120	6	4	1	К, сЭ	Л к

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРАХ

Лесной пожар – это неуправляемое, стихийное горение, распространяющееся по лесной площади.

Степень пожарной опасности в лесу по условиям погоды определяется по комплексному показателю В. Г. Нестерова  $K$ :

$$K = \sum_{i=1}^n (t_i^{603} - t_i^{росы}) t_i^{603}, \quad (6.1)$$

где  $t_i^{603}$ ,  $t_i^{росы}$  - температура воздуха и температура точки росы,  $^{\circ}\text{C}$  в  $i$ -тый день после последнего дождя,  $n$  – число дней после последнего дождя.

В атмосферном воздухе всегда присутствует некоторое количество водяного пара. Масса водяного пара, фактически содержащегося в  $1 \text{ м}^3$  воздуха, называется абсолютной влажностью  $f$ , ч/г/м<sup>3</sup>.

При данной температуре в  $1 \text{ м}^3$  воздуха может содержаться лишь вполне определенное максимальное количество водяного пара, создающее максимальную влажность (табл. 6.1)

Таблица 6.1. Зависимость максимальной влажности от температуры

$t, ^\circ\text{C}$	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$f, \text{ч/м}^3$	7,3	8,3	9,4	10,7	12,1	13,7	15,4	17,3	19,4	21,8	24,4	27,3

Отношение абсолютной влажности к максимально возможной называется относительной влажностью воздуха  $\varphi$ , %.

Точкой росы называется температура при охлаждении, до которой имеющихся в воздухе пар достигает насыщенного состояния ( $f_{max}$ ) и начинается его конденсация, приводящегося к образованию росы или тумана.

Если на протяжении  $n$  дней условиях погоды не менялись, то значение показателя пожароопасности  $K$  можно найти по формуле:

$$K = n(t_i^{603} - t_i^{росы})t_i^{603}. \quad (6.2)$$

По значению комплексного показателя с помощью таблицы 6.1 можно оценить степень пожарной опасности в лесу.

Таблица 6.2. Шкала пожарной опасности в лесу по условиям погоды

Класс пожарной опасности по условиям погоды	Значение комплексного показателя	Степень пожарной опасности
I	До 300	-
II	От 301 до 1000	Малая
III	От 1001 до 4000	Средняя
IV	От 4001 до 10000	Высокая
V	Более 10000	Чрезвычайная

Обратная задача, т.е. определенное значения показателя,  $K$  при котором возможно возникновение лесного пожара, решается помощью таблицы 6.3:



Таблица 6.3. Значение комплексного показателя пожарной опасности, при котором возможно возгорание леса

Наименование участка леса	К
Сосняки – брусничники	300
Ельники – брусничники	500
Сосняки	550
Смешанные	800
Лиственные	900
Березняки – черничники	900
Травяные насаждения	5000

У распространяющегося лесного низового пожара различают фронт, тыл и фланги, скорости распространения которых в зависимости от скорости ветра и класса пожарной опасности определяются по графикам 6.1 (а,б,в)

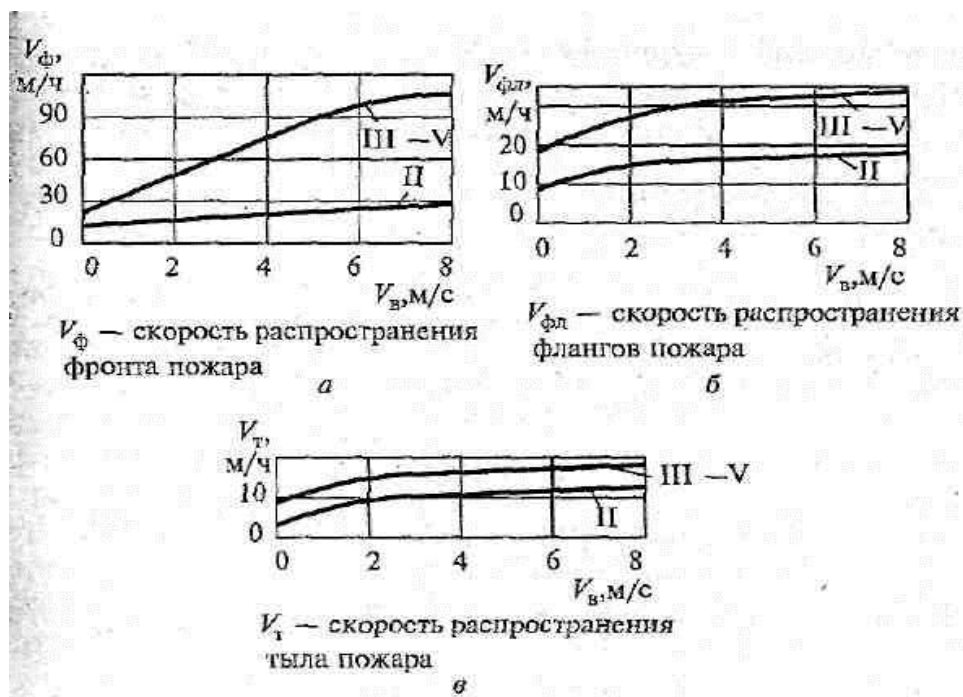


Рис. 6.1 Зависимость линейной скорости распространения низового пожара от скорости ветра ( $V_{в}$ ) для насаждения второй группы по загораемости (римскими цифрами обозначены классы пожарной опасности).

Приращение периметра пожара  $\Delta\Pi$ , м, за время  $\tau$ , ч, можно найти по формуле:

$$\Delta\Pi = 3,3V_{\phi} \tau, \quad (6.3)$$

где  $V_{\phi}$  - скорость распространения фронта пожара, м/с

Если начальный периметр пожара  $\Delta\Pi_0$ , м, известен (задан), то за время  $\tau$ , ч, его величина достигает значения

$$\Pi = \Pi_0 + \Delta\Pi, \quad (6.4)$$

а площадь пожара  $S$ , га, может быть оценка по формуле (рис. 6.2):

$$S = 4 \cdot 10^{-6} \cdot \Pi^2 \quad (6.5)$$

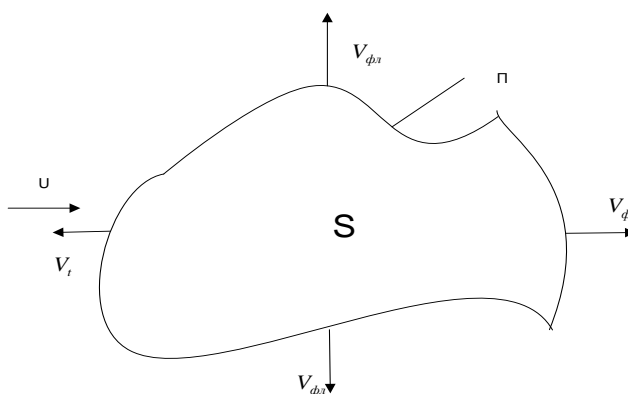


Рис 6.2 Схема распространения лесного пожара

Размер ущерба от лесного пожара, равный доле непригодной к реализации древесины, можно оценить с помощью табл. 6.4

Таблица 6.4. Доля % непригодной к реализации древесины по видам после верхового пожара

Вида пожара	Сосна	Кедр	Ель, пихта	Остальные породы
Верховой устойчивый	50	30	70	25
Верховой беглый	30	20	60	20

### Задания для самостоятельной работы

По данным, приведенным в табл. 6.5, найти, через сколько дней после установления жаркой погоды возникнет пожароопасная обстановка и определить последствие возможного низового пожара, переходящего в устойчивый верховой пожар.

