

## **Методические указания к выполнению курсового проекта по курсу «Устойчивость объектов экономики в ЧС» с примером**

Определить количество пострадавших среди персонала объекта в случае мгновенного разрушения резервуара с пропаном вместимостью 100 т.

Плотность размещения персонала на объекте: на открытой местности -  $0,0001 \text{ чел/м}^2$ ; в промышленном здании -  $0,1 \text{ чел/м}^2$ ; в административном здании -  $0,2 \text{ чел/м}^2$ .

Площадь: промышленного здания -  $100 \text{ м}^2$ ; административного -  $100 \text{ м}^2$ .  
Для упрощения расчета принимаем, что действие поражающих факторов источника ЧС не выходит за территорию объекта.

Резервуар окружен технологическим оборудованием, размещенным с высокой плотностью. Расстояния от места аварий до промышленного здания - 700 м, до административного здания - 1000 м.

### **Решение**

#### **1. Определим массу пропана, участвующего в реакции.**

В данном случае произошло мгновенное разрушение резервуара, поэтому реакции принимают участие 100 т пропана ( $M$ ), а при образовании огненного шара 60% массы газа ( $t$ ), т.е. 60 т (масса газа в облаке ТВС).

$$m = 0,6 \times M,$$

$$m = 0,6 \times 100 = 60 \text{ т}.$$

#### **2. Определим режим взрывного превращения облака ТВС.**

По табл. 1 прил. определяем класс пространства окружающего место аварии - 2 класс.

По табл. 2 прил. определяем класс взрывоопасного вещества - 2 класс.  
По табл. 3 прил. определяем вероятный режим взрывного превращения - 2 режим.

#### **3. Определим радиусы зон разрушений.**

По табл. 4 прил. определяем вспомогательные коэффициенты ( $a$ ) для различных степеней разрушений зданий. Например, для промышленных зданий при полной степени разрушения при 2 режиме взрывного превращения  $a = 1,66$ .

Радиусы зон разрушений и зоны расстекления можно определить при помощи шкалы. Сначала определяем условную массу вещества ( $M'$ ). Для этого на верхней шкале отмечаем деление, соответствующее массе пропана (100 т) и проводим вниз до средней шкалы линию,  $M' = 2$ .

Определяем условный радиус зоны полных разрушений:

$$R_1 = 0,32 \times M' + a = 2,3,$$

$$R_1 = 0,32 \times 2 + 1,66 = 2,3.$$

На средней шкале (рис. 1.) находим точку 2,3 и на нижней шкале, напротив помеченной точки, найдем радиус полных разрушений  $R_1 = 200$ , ( $R = 10^{2,3} = 200\text{ м}$ ).

Радиусы зон разрушений и зоны расстекления можно определить без шкалы, изображенной на рис. 1, а по формуле:

$$R_i = 10^{(0,32 \lg M + a)} = 10^{R'}$$

где  $R_i$  - радиус зоны разрушения (полной, сильной, средней, слабой) или зоны расстекления, м;

$M$  – масса топлива, участвующая в реакции, т;

$a$  – вспомогательный коэффициент;

$R'$  - условный радиус зоны разрушения или расстекления.

Размеры зон полных, сильных, средних и слабых разрушений для промышленных и административных зданий представлены в таблице.

Радиус зоны расстекления примерно равен 2500 м.

Так как административное здание расположено на расстоянии 1000 м, а промышленное - на расстоянии 700 м, то они получают слабую степень разрушения (см. рис. 2).

