

Оглавление

Введение

I. Расчет зон ЧС природного характера

Практическая работа №1

Расчет зоны ЧС при землетрясениях

Практическая работа №2

Расчет зоны ЧС (зоны затопления) при наводнениях

Практическая работа №3

Расчет зоны ЧС при гидродинамических авариях

Практическая работа №4

Расчет зоны теплового воздействия при пожарах

Практическая работа №5

Расчет теплового воздействия при горении ГВС

Практическая работа №6

Расчет зоны задымления при пожарах

II. Расчет зон ЧС техногенного характера

Практическая работа №7

Расчет зоны ЧС при взрыве конденсированных взрывчатых веществ (ВВ)

Практическая работа №8

Расчет зоны ЧС при взрыве емкости, находящейся под давлением газа (пара)

Практическая работа №9

Расчет зоны ЧС при взрыве пылевоздушной смеси (ПВС) в открытом пространстве и в помещении

Практическая работа №10

Расчет зоны ЧС при взрыве газовоздушных, топливовоздушных (ГВС, ТВС) смесей в открытом пространстве

Практическая работа №11

Взрывы ГВС и ТВС в помещении

Практическая работа №12

Расчет поля давления и осколков после разрушения здания

Практическая работа №13

Оценка параметров аварийного взрыва газгольдера со сжатым газом и действия осколков по стальным мишеням

Библиографический список

Одной из главных задач общества на современном этапе является обеспечение безопасности. Решением данной проблемы занимаются специально уполномоченные органы созданной в РФ Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС). Однако количество чрезвычайных ситуаций (ЧС) не снижается, и как показывает опыт, на объектах экономики прогнозирование ЧС часто производится не точно и с опозданием. Руководители и персонал не подготовлены к оперативному решению вопросов в области защиты от чрезвычайных ситуаций.

В данных методических указаниях содержатся методики расчета зон ЧС природного характера. Для каждой ЧС определены необходимые исходные данные для прогнозирования, представлены модели расчета параметров поражающих факторов и оценки последствий ЧС, приведены примеры расчета.

Освоение изложенного материала позволит студентам специальности «Безопасность технологических процессов и производств» выработать умение заблаговременного получения качественной и количественной информации для прогнозирования, проведения расчета неблагоприятного воздействия на конкретный объект, оценки результата воздействия и необходимости применения превентивных мер.

Данные методические указания могут быть полезны студентам и других специальностей при решении специфических вопросов по обеспечению безопасности.

глубине гипоцентра

$$J_0 \gg 1,5 \cdot (M - 1). \quad (1.4)$$

Интенсивность землетрясения на расстоянии R от его эпицентра (эпицентрального расстояния) для однотипного грунта определяется по формуле

$$J_0 = 1,5 \cdot M - 3,5 \cdot \lg \sqrt{R^2 + H^2} + 3, \quad (1.5)$$

Реальную интенсивность J_R^* землетрясения, учитывающую влияние типа грунта под застройкой и на остальной окружающей местности, можно определить по формуле

$$J_R^* = J_R - (\Delta J_M - \Delta J_3), \quad (1.6)$$

где ΔJ_3 - приращение балльности для грунта, на котором построено здание (по сравнению с гранитом); $\Delta J_M \sim$ приращение балльности для грунта в окружающей местности.

Значения ΔJ_M и ΔJ_3 приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Приращения балльности для различных грунтов

Тип грунта	$\Delta J_M, \Delta J_3$
Гранит	0
Известняк	0.52
Щебень, гравий, галька	1.36
Полускальные грунты (гипс)	0.92
Песчаные	1.6
Глинистые	1.61
Насыпные рыхлые	2.6

3. Расстояние R , км, от эпицентра, на котором возможно возникновение колебаний определенной интенсивности.

$$R = H \sqrt{10^{0,57 \cdot (J_0 - J_R)} - 1}. \quad (1.7)$$

4. Время прихода продольных сейсмических волн - I фаза землетрясения, t_1 , с:

$$t_1 = \frac{\sqrt{(R^2 + H^2)}}{V_{np}}, \quad (1.8)$$

где V_{np} - средняя скорость распространения продольных волн, км/с.

Для гранита $V_{np}=6,9$ км/с; осадочных пород - 6,1 км/с; песчаники, известняки - 1,5-5,6 км/с; полускальные (гипс, мергель, глинистые сланцы) - 1,4-3,6 км/с; крупнообломочные (галька, гравий) - 1.1-2,1 км/с; насыпные грунты - 0,2-0,5 км/с; песок - 0,7-1,6 км/с; глина, суглинок, супесь - 0,5-1,5

км/с.

5. Время прихода поверхностных сейсмических волн - главная (II) фаза землетрясения, t_{II} , с:

$$t_{II} = \frac{H}{V_{np}} + \frac{R}{V_{пов}}, \quad (1.9)$$

где $V_{пов}$ - средняя скорость распространения поверхностных волн. Для гранита $V_{пов}=5,6$ км/с; известняки - 4,0 км/с; щебень, гравий, галька- 1,5 км/с; песчаный грунт - 1,2 км/с; глинистый грунт - 1 км/с; насыпной грунт - 0,35 км/с).