Таблица 6.5. Варианты исходных данных

№ варианта	Тип леса	S, га	$t_{воз}$ °C	$t_{росы}$ °C	$\tau$ , ч	$\Pi_0$ , км	U, м/с
1	Сосн-бр	1000	25	20	24	10	5
2	Сосняки	2000	26	21	36	22	6
3	Ельн-бр	1500	24	20	20	15	4
4	Смешанный	1800	27	22	16	17	3
5	Березняки	1600	30	26	18	14	2
6	Лиственный	2500	22	17	22	25	4
7	Сосн-бр	3000	24	20	24	30	8
8	Ельн-бр	1200	25	21	28	12	6
9	Сосняки	1300	26	22	30	13	8
10	Березняки	1500	30	25	36	16	6
11	Смешанный	1800	29	24	34	20	4
12	Смешанные	1700	26	19	30	20	4
13	Лиственные	2000	28	23	32	21	2
14	Смешанные	2300	27	22	28	22	4
15	Сосняки	2100	26	21	30	20	6
16	Сосн-бр	2400	25	20	25	25	8
17	Ельн-бр	2500	24	19	22	26	6
18	Березняки	2700	22	18	24	28	4
19	Лиственные	3000	20	15	26	32	2
20	Сосняки	2600	25	21	30	27	2
21	Смешанные	2400	26	22	24	25	4
22	Сосн-бр	2100	28	24	32	20	6
23	Ельн-бр	1700	30	26	36	18	8
24	Смешанные	1500	32	27	40	16	6
25	лиственные	1400	28	23	48	15	4

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ ВЗРЫВЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЗРЫВЧАТАХ ВЕЩЕСТВ

Конденсированные (твердые, жидкие, пластические) взрывчатые вещества (ВВ) подразделяются на индивидуальные ВВ и их смеси. Основной характеристикой ВВ является их удельная энергия, кДж, выделяемой при взрыве 1 кг взрывчатого вещества. Стандартным ВВ считается тринитротолуол (тротил, ТНТ).

Тропиловым эквивалентом массы  $m_{вв}$ , кг, данного ВВ называется масса  $G$ , кг, тротила при взрыве которой выделяется такое же количество энергии, как при взрыве рассматриваемого ВВ:

$$G = \alpha \cdot m_{вв}, \quad (7.1)$$

где  $\alpha = Q/Q_{ТНТ}$  – удельный тротиловый эквивалент. Свойства некоторых ВВ приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 - Основные свойства конденсированных взрывчатых веществ

Взрывчатое вещество	Удельная теплота взрыва, $Q$ , кДж/кг	Удельный тротиловый эквивалент, $\alpha$	Плотность кг/м <sup>3</sup>
Индивидуальные			
Тротил	4520	1	1,6
Гексоген	5360	1,185	1,65
Октоген	5860	1,296	1,9
Тетрил	4500	0,995	1,73
Смеси			
Амматол (20% нитрата + 20% ТНТ)	2650	0,586	1,6
Торпекс (42% гексогена + 40% ТНТ + 18 % Al)	7540	1,67	-

Основными поражающими факторами взрыва является воздушная волна и разлет осколков.

Воздушная ударная волна взрыва характеризуется избыточным давлением на её фронте  $\Delta P_\phi$ , кПа и импульсом фазы сжатия  $I_+$ , кПа·с.

Параметры наземных и воздушных взрывов при выполнении условий

$$R > 8H, \sqrt[3]{G} \leq R \leq 100\sqrt[3]{G} \quad (7.2)$$

Вычисляются по формуле М.А. Садовского:

$$\Delta P_\phi = 95 \frac{\sqrt[3]{G}}{R} + 390 \frac{\sqrt[3]{G^2}}{R^2} + 1300 \frac{G}{R^3} \quad (7.3)$$

И с помощью соотношения:

$$I_+ \cong \frac{0,4\sqrt[3]{G^2}}{\sqrt{R}}, \quad (7.4)$$

где  $R$  – расстояние от центра взрыва,  $H$  – высота взрыва,  $G$  – тротильный эквивалент ВВ.

При заданных  $G$  и  $\Delta P_\phi$  уравнения (7.3) может быть решено относительно  $R$  численно и графически.

Прогнозирование остановки при взрывах заключается в определении зон и степеней поражения людей и разрушения объектов (таблица 7.2 и 7.3)

Таблица 7.2. Степени поражения людей

$\Delta P_\phi$ , кПа	<10	10-40	40-60	60-100	>100
Степень пораж. людей	Безопасн. избыт. давление	Легкая степень пор. (ушибы)	Средняя степень поражения (кровотечения, сотрясение мозга)	Тяжелая степень поражения (контузии)	Смерт. поражения

Таблица 7.3. Степени разрушения объектов в зависимости от  $\Delta P_\phi$ , кПа

Объекты	Разрушение			
	Полное	Сильное	Среднее	Слабое
	Обрушение зданий	Обрушение несущих констр., перекрытий	Разрушении перегородок чердачных перекрытий верх. этажей	Повреждение крыш, дверных и оконных проемов
Здания жилые				
Кирпичные многоэтажные	30-40	20-30	10-20	8-10
Кирпичные малоэтажные	35-45	25-35	15-25	8-15
Здания промышленные				
С тяжелым металлическим или ж/б каркасом	60-100	40-60	20-40	10-20
С легким металлическим каркасом или бескаркасным	50-80	30-50	20-30	10-20
Промышленные объекты				
Трубопроводы	130	50	20	-
ЛЭП	120-200	80-120	50-70	20-40
Трансформаторные подстанции	100	40-60	20-40	10-20
Емкости для ГСМ и хим. продуктов				
наземные	40	35	25	20
частично заглубленные	100	75	40	20
подземные	200	150	75	40

Радиусы зон летального поражения людей ( $\Delta P_\phi = 100$  кПа), контузии ( $\Delta P_\phi = 70$  кПа) и безопасной для человека зоны ( $\Delta P_\phi = 10$  кПа) находим графическим путем построив предварительно по формуле (7.3) график зависимости  $\Delta P_\phi = f(R)$  для заданного значения  $G$ . Аналогично можно найти радиусы зон различных степеней разрушения гражданских и промышленных объектов. Анали-

зируя покрытие этими зонами территории объекта экономики (ОЭ), точно оценить степень его разрушения. Считается, что восстановление объекта экономики целесообразно, если слабые и средние разрушения зданий и сооружений не превышают 40 %, а сильные и полные разрушения отсутствуют.

Вероятности разрушения зданий в различных зонах определяется по формуле:

$$P = 0,5 + \varphi(Pr) \quad (7.5)$$

где  $\varphi$  – функция Лапласа, а  $Pr$  – пробит-функция (таблица 4.4)

**Таблица 7.4. Выражения пробит-функции для разных степеней разрушения зданий**

Степень разрушения	Пробит – функция
Слабые разрушения	$Pr = -0,26 \ln((4,6 / \Delta P_{\phi})^{3,9} + (0,11 / I_{+})^5)$
Средние разрушения	$Pr = -0,26 \ln((17,5 / \Delta P_{\phi})^{3,4} + (0,29 / I_{+})^{9,3})$
Сильные разрушения	$Pr = -0,22 \ln((40 / \Delta P_{\phi})^{8,4} + (0,26 / I_{+})^{11,3})$

Для ориентировочного определения безвозвратных потерь  $N_{безв}$  (чел) персонала ОЭ и городского населения находящегося вне зданий используется формула:

$$N_{безв} = P \cdot G^{2/3}, \quad (7.6)$$

где  $P$  – плотность населения, тыс.чел/км<sup>2</sup>,  $G$  – тротиловый эквивалент ВВ, тонн. Санитарные и общие потери людей определяются по формулам:

$$N^{сан} = (3-4) N^{безв}; \quad (7.7)$$

$$N^{общ} = N^{безв} + N^{сан}. \quad (7.8)$$

Более точно потери городского населения, находящегося вне зданий, точно определить вероятностным методом и используя выражения для пробит – функций, приведенные в таблице 7.5

**Таблица 7.5. Выражения для пробит – функций  
для разных степеней поражения людей**

Степень поражения	Пробит - функция
Средняя степень поражения (разрыв барабанных перепонок)	$P_{\phi} = -17,6 + 1,524 \ln \Delta P_{\phi}$
Контузия	$P_{\phi} = -5,74 \ln(4,2 / (1 + \Delta P_{\phi} / P_0) + 1,3 / (I_+ / (P_0^{1/2} m^{1/3})))$ $m$ – масса тела, кг; $P_0$
Летальный исход	$P_{\phi} = -2,44 \ln(7,38 / \Delta P_{\phi} + 1,9 * 10^3 / (\Delta P_{\phi} I_+))$

Для определения возможного количества погибших пострадавших, найденные вероятности следует умножить на число людей, находящихся вне зданий (таблица 3.6)