Таблица

Размеры зон полных, сильных, средних и слабых разрушений для промышленных и административных зданий

Тип здания	Степень разрушения и радиус зон, м.			
	Полные (1)	Сильные (2)	Средние (3)	Слабые (4)
Промышленные	200	400	700	1200
Административные	300	500	1000	2000

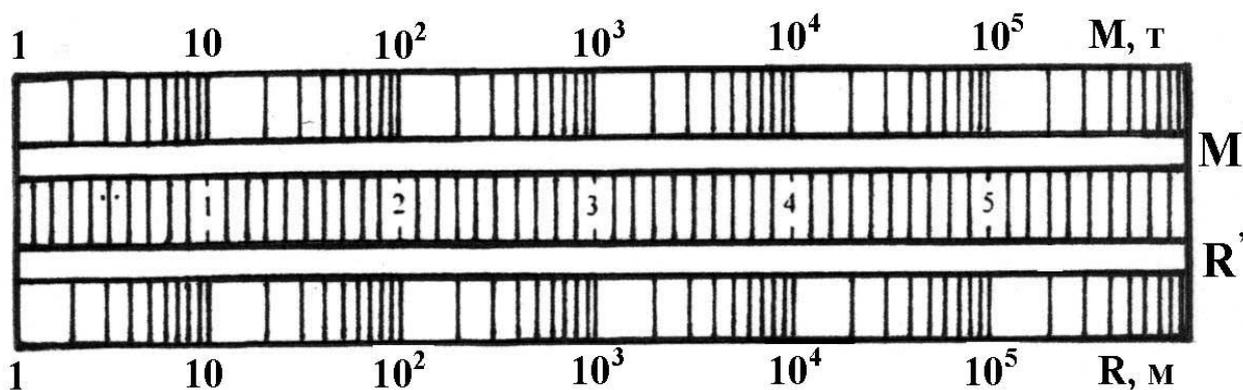


Рис. 1. Шкала для определенных радиусов действия поражающих факторов при аварии на пожаровзрывоопасном объекте

#### 4. Определим число людей, пораженных воздушной ударной волной

**на открытой местности.**

Радиусы зон поражения людей определяются с помощью вспомогательного коэффициента ( $a$ ) из табл. 5 прил., шкалы на рис. 1., аналогично, как для определения радиусов зон разрушения.

Найдем число пострадавших людей в 6-ой зоне ( $P'_m = 99\%$ ).

Радиус зоны, в которой погибнет 99 % людей составляет  $R_{6m} = 120$  м.

Площадь зоны:

$$S_6 = \pi \times R_6^2,$$

$$S_6 = 3,14 \times 120^2 = 45000 \text{ м}^2.$$

На рис. 2 зоны поражения людей от воздушной ударной волны отмечены пунктирными линиями.

Число погибших в шестой зоне

$$N_6 = S_6 \times \rho_{om} \times P_{6m},$$

$$N_6 = 45000 \times 0,0001 \times 0,99 = 4,5 \approx 5 \text{ чел.}$$

где  $\rho_{om}$  - плотность персонала на открытой местности.

Число погибших, в пятой зоне  $P_{5m} = 90\%$ .