Интервал времени от наступления первой фазы землетрясения до наступления главной фазы Δt , с;

$$\Delta t = t_{II} - t_I. \quad (1.10)$$

6. Степени разрушения зданий и сооружений при землетрясениях определяем по табл. 1.2.

Пример. Оценить обстановку и степень разрушения малоэтажных (до четырех кирпичных зданий на расстоянии $R=50$ км от эпицентра землетрясения в 6 баллов (J_0). Глубина гипоцентра $H=30$ км. Дома построены на насыпном грунте, остальной грунт песчаный.

Таблица 1.2

Характеристика землетрясений

Интенсивность (J), шкала MSK. балл	ΔP_ϕ , кг/см ²	Тип землетрясения	Магнитуда, M	Последствия разрушения
1	2	3	4	5
IV		Среднее	3	Разрешение остекления, ощущаются толчки в помещениях
V-VI		Сильное	5	Средние разрушения деревянных зданий: слабые - кирпичных
VII	6-7,5 баллов $\Delta P_\phi = 0.1-0.3$ кгс/см ²	Очень сильное	5,5-6	Сильные разрушения деревянных зданий: средние - кирпичных: слабые - промышленных каркасных зданий
VIII	7.5-9 баллов $\Delta P_\phi = 0.3-1$ кгс/см ²	Разрушительное	6-6,5	Полное разрушение деревянных зданий: сильные - кирпичных: среднее - ж/б промышленных зданий: трещины в почве: возможны пожары
IX		Опустошительное	7	Полное разрушение деревянных, кирпичных, промышленных зданий: сильное - ж.о. каркасных: разрыв коммуникаций; пожары

1	2	3	4	5
X	>9 баллов	Уничтожающее	7,5	Обвалы, разрушение магистралей, полное разрушение всех зданий; пожары
XI-XII	$\Delta P_{\phi} > 1$ кгс/см ²	Катастрофическое. Абсолютное	8-9	Полное разрушение зданий, оползни, обвалы. Изменение течения рек и рельефа, пожары

Решение:

1. Магнитуда землетрясения в эпицентре

$$M = \frac{3,5 \cdot \lg H - 3 + J_0}{1,5} = \frac{3,5 \cdot \lg 30 - 3 + 6}{1,5} = 5,5 \text{ баллов.}$$

2. Интенсивность землетрясения на $R = 50$ км

$$J_R = 1,5 \cdot 5,5 - 3,5 \cdot \lg \sqrt{50^2 + 30^2} + 3 = 8,3 - 3,5 \cdot \lg \sqrt{60} + 3 = 5,0 \text{ баллов.}$$

3. Реальная интенсивность, / в районе расположения поселка

$$J_R^* = J_R - (1,6 - 2,6) = 5,0 - (-1) = 6,0 \text{ баллов.}$$

4. Время наступления 1 фазы землетрясения (толчки)

$$t_I = \frac{\sqrt{(50^2 + 30^2)}}{6,1} = 10 \text{ с.}$$

5. Время наступления главной фазы землетрясения

$$t_{II} = \frac{30}{6,1} + \frac{50}{1,2} = 4,5 + 46 = 50,5 \text{ с.}$$

Выводы и предложения. Землетрясение на расстоянии $R=50$ км сильное, магнитуда равна 5,5 баллов. Интенсивность J_R^* баллов. Здания получат слабые повреждения (трещины, разрушение остекления), толчки будут ощущаться через 10 с.

При первых толчках выбежать из здания, если здание 2-3-этажное; при невозможности покинуть помещение, встать у капитальной стены или в проеме двери, закрыв голову: выключить газ, электричество.

Задание: 1. Оценить обстановку и степень разрушения зданий на цементном заводе.

2. Нанести обстановку на план цементного завода.

Условные обозначения:

Границы разрушения



- слабые



- средние



- полные



- сильные

Разрушения здания (раскрасить)

Зеленый

- слабые

Красный

- сильные

Желтый

- средние

Синий

-полные

Входные параметры (табл. 1.3)

1. Интенсивность в эпицентре землетрясения J_0 .
2. Глубина гипоцентра H .
3. Тип грунта, на котором построено здание.
4. Тип грунта в окружающей местности.
5. Расстояние от эпицентра R .

Выходные параметры

1. Тип землетрясения.
2. Интенсивность землетрясения.
3. Последствия землетрясения.
4. Длительность землетрясения.