Потери людей находящихся в промышленных, гражданских и жилых зданиях в зависимости от степени их разрушения можно оценить по формулам:

$$N^{общ} = \sum_{i=1}^n N_i K_{1i} ; \quad (7.9)$$

$$N^{сан} = \sum_{i=1}^n N_i K_{1i} K_{2i} ; \quad (7.10)$$

$$N^{безв} = N^{общ} - N^{сан} . \quad (7.11)$$

где  $N_i$  - количество людей в зданиях, попавших в  $i$ -ую зону разрушения,  $K_{1i}$ ,  $K_{2i}$  - коэффициенты, значения которых приведены в таблице 7.6

**Таблица 7.6. Значения коэффициентов потерь людей,  
находящихся в зданиях**

Степень разрушения зданий	$K_1$	$K_2$
Слабая	0,08	0,03
Средняя	0,12	0,09
Сильная	0,8	0,25
Полная	1	0,3

Количество людей, находящихся в зданиях, определяется по общей численности населения и его среднесуточному распределению по местам пребывания (таблица 3.6)



### Задание для самостоятельной работы

В населенном пункте прямоугольной формы размерами 2x1 км находится объект экономики, занимающий территорию в виде прямоугольника размерами 0,4x0,2 км. В одном из углов ОЭ находится склад взрывчатых веществ. Определить возникшую обстановку на ОЭ и в населенном пункте при взрыве всего запаса ВВ (зоны поражения и разрушения ОЭ и жилой застройки, вероятности поражения людей и разрушения зданий, потери персонала ОЭ и населения)

Таблица 7.8. Варианты исходных данных

№ вар.	Населенный пункт		Объект экономики				Взрывчатое вещество			
	тип дом.	плот. нас. тыс. ч/км <sup>2</sup>	тип зд.	коорд центр (x,y), км	плот. нас. тыс. ч/км <sup>2</sup>	числ персв зд.	вид ВВ	мс т.	коорд. центра взрыва (x,y), км	вр взр
1	К, мнэ	5	ж/б	(0,3;0,6)	1	150	Тротил	70	(0,2;0,6)	6
2	К, млэ	8	лк	(0,8;0,8)	2	200	Гексоген	80	(1;0,7)	8
3	дерев	7	лк	(1,6;0,8)	1,5	100	Октоген	90	(1,4;0,7)	10
4	К, млэ	6	ж/б	(1,8;0,3)	3	150	Тетрил	100	(1,2;0,6)	12
5	К, мнэ	9	ж/б	(1;0,5)	2	250	Амматол	95	(0,8;0,3)	14
6	К, мнэ	10	лк	(1;0,2)	1	200	Торпекс	90	(0,5;0,3)	16
7	К, млэ	8	лк	(0,3;0,2)	1,5	150	Амматол	85	(1,5;0,5)	18
8	дерев	5	ж/б	(1,4;0,3)	2	100	Тетрил	80	(0,6;0,7)	20
9	К, мнэ	7	ж/б	(0,4;0,8)	3	250	Октоген	75	(1,5;0,5)	22
10	К, мнэ	6	лк	(1,2;0,8)	2,5	300	Гексоген	70	(1,4;0,7)	24
11	К, млэ	8	лк	(1,6;0,3)	3	100	Тротил	75	(1,5;0,1)	4
12	К, мнэ	10	ж/б	(1,2;0,3)	1	150	Октоген	80	(1,1;0,1)	6
13	К, мнэ	9	лк	(0,6;0,5)	1,5	200	Гексоген	85	(0,7;0,3)	10
14	дерев	6	ж/б	(0,3;0,2)	2,5	100	Тетрил	90	(0,2;0,4)	8
15	К, мнэ	7	лк	(1,8;0,6)	3	300	Торпекс	95	(1,6;0,5)	12
16	К, млэ	8	ж/б	(1,4;0,5)	1	200	Амматол	100	(1,2;0,4)	14
17	К, мнэ	10	лк	(1,2;0,8)	1,5	150	Тролил	110	(1,3;0,6)	18
18	К, мнэ	9	лк	(1,1;0,3)	2	100	Гексоген	100	(0,9;0,1)	16
19	К, млэ	5	ж/б	(0,3;0,2)	2,5	200	Октоген	90	(0,2;0,4)	20
20	дерев	4	ж/б	(1,6;0,2)	3	250	Тетрил	80	(1,8;0,2)	24
21	дерев	6	лк	(1,2;0,4)	3,5	300	Амматол	70	(1;0,5)	22
22	К, мнэ	8	лк	(1;0,3)	3	350	Торпекс	75	(0,8;0,1)	6
23	К, млэ	7	ж/б	(0,7;0,2)	2	300	Тетрил	80	(0,5;0,1)	8
24	К, мнэ	10	лк	(0,4;0,4)	1	200	Октоген	90	(0,6;0,3)	10
25	К, млэ	8	ж/б	(0,3;0,4)	1,5	150	гексоген	100	(0,2;0,2)	12

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ ПОЖАРАХ

Большинство техногенных чрезвычайных ситуаций связано с пожарами. Пожар – это неконтролируемое горение гражданских или промышленных объектов, приводящее к человеческим потерям и материальным убыткам. Различают пожары разлития, связанные с горением горючих жидкостей ;

горение парогазовоздушных смесей (огненный шар); горение одиночных зданий и промышленных объектов ; пожары в населенных пунктах и на промышленных предприятиях.

Основными характеристиками пожаров являются : вид горючего вещества, а также приведенный размер очага горения  $R^*$ , м, определяющий по формулам:

➤ для горящих зданий:  $R^* = \sqrt{S} = \sqrt{L \cdot h}$ , (8.1)

где  $L$  - длина стены,  $h$  - высота дома, м;

➤ для штабелей пиленого леса:  $R^* = (1,75-2) \sqrt{L \cdot h_m}$ , (8.2)

➤ при горении горючей жидкости (нефть, мазут) в резервуаре:

$$R^* = 0,8 D_{рез}, \quad (8.3)$$

➤ при горении легковоспламеняющейся жидкости ( бензин, ацетон) в резервуаре:  $R^* = D_{рез}$ , (8.4)

где  $D_{рез}$  - диаметр резервуара, м.

➤ при свободном растекании горючей жидкости:  $R^* = d = \sqrt{25,5V}$ , (8.5)

где  $d$  – диаметр разлития, м;  $V$  – объём жидкости, м<sup>3</sup> (толщина слоя разлившейся жидкости 0,05 м.)

➤ при разлитии в поддон:  $R^* = L_{под}$ , (8.6)

где  $L_{под}$  - длина поддона, м.

Теплотехнические характеристики горючих материалов и веществ приведены в табл.8.1

Таблица 8.1. Теплотехнические характеристики веществ и материалов

Вещества, материалы	Скорость выгорания, $V_{выг}$ , кг/м <sup>2</sup> · м	Теплота сгорания $Q_m$ , кДж/кг	Плотность потока пламени пожара $q^{cob}$ , кВт/м <sup>2</sup>
Ацетон	0,047	$18,5 \cdot 10^3$	1200
Бензол	0,08	$30,5 \cdot 10^3$	2500
Бензин	0,05	$44 \cdot 10^3$	1780-2200
Керосин	0,05	$43 \cdot 10^3$	1520
Метиловый спирт	0,4	$20,9 \cdot 10^3$	840
Смесь метана, пропана, бутана	0,65	$(40-50) \cdot 10^3$	2800
Этиловый спирт	0,03	$33,8 \cdot 10^3$	8200-10000
Древесина	0,015	$19 \cdot 10^3$	260
Пиломатериалы	0,017	$14 \cdot 10^3$	150
Мазут	0,013	$40 \cdot 10^3$	1300

Основными поражающим фактором пожаров является термическое воздействие, обусловленное тепловым излучением пламени.