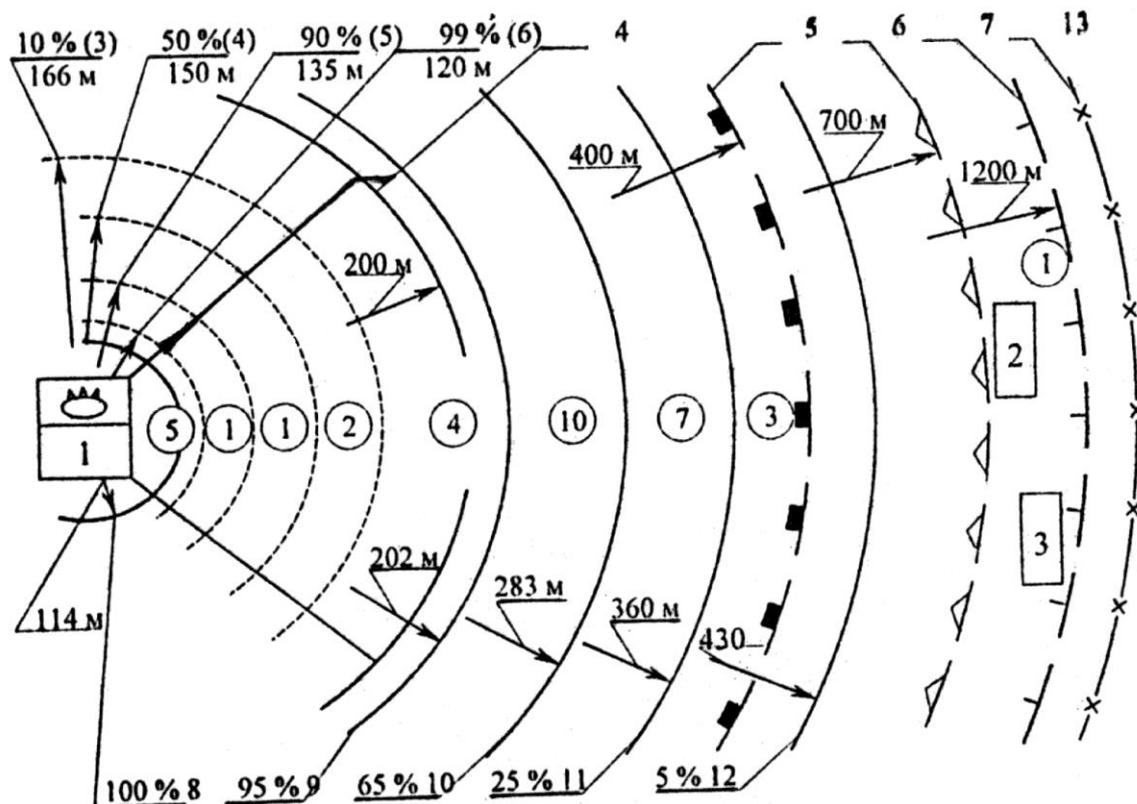


Рис. 2. Схема действия поражающих факторов при аварии на пожаровзрывоопасном объекте:

- 1 - пожаровзрывоопасный объект; 2 - промышленное здание; 3 - административное здание; 4, 5, 6, 7 - границы зон сплошных, сильных, средних и слабых разрушений, соответственно; (6), (5), (4), (3) - номера и границы зон поражения людей от

воздушной ударной волны; 8, 9, 10, 11, 12 - границы зон поражения людей от теплового потока (8 - граница территории покрываемой огненным шаром); 13 - зона расстекления; вероятность поражения людей на границах зон действия поражающих факторов указана на схеме в процентах; 1 - количество людей, погибших в зонах действия поражающих факторов.

Площадь зоны, в которой погибнет от 90 % до 99 % людей (в среднем 95%)

$$S_5 = S'_5 - S_6,$$

где  $S'_5$  - суммарная площадь 5 и 6 зоны.

Радиус границы пятой зоны  $R_5 = 135\text{м}$ , тогда

$$S_5 = 3,14 \times 135^2 - 3,14 \times 120^2 = 12000\text{м}^2.$$

Число пострадавших в пятой зоне

$$N_5 = 12000 \times 0,0001 \times 0,95 = 1,1 \approx 1\text{чел.}$$

Число пострадавших в четвертой зоне (50-90 %)

$$N_4 = (3,14 \times 150^2 - 3,14 \times 135^2) \times 0,0001 \times 0,7 = 0,9 \approx 1\text{чел.}$$

Число пострадавших в третьей зоне (10-50 %)

$$N_3 = (3,14 \times 166^2 - 3,14 \times 150^2) \times 0,0001 \times 0,3 = 0,5 \approx 1\text{чел.}$$

Число пострадавших людей во 2 и 1 зонах не определяем, так как в данных зонах их не будет.

Общее число погибших людей от воздушной ударной волны на открытой местности составит 8 человек.

#### **5. Определим число погибших людей, находящихся в промышленных административных зданиях.**

Промышленные и административные здания попали в зону слабых разрушений (четвертую), в остальных зонах зданий нет (см. рис. 2) Количество людей, находящихся в административном здании

$$N_{4ж} = S_{ж} \times \rho_{ж},$$

$$N_{4ж} = 100 \times 0,2 = 20\text{чел.}$$

где  $S_{ж}$  - площадь административного здания,  $\text{м}^2$ ;  $\rho_{ж}$  - плотность персонала административном здании.