При разрушении резервуаров, содержащих горючие жидкости, происходит их растекание. При отсутствии защитных ограждений площадь разлива  $F_{раз}$ , м<sup>2</sup> определяется

$$F_{раз} = \frac{m_{жс}}{h\rho_{жс}} = \frac{V_{жс}}{h}, \quad (8.7)$$

где толщина разлившегося слоя принимается равной  $h=0,05$  м. Условный радиус зеркала разлива равен :

$$r = \sqrt{F_{раз} / \pi}. \quad (8.8)$$

При возгорании разлившейся горючей жидкости возникает пожар разли-  
тия, пламя которого представляет собой наклонный по направлению ветра ци-  
линдр конечного размера (рис.8.1)

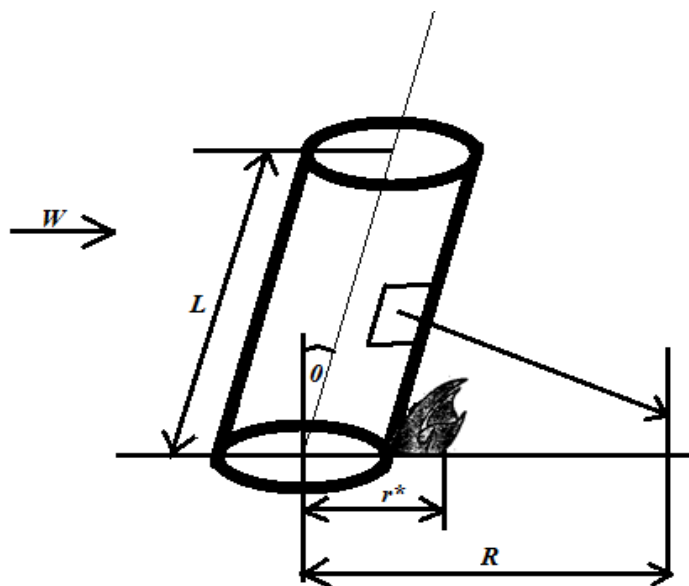


Рис. 8.1 Схема пожара разлития

Плотность теплового потока, падающего на расположенную на уровне  
грунта поверхность вычисляется по формуле :

$$q^{nad} = \bar{q}^{cob} \varphi \exp(-7 \cdot 10^{-4} (R-r)), \quad (8.9)$$

где  $\varphi$  - угловой коэффициент излучения определяемый по графику (рис.8.2),  
 $\bar{q}^{cob}$  - средняя по поверхности пламени плотность потока теплового излучения,  
которая составляет лишь незначительную часть максимального значения  $q^{cob}$   
(табл.8.2)

Таблица 8.2. Ориентированные значения средней плотности потока  
теплового излучения пламени в пожарах разлития

Горючая жидкость	Средняя по поверхности пламени плотность теплового излучения, кВт/м <sup>2</sup>
Сжиженный природный (газ метан)	150-170
Бензин	120-140
Нефть	60-80
Мазут	50-70
Керосин	80-100

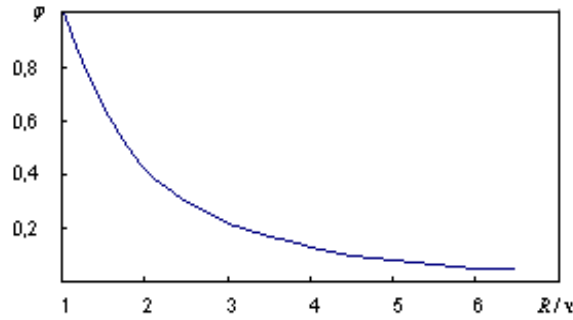


Рис. 8.2. График зависимости углового коэффициента излучения  $\varphi$  пламени пожара разлития от расстояния.

Зависимость углового коэффициента излучения от расстояния приблизительно выражается следующей функцией:

$$\varphi = \exp(-0,54(R/r - 1)) \quad (8.10)$$

С учетом формулы (8.10), зависимость (8.9) принимает вид:

$$q^{nad} = \bar{q}^{cob} \exp(-0,54 \frac{R}{r} - 7 \cdot 10^{-4} (R - r) + 0,54). \quad (8.11)$$

Горение парогазовоздушного облака, образующегося при разрушении резервуара с горючей жидкостью под давлением, носит название “огненный шар”. Плотность теплового потока с поверхности “огненного шара” определяется соотношением:

$$q^{nad} = \bar{q}^{cob} \exp(-7 \cdot 10^{-4} \sqrt{x^2 + H^2} - D_{эфф} \cdot 2), \quad (8.12)$$

где  $\bar{q}^{cob} \approx 450 \text{ кВт/м}^2$ ,  $H = D_{эфф}/2$  высота центра “огненного шара”,  $D_{эфф}$  - эффективный диаметр “огненного шара”, м:

$$D_{эфф} = 5,33 m^{0,327}, \quad (8.13)$$

где  $m$  - масса горючего вещества, находящегося в паро- или газообразном состоянии, кг.

Угловой коэффициент излучения огненного шара равен:

$$\varphi = \frac{1}{4(1 + (\frac{x}{D_{эфф}})^2)^{1,5}}. \quad (8.14)$$

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

$$\tau = 0,92m^{0,303}. \quad (8.15)$$

Поражающее воздействие пожара определяется спецификой очага горения и объекта воздействия, плотностью падающего теплового потока  $q^{nad}$ , и временем его воздействия  $\tau$ .

Время воспламенения горючих материалов  $\tau$ , с определяется по формуле :

$$\tau = \frac{A}{(q - q_{кр})^n}, \quad (8.16)$$

где  $q_{кр}$  - критическая плотность теплового потока кВт/м<sup>2</sup> (табл.8.5),  $A, n$  – эмпирические константы. Для древесины  $A = 4300$ ,  $n = 1,61$ .

Время воспламенения различных материалов приведено в табл.8.3 и 8.4 .

**Таблица 8.3. Время воспламенения в зависимости от плотности теплового потока**

Вещество Материал	Плотность теплового потока, кВт/м <sup>2</sup>				
	20	50	100	150	200
Солома	70	10	3	1,4	0,9
Х/б ткань	84	11	3	1,5	0,92
Резина	70	10	3,4	1,6	1
Бензин	70	10	3,4	1,7	1

**Таблица 8.4. Время воспламенения резервуаров с нефтепродуктами**

$q$ , кВт/м <sup>2</sup>	34,9	27,6	24,8	21,4	19,9	19,5
$\tau$ , с	5	10	15	20	29	>30

Протяженность зон теплового воздействия горящих зданий и промышленных объектов рассчитывается по формуле:

$$R = 0,282R \cdot \sqrt{\frac{q^{cob}}{q_{кр}}} \quad (8.17)$$

Значения  $q_{кр}$ , приводящие к тем или иным последствиям, приведены в табл.8.5

Таблица 8.5. **Критические значения теплового излучения для человека и материалов**

Предельное значение $q_{кр}$ , кВт/м <sup>2</sup>	Время в секундах до того как	
	Начинаются болевые ощущения	Проявляются ожоги (покраснения, пузыри)
30	1	2
22	2	3
18	2,5	4,3
11	5	8,5
10,5	6	10
8	8	13,5
5	16	25
4,2	15-20	40
2,5	40	65
1,5	Длительный период (1-2 часа)	
1,25	Безопасный тепловой поток	
17,5	Возгорание древесины ( $\varphi=15\%$ ) через $t=5$ мин.	
14	Возгорание древесины через $t=10$ мин.	
35	Возгорание горючих жидкостей веществ с $T_c = 300^\circ\text{C}$ (мазут, торф, масло) через $t=3$ мин.	
41	Возгорание ЛВЖ с $T_c > 400^\circ\text{C}$ (ацетон, бензол, спирт) через $t=3$ мин.	

Безопасные расстояния для человека, объекта, материала при заданной плотности теплового потока определяются по формулам:

- пожар разлития, горение зданий

$$R_{без} = R \cdot \sqrt{\frac{\alpha q^{cob}}{q^{без}}}, \quad (8.18)$$

- огненный шар

$$R_{без} = \sqrt{\frac{0,6mQ_m}{2\pi\tau q^{без}}}, \quad (8.19)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, характеризующий геометрию очага горения:  $\alpha = 0,02$  - для плоского источника излучения (разлив горючей жидкости)  $\alpha = 0,08$  – для объемного источника излучения (горящее здание, резервуар),  $q^{бес} = 4 \text{ кВт/м}^2$ .

Вероятность летального исхода при тепловом воздействии пожара на человека вычисляется по формуле :

$$P_{nop} = 0,5\Phi(Pr), \quad (8.20)$$

где  $\Phi$  – функция Лапласа, а значения пробит-функции  $Pr$  на человека вычисляется по формуле:

$$Pr = -14,5 + 2,56 \ln(q^{1,33} \tau). \quad (8.21)$$

Здесь время термического воздействия  $\tau$ , с равно

$$\tau = \tau_0 + \frac{x}{u}, \quad (8.22)$$

где  $\tau_0$  – время обнаружения пожара ( $\tau_0 \sim 5 \text{ с.}$ ),  $x$  – расстояние на котором плотность теплового потока снижается до безопасного значения  $q^{бес} = 4 \text{ кВт/м}^2$  ( $u \approx 5 \text{ м/с}$ ).

Пожарная обстановка в населенных пунктах определяется характеристиками застройки и огнестойкостью зданий.

Плотность застройки населенного пункта (объекта) определяется по формуле :

$$П = 100 S_{зд} / S_{н.п.}, \% \quad (8.23)$$

где  $S_{зд}$  - площадь, занимаемая зданиями,  $S_{н.п.}$  - площадь, занимаемая населенным пунктом (объектом).

График, связывающий вероятность распространения пожара  $P, \%$  и плотность застройки  $П, \%$  представлен на рис.8.4



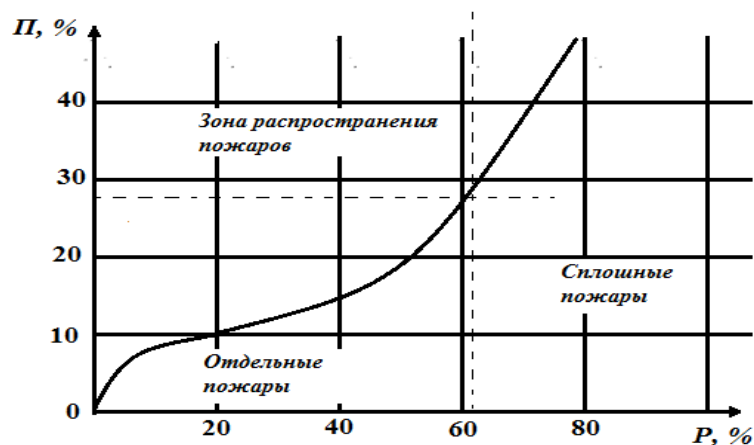


Рис. 8.4. График для определения вероятности распространения пожара по плотности застройки  $P$ .

Продолжительность пожара  $\tau_{\text{пож}}$  определяется по формуле:

$$\tau_{\text{пож}} = \frac{m}{S_{\text{об}} V_{\text{выг}}}, \quad (8.24)$$

где  $m$  – масса горючего вещества.

В населенном пункте с каменными зданиями при скорости ветра  $w_6=(3...4)$  м/с скорость распространения пожара  $V_{\text{пож}}=60-120$  м/ч.

Зона задымления является опасной для человека при содержании оксида углерода свыше 0,2 %, углекислого газа свыше 6 %, кислорода менее 17 %. При наличии в зоне горения аварийных химически опасных веществ (АХОВ), пластмасс, фанеры могут выделяться токсичные продукты: фенол, формальдегид, хлористый водород, цианистый водород, оксиды азота и другие вещества

Скорость дымообразования  $V_d$ , кг/м<sup>2</sup>×с, равна скорости выгорания  $V_{\text{выг}}$  (табл. 8.1) с учетом коэффициента дымообразования  $D_m$  и показателя токсичности дыма  $LC$  и определяется по формуле

$$V_d = V_{\text{выг}} \times D_m \times LC;$$

$$D_m = \frac{V}{l \cdot m} \cdot \ln \frac{E_0}{E_{\text{min}}},$$

где  $V$  – объем пространства горения, м<sup>2</sup>;  $l$  – длина светового луча в дыму,  $m$  – масса сгоревшего материала, кг;  $E_0$ ,  $E_{\text{min}}$  – освещенность участка горения без задымления и в дыму, лк.

Зона задымления при пожаре имеет форму трапеции (рис. 8.5).

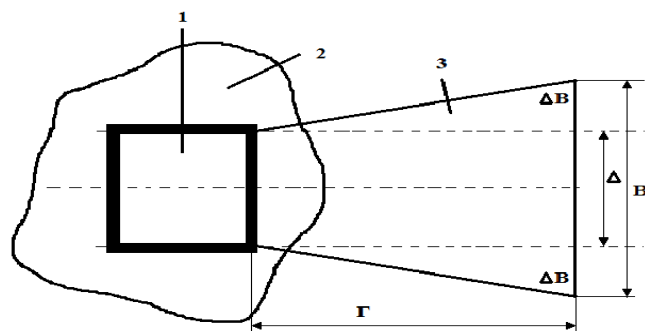


Рис. 8.4. Зоны поражающего воздействия на человека при пожаре:

1 – горящее сооружение; 2 – зона теплового воздействия;

3 – зона задымления;  $\Delta$  – ширина зоны горения, м

Глубину опасной по токсическому действию части зоны задымления  $\Gamma$ , м, определяют по соотношению:

$$\Gamma = \frac{34,2}{K_1} \cdot \left[ \frac{m}{K_2 \cdot V_{\Pi} \cdot D} \right]^{\frac{2}{3}},$$

где  $m$  – масса токсичных продуктов горения, кг,  $D$  – токсичная доза, мг·мин/л,  $V_{\Pi}$  – скорость переноса дыма, равная (1,5–2)  $V_{\text{в}}$ , м/с,  $K_1$  – коэффициент шероховатости поверхности: открытая поверхность – 1; степная растительность, сельхозугодия – 2; кустарник, отдельные деревья – 2,5; городская застройка, лес – 3,3;  $K_2$  – коэффициент степени вертикальной устойчивости атмосферы (инверсия – 1; изотермия – 1,5; конвекция – 2).

Ширину зоны задымления определяют по формуле

$$B = \Delta + 2\Delta B,$$

где  $\Delta$  – ширина зоны горения, м;  $\Delta B = 0,1 \cdot \Gamma$  – при устойчивом ветре (отклонения менее  $\pm 6^\circ$ );  $\Delta B = 0,4 \cdot \Gamma$  – при неустойчивом ветре (отклонение более  $6^\circ$ )

### Задание для самостоятельной работы

В противоположных углах населенного пункта с плотностью застройки  $\Pi$ , занимающего прямоугольную территорию размерами 5х3 км., находятся ре-

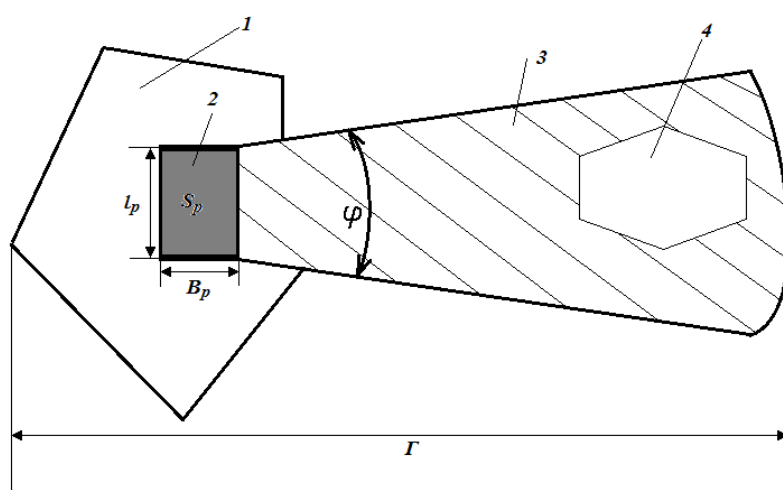
резервуар горючей жидкости объёмом  $V_{гж}$  и резервуар легко воспламеняющейся жидкости. В результате разрушения резервуаров возник пожар разлития и горение паровоздушного облака (огненный шар). Масса испарившейся ЛВЖ равна  $m_n$ . В центре населенного пункта загорелся склад заданных размеров, содержащий  $m_{зм}$  т. горючего материала. Для всех 3 видов пожара найти границы безопасных зон; определить вероятности смертельных поражений людей, находящихся на различных расстояниях от центра пожаров; оценить продолжительность и вероятность распространения пожара в населенном пункте. Исходные данные приведены в табл. 8.10.