Количество людей, находящихся в промышленном здании

$$N_{4п} = S_{п} \times \rho_{п},$$

$$N_{4п} = 100 \times 0,1 = 10\text{чел.}$$

где  $S_{п}$  - площадь промышленного здания,  $\text{м}^2$ ;  $\rho_{п}$  - плотность персонала в промышленном здании.

Вероятность выживания людей в зоне слабых разрушений (четвертой зоне) в административных зданиях  $P_{4ж} = 98\%$ , в промышленных зданиях  $P_{4п} = 90\%$ . Вероятность выживания людей в зоне средних разрушений (третьей зоне) в административных зданиях  $P_{4ж} = 90\%$ , в промышленных зданиях  $P_{4п} = 70\%$ .

Число пострадавших людей в зданиях равно

$$N_3 = N_{4жс} \times (1 - P_{4жс}) + N_{4н} \times (1 - P_{4н}),$$
$$N_3 = 20 \times (1 - 0,98) + 10 \times (1 - 0,9) = 1 \text{ чел.}$$

Общее число погибших от воздушной ударной волны 9 человек.

#### 6. Определим число людей, пораженных тепловым воздействием.

Параметры огненного шара: радиус огненного шара

$$R_{ош} = 3,2 \times m^{0,325},$$
$$R_{ош} = 3,2 \times 60000^{0,325} = 114 \text{ м.}$$

время существования огненного шара

$$t = 0,85 \times m^{0,26},$$
$$t = 0,85 \times 6000^{0,26} = 15 \text{ с.}$$

По табл. 6 прил. определяем, что тепловой поток на поверхности огненного шара ( $Q_0$ ) составит 195 кВт/м<sup>2</sup>.

Площадь, покрываемая огненным шаром

$$S_{ош} = 3,14 \times R_{ош}^2,$$
$$S_{ош} = 3,14 \times 114^2 = 41000 \text{ м}^2.$$

Число погибших

$$N_{ош} = S_{ош} \times \rho_{ом},$$
$$N_{ош} = 41000 \times 0,0001 = 4,1 \approx 4 \text{ чел.}$$

Считаем, что вероятность гибели человека на площади, покрываемой огненным шаром равна 100 %.

Границы зон поражения людей от теплового потока на рис. 2 показаны сплошными линиями.

Число погибших людей, находящихся в различных зонах теплового воздействия.

Число погибших людей, находящихся в зоне, где вероятность их гибели составляет более 95 %.

По графику на рис. 3 определяем, что такой вероятности соответствует индекс дозы теплового излучения ( $J$ )  $3,7 \cdot 10^3$  кВт/м<sup>2</sup>.

Радиус зоны, где наблюдается данный тепловой индекс, равен:

$$X_{95} = R_{ош} \times Q_0^{0,5} \times (t / J)^{3/8},$$
$$X_{95} = 114 \times 195^{0,5} \times (15 / 3700)^{3/8} = 202 \text{ м.}$$

Площадь зоны, где вероятность гибели людей более 95 %

$$S_{95} = 3,14 \times (202^2 - 114^2) = 87300 \text{ м}^2.$$

Число пострадавших в данной зоне

$$N_{95} = S_{95} \times P_{97,5} \times \rho_{ом},$$
$$N_{95} = 87300 \times 0,975 \times 0,0001 = 8,5 \approx 9 \text{ чел.}$$

где  $P_{97,5}$  - средняя вероятность гибели людей в зоне (на границе зоны

вероятность гибели 95 %).

Число погибших людей, находящихся в зоне, где вероятность их гибели находится в пределах от 65 до 95 % (среднее значение - 80 %).

Индекс дозы теплового излучения для вероятности 65 % составляет 1500 (см. рис. 3).

Радиус зоны, где наблюдается данный индекс дозы теплового излучения

$$X_{65} = 114 \times 195^{0,5} \times (15/1500)^{3/8} = 283 \text{ м.}$$

Площадь зоны

$$S_{65} = 3,14 \times (283^2 - 202^2) = 123400 \text{ м}^2.$$

Число пострадавших в данной зоне

$$N_{65} = 123400 \times 0,8 \times 0,0001 = 9,9 \approx 10 \text{ чел.}$$

Число погибших людей, находящихся в зоне, где вероятность их гибели составляет от 25 до 65 % (среднее значение - 45 %).