Таблица 8.10. **Варианты исходных данных**

№ вар	Пл. зас П, %	Вид гор. жидк.	Объем рез. $V_{гж}$ тыс. м <sup>3</sup>	Вид ЛВЖ	Масса исп. ЛВЖ $m_n$ , т	Размеры склада, м	Вид гор. мат.	Мас. гор. мат. $m_{зм}$ , т.
1	40	нефть	1	бензин	3	20x10x5	древ.	1
2	50	мазут	1,5	керосин	3,5	25x12x6	п/м	0,8
3	60	нефть	2	бензин	2	30x10x8	п/м	1,2
4	30	мазут	2	керосин	2,5	25x15x6	древ.	0,5
5	30	мазут	1,5	бензин	3	20x15x5	п/м	0,6
6	40	нефть	1	керосин	3,5	30x10x8	древ.	0,7
7	50	нефть	2,5	керосин	2,5	35x15x10	древ.	0,8
8	60	мазут	2	бензин	4	30x12x6	п/м	1
9	60	нефть	1,5	бензин	3,5	25x10x8	п/м	1,2
10	50	мазут	1	керосин	3	20x15x6	древ.	1,3
11	40	нефть	2,5	керосин	2,5	25x10x8	древ.	1,4
12	30	мазут	2	бензин	2	30x12x10	п/м	1,5
13	40	мазут	1	керосин	3	35x10x6	п/м	2
14	50	нефть	1,5	бензин	3,5	30x12x5	древ.	1,8
15	60	мазут	2	керосин	4	35x20x10	п/м	1,6
16	55	нефть	2,5	керосин	3	25x15x8	древ.	1,4
17	50	нефть	1	бензин	2,5	20x10x8	п/м	1,2
18	45	мазут	1,5	керосин	3,5	30x15x8	п/м	1
19	40	мазут	2	бензин	2	35x20x10	древ.	1,5
20	35	нефть	2,5	бензин	3	30x10x6	древ.	2
21	40	нефть	1,5	керосин	3,5	25x15x8	п/м	2,5
22	45	мазут	2	бензин	4	20x12x6	п/м	1,6
23	50	нефть	1	керосин	3	25x15x10	древ.	1,8
24	55	мазут	2,5	керосин	2	30x10x10	древ.	2,2
25	60	нефть	1,5	бензин	2,5	20x15x8	п/м	2,5

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ ХИМИЧЕСКИХ АВАРИЯХ

В результате аварий на химически опасных объектах с выбросом и/или разливом аварийно химически опасных веществ (АХОВ) может возникнуть зона химического заражения с концентрациями, представляющими опасность для жизни и здоровья людей, сельскохозяйственных животных и растений в течение определённого времени (рис.9.1)



*Рис.9.1. Схема зоны химического заражения*

*(1 – производственная территория; 2 – зона разлива АХОВ;  
3 – зона химического заражения; 4 – населенный пункт).*

В зависимости от скорости приземного ветра зона химического заражения имеет форму круга или кругового сектора с центральным углом  $\varphi$  (табл. 9.1)

**Таблица 9.1. Угловые размеры зоны химического заражения**

Скорость ветра м/с	$\leq 0,5$	0,5 - 1	1 - 2	$>2$
Центральный угол, град	360	180	90	45

Глубина зоны заражения (рис. 9.1) определяется по формулам:

$$G_{зар} = \begin{cases} G_1 + 0,5G_2, G_1 > G_2 \\ G_2 + 0,5G_1, G_1 < G_2 \end{cases} \quad (9.1)$$

где  $G_1, G_2$  – глубины зон заражения первичным и вторичным облаками АХОВ, которые определяются в зависимости от скорости ветра  $w_6$ , м/с, и эквивалентного количества опасного химического вещества  $Q_9$ , т. по табл.9.2.

Таблица 9.2. Глубины зон возможного химического заражения, км

Ск. Вет. м/с	Эквивалентное количество ОХВ, т													
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	3	5	10	20	30	50	70	100	300
1	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56	38,13	52,67	65,23	89,91	165
2	0,25	0,59	0,84	1,92	2,86	5,35	7,20	10,83	16,44	21,02	28,73	35,35	44,09	87,79
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94	15,18	20,59	25,21	31,30	61,47
4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,29	4,36	6,46	9,62	12,18	16,43	20,05	24,80	48,18
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19	10,33	13,88	16,89	20,82	40,11
6	0,15	0,34	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20	9,06	12,1	14,79	18,13	34,67
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48	8,14	10,87	13,17	16,17	30,73
8	0,13	0,30	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92	7,42	9,90	11,98	14,68	27,75
9	0,12	0,28	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60	6,86	9,12	11,03	13,50	25,39
10	0,12	0,26	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76	5,31	6,50	8,50	10,23	12,54	23,49
11	0,11	0,25	0,36	0,80	1,13	1,96	2,53	3,58	5,06	6,20	8,01	9,61	11,74	21,91
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	11,05	20,58
13	0,10	0,23	0,33	0,74	1,04	1,80	2,37	3,29	4,66	5,70	7,37	8,72	10,48	19,45
14	0,10	0,22	0,32	0,71	1,00	1,74	2,24	3,17	4,49	5,50	7,10	8,40	10,04	18,46
15	0,10	0,22	0,31	0,69	0,97	1,68	2,17	3,07	4,34	5,31	6,86	8,11	9,7	17,60

*Примечание:* При скорости ветра больше 15 м/с размеры зон заражения принимать как при скорости ветра 15 м/с. При скорости ветра меньше 1м/с размеры зон заражения принимать как при скорости ветра 1м/с..

Предельно возможное значение глубины заражения определяется по формуле:

$$\Gamma_{пред} = U \cdot \tau \quad (9.2)$$

где  $U$  – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха, которая определяется по заданной скорости ветра и степени вертикальной устойчивости атмосферы с помощью таблиц 9.3 и 9.4;  $\tau$  – время полного испарения или ликвидации источника АХОВ.

Глубина зоны фактического заражения определяется по формуле :

$$\Gamma = \min (\Gamma_{зар} \Gamma_{пред} ) \quad (9.3)$$

Площадь зоны фактического заражения определяется по формуле:

$$S_{\phi} = \kappa_8 \cdot \Gamma^2 \cdot \tau^{0,2}, \quad (9.4)$$

где  $\tau$  – время с момента аварии, ч;  $\kappa_8$  – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости атмосферы:

$$\kappa_8 = \begin{cases} 0,081 - \text{инверсия} \\ 0,133 - \text{изотермия} \\ 0,235 - \text{конвекция} \end{cases}$$

**Таблица 9.3. Скорость переноса км/ч переднего фронта зараженного воздуха**

Скорость ветра, м/с	Состояние атмосферы		
	инверсия	изотермия	конвекция
1	5	6	7
2	10	12	14
3	15	18	21
4	21	24	28
5	-	29	-
6	-	35	-
7	-	41	-
8	-	47	-
9	-	53	-
10	-	59	-
11	-	65	-
12	-	71	-
13	-	76	-
14	-	82	-
15	-	88	-

Таблица 9.4. Степень вертикальной устойчивости атмосферы

Скорость ветра, м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	Ясно, перемен. облачность	Сплошн. облачность	Ясно, перемен. облачность	Сплош. облачность	Ясно, перемен. облачность	Сплош. облачность	Ясно, пер. облачность	Сплош. облачность
<2	ин	из	из(ин)	из	кон(из)	из	из	из
2-3,9	ин	из	из(ин)	из	из	из	из(ин)	из
>4	ин	из	из	из	из	из	из	из

Примечания: Обозначения: ин – инверсия, из – изотермия, кон – конвекция.

Эквивалентным количеством АХОВ называется масса хлора, которая при инверсии вызывает такое же заражение территории, что и данное вещество.

Эквивалентное количество АХОВ в первичном облаке, определяется по формуле:

$$Q_{э1} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0 \quad (9.5)$$

где  $Q_0$  – масса выброшенного или разлившегося химического вещества (ОХВ), т; коэффициенты  $K_1 \cdot K_3 \cdot K_7$  определяются по таблице 9.5

$$K_5 = \begin{cases} 1 & \text{– инверсия} \\ 0,23 & \text{– изотермия} \\ 0,8 & \text{– конвекция} \end{cases}$$

Эквивалентное количество ОХВ во вторичном облаке, т определяется по формуле:

$$Q_{э2} = (1 - K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot Q_0 / \rho_{ж} \cdot h, \quad (9.6)$$

где  $\rho_{ж}$  – плотность жидкой фазы ОХВ, т/м<sup>3</sup> (табл.9.5);  $h$  – толщина слоя разлившегося ОХВ, м;  $K_2$  – коэффициент, зависящий от свойств ОХВ (табл.9.5);  $K_4$  – учитывающий скорость ветра (табл.9.6);  $K_6$  – коэффициент, учитывающий время прошедшее с начала аварии  $\tau$ , ч:

$$K_6 = \begin{cases} \tau^{0,8} & \text{при } \tau < \tau_{исп} \\ \tau_{исп}^{0,8} & \text{при } \tau > \tau_{исп} \\ 1 & \text{при } \tau_{исп} < 1 \end{cases}$$

Здесь  $\tau$  – время, прошедшее после аварии, ч;  $\tau_{исп}$  – время испарения ОХВ, ч, определяемое по формуле:

$$\tau_{исп} = \frac{h \cdot \rho_{ж}}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7} \quad (9.7)$$

Таблица 9.5.

№, п/п	Наименование ОХВ	Плотность ОХВ $\rho$ , т/м <sup>3</sup>		$T_{кип}$ , °C	$D_{пор}$ , мг/л	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_1$ , при различных температурах воздуха, °C			
		газ	жидк.						-40	-20	0	+20
1	Аммиак											
	хранение под давлением	0,0008	0,681	-33,42	15,0	0,18	0,025	0,04	0/0,9	0,3/0,9	0,6/0,1	1,0/1,0
	изотерм. хранение	-	0,681	-33,42	15,0	0,01	0,025	0,04	0/0,9	1,0/1,0	1,0/1,0	1,0/1,0
2	Водород											
	мышьяковый	0,0035	1,64	-62,47	0,2**	0,17	0,054	0,857	0,3/1,0	0,5/1,0	0,8/1,0	1,0/1,0
	фтористый	-	0,989	12,52	4,0	0	0,028	0,15	0,1	0,2	0,5	1,0
	хлористый	0,0016	1,191	-85,1	2,0	0,28	0,037	0,30	0,64/1	0,6/1,0	0,8/1,0	1,0/1,0
	бромистый	0,0036	1,490	-66,77	2,4*	0,13	0,055	6,0	0,2/1,0	0,5/1,0	0,8/1,0	1,0/1,0
	цианистый	-	0,687	25,7	0,2	0	0,026	3,0	0	0	0,4	1,0
3	Диметиламин	0,002	0,680	6,9	1,2*	0,06	0,041	0,5	0/0,1	0/0,3	0/0,8	1,0/1,0
4	Метиламин	0,0014	0,699	-6,5	1,2*	0,13	0,034	0,5	0/0,3	0/0,7	0,5/1,0	1,0/1,0
5	Метил:											
	бромистый	-	1,732	3,6	1,2*	0,04	0,039	0,5	0/0,2	0/0,4	0/0,9	1,0/1,0
	хлористый	0,0023	0,983	-23,76	10,8***	0,125	0,044	0,056	0/0,5	0,1/1,0	0,6/1,0	1,0/1,0
6	Метилмаркаптан	-	0,857	5,95	1,7*	0,06	0,043	0,353	0/0,1	0/0,3	0/0,8	1,0/1,0
7	Оксид азота	-	1,491	21,0	1,5	0	0,040	0,4	0	0/0,5	0,4	1,0
8	Оксид этилена	-	0,862	10,7	22**	0,05	0,041	0,27	0/0,1	0,5/1,0	0/0,7	1,0/1,0
9	Серистый ангидрид	0,0029	1,462	-10,1	1,8	0,11	0,049	0,333	0/0,2	0,2	0,3/1,0	1,0/1,0
10	Сероводород	0,0015	0,964	-60,35	16,1	0,27	0,042	0,036	0,3/1,0	0,1	0,8/1,0	1,0/1,0
11	Сероуглерод	-	1,263	46,2	45	45	0,021	0,021	0,013	0/1,0	0,4	0,1
12	Соляная кислота	-	1,298	-	2	2	0,021	0,021	0,3	0/0,3	0,3	1,0
13	Формальд.	-	0,815	-19,0	0,6*	0,19	0,034	1,0	0/0,4	0,2	0,5/1,0	1,0/1,0
14	Фосген	0,0035	1,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	0/0,1	0,1	0/0,7	1,0/1,0
15	Фосфор треххлористый	-	1,57	75,3	3,0	0	0,010	0,2	0,1	0,8/1,0	0,4	1,0
16	Фосфора хлорокись	-	1,675	107,2	0,06*	0	0,003	10,0	0,05	0,3/1,0	0,3	1,0
17	Фтор	0,0017	1,512	-188,2	0,95	0,95	0,038	3,0	0,7/1,0	0,8/1,0	0,9/1,0	1,0/1,0
18	Хлор	0,0032	1,558	34,1	0,6	0,18	0,052	1,0	0/0,9	0,3/1,0	0,6/1,0	1,0/1,0
19	Хлорпикрин	-	1,658	112,3	0,2	0	0,002	3,0	0,03	0,1	0,3	1,0
20	Хлорциан	0,0021	1,220	12,6	0,75	0,75	0,046	0,80	0/0	0/0	0/0,6	1,0/1,0

*Примечания:* В столбцах 8 – 12 в числителе  $k$ , для первичного облака, в знаменателе – для вторичного. В столбце 5 численные значения токсидоз, помеченных звездочками, определены по соотношению  $D_{пор} = 240k ПДК_{pz}$ , где  $ПДК_{pz}$  - предельно допустимая концентрация рабочей зоны, мг/л;  $k = 5$  для раздражающих ОХВ (помечены одной звездочкой) и  $k=9$  для прочих ОХВ (помечены двумя звездочками). Значения  $k_1$  для изотермического хранения аммиака приведено для случая разлива в поддон.



Таблица 9.6. Значения коэффициентов  $K_4$  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

Количество людей, попавших в зону заражения, определяется по формуле:

$$N = \sum_{j=1}^k P_j S_j, \quad (9.8)$$

где  $S_j$  – площадь  $j$  – площадь участка зоны заражения,  $P_j$  – плотность населения на нём.

Численность поражённого населения определяется степенью его защищенности:

$$N_{пор} = N \sum_{i=1}^n P_i (1 - K_{защ,i}) \quad (9.9)$$

где  $P_j$  – доза защищенного населения,  $K_{защ,i}$  – коэффициент защиты  $i$  – го способа (табл.9.7)

Таблица 9.7. Коэффициент защищенности населения по месту его требования

№ п/п	Место пребывания или применяемые средства защиты	Время пребывания				
		15 мин	30 мин	1 ч	2 ч	3-4 ч
1.	Открыто на местности	0	0	0	0	0
2.	В транспорте	0,95	0,75	0,41	-	-
3.	В производственных помещениях	0,67	0,5	0,25	0,09	0
4.	В жилых общественных помещениях	0,97	0,92	0,80	0,38	0,09
5.	В убежищах:					
	с режимом регенерации воздуха	1	1	1	1	1
	без режима регенерации воздуха	1	1	1	1	1
6.	В средствах индивидуальной защиты органов дыхания	0,7	0,7	0,7	0,7	0

Структуру поражённого населения можно оценить по таблице 9.8.

Таблица 9.8. Структура населения, поражённого ОХВ

Характер поражения	Смертельный исход	Тяжелой и средней степени	Лёгкой степени	Пороговый
Доля поражённого населения, %	19	15	20	55

Глубина зоны, где могут наблюдаться смертельные поражения, составляет 0,3Г, не ниже средней степени тяжести – 0,5Г, не ниже лёгкой степени тяжести – 0,7Г.

Время подхода облака ОХВ к заданному объекту:

$$\tau_{\text{подх}} = \frac{x}{u}, \quad (9.10)$$

где  $x$  - расстояние, км;  $u$  – скорость переноса переднего облака заражённого воздуха (табл.9.3)

Более точно пространственные распределения и вероятность смертельного поражения людей можно оценить по формуле:

$$P_{\text{пор}} = 0,5 + \Phi(P_r); \quad (9.11)$$

$$\text{где } P_r = -5 + a + b \ln(c^n \tau), \quad (9.12)$$

$a, b, n$  – константы для каждого конкретного ОХВ (табл.9.9);  $\tau$  – время воздействия ОХВ, мин;  $C$  – концентрация ОХВ,  $ppm$ , связанная с концентрацией вещества в мг/л соотношением:

$$C_{ppm} = 62360 C_{\text{мг/л}} \frac{273,15 + t}{M \cdot P}, \quad (9.13)$$

где  $t$  – температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $M$  – молекулярная масса ОХВ, кг/моль,  $P$  – давление воздуха, мм.рт.ст.