Индекс дозы для данной зоны  $J_{25} = 800$ , радиус  $X_{25} = 360$ , площадь зоны  $S_{25} = 155000 \text{ м}^2$ .

Количество людей, погибших в данной зоне, 7 человек.

Число погибших людей в зоне, где вероятность их гибели составляет от 5 до 25 % (в среднем - 15 %).

Параметры зоны:  $J_5 = 500$ , радиус  $X_5 = 430$ , площадь зоны  $S_5 = 174000 \text{ м}^2$ .

Количество людей, погибших в данной зоне. 3 человека.

Общее число пострадавших от теплового потока

$$N_{m.n} = N_{100} + N_{95} + N_{80} + N_{45} + N_{15},$$

$$N_{m.n} = 4 + 9 + 10 + 7 + 3 = 33 \text{ чел.}$$

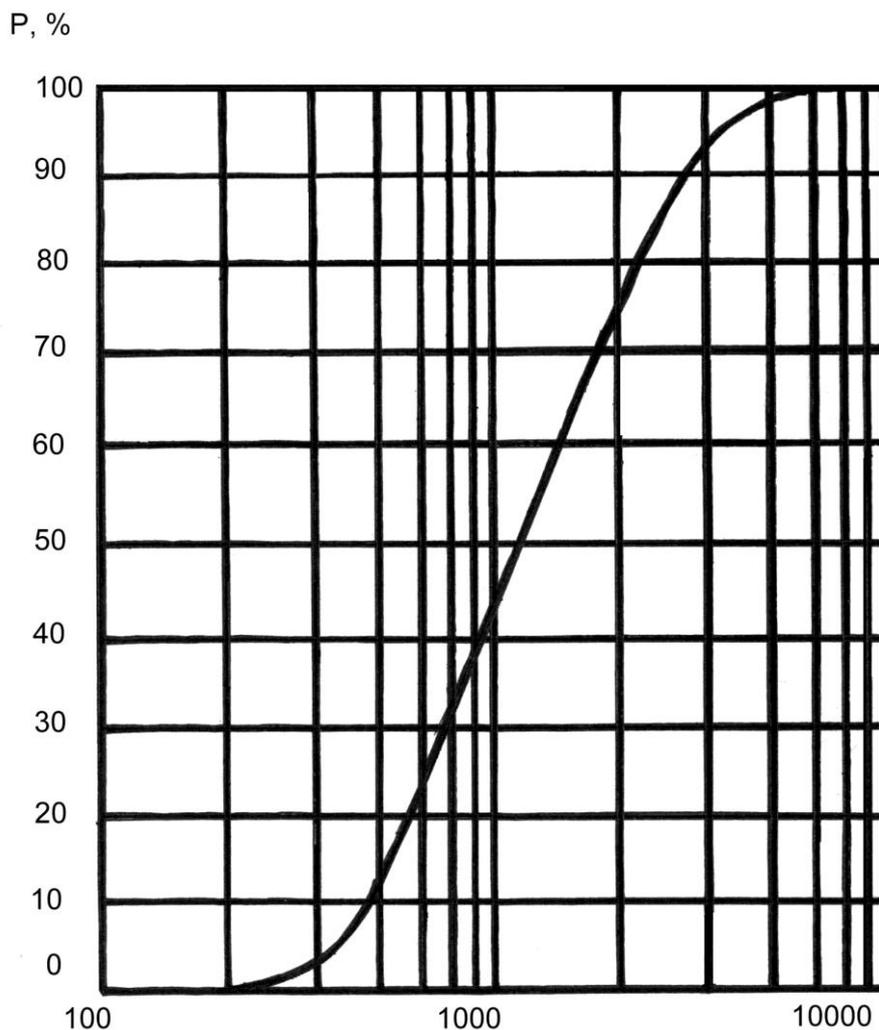


Рис. 3. Вероятность (P) поражения людей в зависимости от дозы теплового излучения

**7. Найдем общее количество людей, погибших на объекте в результате аварии.**

Количество пострадавших в зонах совместного действия воздушной ударной силы и теплового излучения определяется на основе сложения вероятности гибели людей от двух поражающих факторов (на рис. 2 количество погибших людей в зонах действия поражающих факторов указано в окружности).

Количество погибших людей на площади, покрываемой огненным шаром и в зоне гибели людей от ударной волны с вероятностью 0,99.

В данной зоне ограниченной окружностью с радиусом 120 м погибнет 100 % персонала, т.е. 5 человек.

Количество погибших людей в 5-ой зоне действия ударной волны и в зоне теплового потока, где вероятность гибели составляет 97,5 % определяется из выражения

$$N_{5,95} = S_5 \times \rho_{ом} \times (P_{95} + P_{97,5} - P_{95} \times P_{97,5}),$$

$$N_{5,95} = 12000 \times 0,0001 \times (0,95 + 0,975 - 0,95 \times 0,975) = 1,2 \approx 1 \text{ чел.}$$

Количество людей, погибших в 4-ой зоне действия ударной волны и в зоне теплового потока (97,5 %)

$$N_{4,95} = 13000 \times 0,0001 \times (0,7 + 0,975 - 0,7 \times 0,975) = 1,3 \approx 1 \text{ чел.}$$

Количество погибших в 3-ей зоне действия ударной волны в зоне теплового потока (97,5 %)

$$N_{3,95} = 16000 \times 0,0001 \times (0,3 + 0,975 - 0,3 \times 0,975) = 1,6 \approx 2 \text{ чел.}$$

Количество погибших в зоне действия теплового потока (вероятность гибели 97,5 %)

$$N_{95} = 3,14 \times (202^2 - 166^2) \times 0,0001 \times 0,975 = 4 \text{ чел.}$$

Число пострадавших определяется только для части зоны, т.е. в зоне, ограниченной радиусами 202 м (радиус зоны теплового потока) и 166 м (радиус 3-ей зоны ударной волны).

В данной зоне воздействия теплового потока находятся вторая и первая зоны действия воздушной ударной волны, но поскольку вероятность гибели людей второй и в первой зоне действия ударной волны незначительная, то ее не учитывают.

Количество погибших во всех зонах совместного действия воздушной ударной волны и теплового потока

$$N_{6-3,95} = 5 + 1 + 1 + 2 + 4 = 13 \text{ чел.}$$

Общее количество погибших в результате аварии на пожаровзрывоопасном объекте

$$N_{\text{общ}} = N_{6-3,95} + N_{\text{т.п.}} + N_3 = 13 + (10 + 7 + 3) + 1 = 34 \text{ чел.}$$

Числом погибших от осколков резервуара пренебречь.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Характеристика классов пространства, окружающего место аварии

№ класса	Характеристики пространства
1	Наличие труб, полостей и т.д.
2	Сильнозагроможденное пространство: наличие замкнутых объемов, высокая плотность размещения технологического оборудования, лес, большое количество повторяющихся препятствий.
3	Сильнозагроможденное пространство: отдельно стоящие технологические установки, резервуарный парк.
4	Слабозагроможденное пространство и свободное пространство.

Таблица 2

Классификация взрывоопасных веществ

Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4
Ацетилен	Акрилонитрат	Ацетальдегид	Бензол
Винилацетилен	Акролеин	Ацетон	Дизтопливо
Водород	Аммиак	Бензин	Дихлорбензол
Гидразин	Бутан	Винилацетат	Додекан
Метилацетилен	Бутилен	Винилхлорид	Керосин
Нитрометан	Пентадиен	Гексан	Метан
Окись пропилена	Пропан	Генераторный газ	Метилбензол
Озопропилнитрат	Пропилен	Изооктан	Метилмеркаптан
Окись этилена	Сероуглерод	Метиламин	Метилхлорид
Этилнитрат	Этан	Метилацетат	Нафталин
Гептан	Этилен	Метилбутил	Окись углерода
	эфиры:	Кетон	Фенол
	деметиловый	Метилпропил	Хлорбензол
	девиниловый	Метилэтил	Этилбензол
	метилбутиловый	Октан	
		Пиридин	
		Сероводород	