Таблица 9.9. Значение коэффициентов для расчёта вероятности смертельного поражения

Вещество	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>n</i>
Акролеин	-4,931	2,049	1
Акролонитрит	-23,42	3,008	1,43
Аммиак	-30,90	1,85	2
Бензол	-104,78	5,3	2
Бром	-4,04	0,92	2
Угарный газ	-32,98	3,7	1
Четыреххлористый углерод	-1,29	0,408	2,5
Хлор	-3,29	0,92	2
Формальдегид	-7,24	1,3	2
Соляная кислота	-16,85	2,0	1
Цианистоводородная кислота	-24,42	3,008	1,43
Фтористоводородная кислота	-30,87	3,354	1
Сероводород	-26,42	3,008	1,43
Бромистый метил	-50,82	5,27	1
Метилизоцианат	-0,642	1,637	0,653
Оксид азота	-8,79	1,4	2
Фосген	-14,27	3,686	1
Оксид пропилена	-2,415	0,509	2
Диоксид серы	-10,67	2,1	1
Толуол	-1,794	0,408	2,5

В случае точечного источника, расположенного на уровне земли, приблизительно направлению ветра можно найти по формуле:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right), \quad (9.14)$$

где –  $C(x, y, z)$  – концентрация в точке  $M(x, y, z)$ , мг/л;  $Q$  – интенсивность источника выброса, г/с;  $u$  – скорость ветра, м/с;  $\sigma_y^2$ ,  $\sigma_z^2$  – средние квадратические отклонения составляющих скорости ветра на расстояниях  $x$ .

$$r_y = \begin{cases} \frac{C_3 x(13212 + x/u),}{13812\sqrt{1+10^{-3}x}} & x/u \geq 600 \\ \frac{C_3 x}{\sqrt{1+10^{-3}x}}, & x/u < 600 \end{cases} \quad (9.15)$$

$$r_z = g(x)f(z_0, x)$$

$$g(x) = \frac{A_1 x^{B_1}}{1 + A_2 x^{B_2}} \quad (9.16)$$

$$f(z_0, x) = \begin{cases} \ln(C_1 x^{D_1} (1 + C_2 x^{D_2})) & , z_0 < 0,1м \\ \ln\left(\frac{C_1 x^{D_1}}{1 + C_2 x^{D_2}}\right), & z_0 \geq 0,1м \end{cases} \quad (9.17)$$

где  $z_0$  – шероховатость местности, см.

Коэффициенты, входящие в формулы (9.16), определяются по таблицам 9.10, 9.11 и 9.12.

Таблица 9.10. Величины коэффициентов  $A_1, A_2, B_1, B_2, C_3$

Класс стабильности	$A_1$	$A_2$	$B_1$	$B_2$	$C_3$
Конвекция	0,112	0,000920	0,920	0,718	0,11
Изотермия	0,098	0,00135	0,889	0,688	0,08
Инверсия	0,0609	0,00196	0,895	0,684	0,06

Таблица 9.11. Величины коэффициентов  $C_1, C_2, D_1, D_2$

$z_0$ , см	$C_1$	$C_2$	$D_1$	$D_2$
1	1,56	0,000625	0,048	0,45
4	2,02	0,000776	0,027	0,37
10	2,73	0	0	0
40	5,16	0,0538	-0,098	0,225
100	7,37	0,000233	-0,0096	0,6

Таблица 9.12. Значения шероховатости местности

Тип местности	$z_0$ , см
Ровная местность, покрытая снегом	0,1
Ровная местность с высотой травы до 1 м	0,1
Ровная местность с высотой травы до 15 см	1
Ровная местность с высотой травы до 60 см	5
Местность, покрытая кустарником	12
Лес высотой до 10 м	40
Городская застройка	100

Величина  $\sigma_z$ , рассчитанная по формуле (6.16) не должна превышать величины  $\sigma_z$ , указанной в табл.9.13. В противном случае для  $\sigma_z$  следует брать табличное значение(табл.9.13)

Таблица 9.13. Максимальное значение  $\sigma_z$

Класс стабильности атмосферы	$\sigma_z$
Конвекция	640
Изотермия	400
Инверсия	220

### Задание для самостоятельной работы

В центре города с плотностью населения  $P$ , занимающего прямоугольную территорию размера 15x8 км. произошла авария с разрушением ёмкости, содержащей  $Q_0$  т. сжиженного хлора. Ёмкость находилась в поддоне с высотой стенок  $H$ . Для заданного времени после аварии  $\tau$  и заданных метеоусловий (табл.9.17) определить зону химического заражения, оценить численность и структуру людских потерь, уточнить возможное число погибших людей вероятностным методом.

Таблица 9.17. **Варианты исходных данных**

№ вар.	Плотн. насел. $P$ , тыс. чел/	Масса хлора $Q_0$ , т	Высота поддона $H$ , м	Врем. после аварии $\tau$ , ч	Направл. ветра.	Скорость ветра, $w_6$ , м/с	Температура воздуха, $^{\circ}C$	Сост. верт. Устойч. атмосферы
1	2	10	1	1	СЗ	2	18	инверс
2	2,5	12	1,2	1,5	СВ	3	20	изотер
3	3	14	1,4	2	ЮЗ	4	22	конвек
4	3,5	16	1,5	2,5	ЮВ	1,5	24	инверс
5	2	14	1	3	С	2,5	26	изотер
6	2,5	12	1,3	2,5	Ю	3,5	28	конвек
7	3	10	1,4	2	З	4	30	инверс кон-
8	3,5	12	1,5	1,5	В	2	28	век
9	3	14	1	1	СЗ	3	26	изотер
10	2,5	16	1,1	1,5	СВ	4	24	инверс кон-
11	2	14	1,2	2	ЮЗ	3,5	22	век
12	2,5	12	1,3	2,5	ЮВ	3	20	изотер
13	3	10	1,4	3	В	2,5	10	инверс
14	2,5	12	1,5	2,5	З	2	20	изотер
15	3	14	1,4	2	Ю	1,5	22	конвек
16	2,5	15	1,3	1,5	С	4	24	инверс
17	2	14	1,2	1	ЮВ	3	26	изотер
18	3	12	1	2	ЮЗ	2	28	конвек
19	3,5	10	1,2	3	СВ	2,5	30	конвек
20	2	12	1,4	2,5	СЗ	3,5	28	инверс
21	2,5	14	1,6	3,5	Ю	1,5	26	изотер
22	3	16	1,4	3	С	2	24	инверс
23	3,5	14	1,2	2,5	З	3	22	конвек
24	2	12	1	2	В	4	20	изотер
25	2,5	10	1,4	1,5	ЮЗ	2,5	18	инверс

## ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование и прогнозирование чрезвычайных ситуаций: методические указания к проведению практических занятий / сост.: В. Г. Шаптала, В.В. Шаптала, В.Ю. Радоуцкий – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 97 с.
2. Основы моделирования чрезвычайных ситуаций: учеб. пособие В. Г. Шаптала, В. Ю. Радоуцкий, В. В. Шаптала; под общ. ред. В. Г. Шапталы. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – 166 с.
3. *Акимов, В. А.* Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев. – М.: ЗАО «Деловой экспресс», 2004. – 437 с.

*Сардарбекова Э.К.*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ  
И ОЦЕНКА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ  
В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ  
Методические указания к проведению практических занятий

Ответственный за выпуск *В. Г. Рудов*  
Компьютерная верстка *Г. Н. Кирпа*

Подписано в печать 12.10.2020.  
Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Печать офсетная.  
Объем 8,0 п.л. Тираж 100 экз. Заказ 19

Издание подготовлено и отпечатано  
в отделе оперативной полиграфии  
Кыргызско-Российского Славянского университета  
720000, г. Бишкек ул. Киевская, 44