Окончание табл. 2

		спирты: метиловый этиловый пропиловый амиловый изобутиловый изопропиловый гексан этилформиат этилхлорид	
--	--	--	--

Примечание: В случае, если вещество не внесено в классификацию, его следует классифицировать по аналогии с имеющимся в списке веществами, а при отсутствии информации о свойствах данного вещества, его следует отнести к классу 1, т.е. рассматривать наиболее опасный случай.

Таблица 3

Режимы взрывного превращения облаков топливно-воздушных смесей

Класс топлива	Класс окружающего пространства			
	1	2	3	4
1	1	1	2	3
2	1	2	3	4
3	2	3	4	5
4	3	4	5	6

Таблица 4

Вспомогательные коэффициенты ( $a$ ) для определения размеров зон разрушений и расстекления зданий от ударной воздушной волны при авариях на пожаровзрывоопасных объектах

Степень разрушения	Тип зданий	Режим взрывного превращения					
		1	2	3	4	5	6
Полная	П	1,71	1,66	1,58	1,52	1,42	1,32
	Ж	1,91	1,82	1,67	1,62	1,52	1,42
Сильная	П	2,06	1,96	1,82	1,77	1,67	1,57
	Ж	2,16	2,06	1,92	1,87	1,77	1,67

Окончание табл. 4

Средняя	П	2,26	2,21	2,02	1,97	1,82	1,77
	Ж	2,36	2,35	2,27	2,17	2,02	1,97
Слабая	П	2,53	2,46	2,42	2,32	2,22	2,17
	Ж	2,71	2,66	2,62	2,52	2,42	2,32
Расстекление		2,91	2,76	2,66	2,62	2,6	2,51

Примечание: П - промышленные здания, Ж - жилые и административные здания.

Таблица 5

Вспомогательные коэффициенты ( $a$ ) для определения размеров зон поражения людей воздушной ударной волной при авариях на пожаровзрывоопасных объектах

Номер зоны и вероятность поражения людей, %	Режим взрывного превращения					
	1	2	3	4	5	6
99	1,51	1,43	1,41	1,38	1,35	1,34
90	1,60	1,46	1,45	1,44	1,43	1,42
50	1,66	1,52	1,50	1,49	1,48	1,47
10	1,72	1,62	1,60	1,59	1,58	1,57
1,0	1,79	1,70	1,69	1,68	1,65	1,64
Порог поражения	1,85	1,78	1,76	1,74	1,72	1,70

Таблица 6

Значение теплового потока на поверхности огненного шара диаметром более 10 м

Вещество	Тепловой поток кВт/м <sup>2</sup>
Бутан	170
Этан	190
Этилен	180
Метан	200
Пропан	195
Гексан	160
Ацетон	80
Бензин, дизтопливо	130
Керосин	90
Ацетилен	100
Бензол	110
Изобутилен	90

Таблица 7

## Разрушение зданий и сооружений

Степень разрушения	Характеристика степени разрушений
Полная	Разрушение и обрушение всех элементов зданий и сооружений (включая подвалы).
Сильная	Разрушение части стен и перекрытий верхних этажей, образование трещин в стенах, деформация перекрытий нижних этажей; возможно ограниченное использование сохранившихся подвалов после расчистки входов.
Средняя	Разрушение главным образом второстепенных элементов (крыш, перегородок, оконных и дверных заполнений), перекрытия, как правило, не обрушаются. Часть помещений пригодна для использования после расчистки от обломков и проведения ремонта.
Слабая	Разрушение оконных и дверных заполнений и перегородок. Подвалы и нижние этажи полностью сохраняются и пригодны для временного использования после уборки мусора и заделки проёмов.