*Таблица 1.3***Варианты расчета зоны ЧС при землетрясениях**

№ варианта	Интенсивность землетрясения в эпицентре J_0 , балл	Глубина гипоцентра H , км	Тип грунта под сооружением	Тип грунта вне сооружения	Расстояние от эпицентра R , км	Тип зданий
1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7
I	5	20	Насыпной	Песок	30	Цех
1	2	3	4	5	6	7
2	6	30	«	Известняк	40	Кирпичные
3	7	10	Гранит	Гравий	50	Деревянные
4	8	30	«	Глина	60	Ж/б
5	9	40	«	Гранит	100	Панельные
6	10	50	Гравий	«	100	Каркасные
7	11	50	Щебень	Песок	90	Деревянные
8	12	60	Глина	«	80	Кирпичные
9	10	60	Известняк	«	70	«
10	11	50	Глина	«	60	Деревянные
11	9	40	Насыпной грунт	Гранит	50	Деревянные
12	10	40	«	Осадочные породы	70	Кирпичные
13	10	40	Песок	Известняк	80	Деревянные
14	9	30	Насыпной грунт	Гравий	50	«

1	2	3	4	5	6	7
15	7	30	«	Гранит	40	Кирпичные
16	8	30	Щебень	«	40	«
17	8	40	Песок	«	50	Каркасные
18	9	40	Гранит	Гравий	30	Деревянные
19	10	40	«	«	30	Кирпичные
20	9	40	«	«	20	«
21	9	40	Насыпной грунт	Гранит	50	Деревянные
22	10	40	«	Осадочные породы	70	Кирпичные
23	10	40	Песок	Известняк	80	Деревянные
24	9	30	Насыпной грунт	Гравий	50	«
25	-	30	«	Гранит	40	Кирпичные
26	8	30	Щебень	«	40	«
27	8	40	Песок	«	50	Каркасные
28	9	40	Гранит «	Гравий	30	Деревянные
29	10	40		«	30	Кирпичные
30	9	40	<<	«	20	«

Практическое задание №2

Расчет зоны ЧС (зоны затопления) при наводнениях

Наводнение - значительное затопление местности в результате подъема уровня воды в реке, озере, вызываемого либо таянием снега, ледников (половодье); либо выпадением большого количества осадков (паводок); либо в результате увеличения сопротивления стоку воды при заторах (заторах), завалах русла реки (заторные и завальные наводнения). Возможны наводнения, вызванные действием ветра (нагонные), действием цунами и при прорывах плотин (дамб) при переполнении бассейна реки, моря.

Рассмотрим расчет очага поражения (зоны затопления), вызванного ливневыми дождями

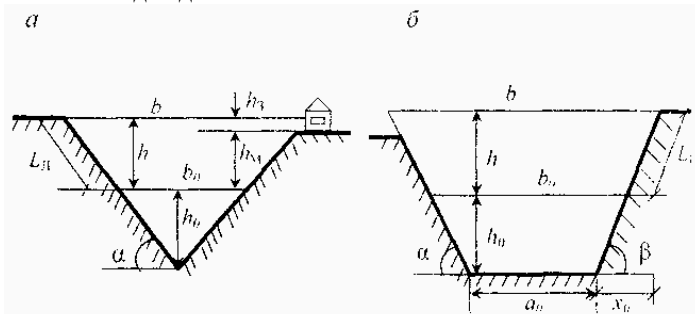


Рис. 2.1. Схема русла реки: а — треугольное русло; б — трапецидальное русло

Исходные данные для расчета очага поражения при треугольном и трапецидальном русле реки:

b_0 - ширина реки до паводка, м;

a_0 - ширина дна реки, м;

h_0 - глубина реки до паводка, м;

V_0 - скорость течения реки, м/с;

α, β - угол наклона береговой черты:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2h_0}{b_0} \text{ - треугольное русло,}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_0}{x_0} \text{ трапецидальное русло,}$$

где $x_0 = \frac{b_0 - a_0}{2}$;

J - интенсивность дождя, мм/ч;

F - площадь выпадения осадков, км²;

h_M - высота места, м;

h_3 - глубина затопления, м;

M - параметр профиля реки: $M=2$ (треугольный), $M=1,4$ (трапецидальный).

А. Треугольное русло реки (рис. 2.1, а)

1. Расход воды до выпадения осадков Q_0 , м³/с:

$$Q_0 = \frac{1}{2} h_0 \cdot b_0 \cdot V_0. \quad (2.1)$$

2. Расход воды в реке при выпадении осадков и образовании половодья Q_{\max} , м³/с:

$$Q_{\max} = V_{\max} \cdot S \quad (2.2)$$

или

$$Q_{\max} = \frac{J \cdot F}{3,6} + Q_0, \quad (2.3)$$

где S - площадь поперечного сечения потока при прохождении паводка, м²; V_{\max} - максимальная скорость потока при прохождении паводка, м/с; J - интенсивность осадков, мм/ч; F - площадь, на которой выпадают осадки, км².

3. Максимальная скорость потока в русле реки, V_{\max} , м/с:

$$V_{\max} = V_0 \left(\frac{h_0 + h}{h_0} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (2.4)$$

где h - высота подъема воды в реке при прохождении паводка, м.

4. Высота подъема воды в реке при прохождении паводка h , м:

$$h = \left(\frac{2 \cdot Q_{\max} \cdot \sqrt[3]{h_0^5}}{b_0 \cdot V_0} \right)^{\frac{3}{8}} - h_0. \quad (2.5)$$

5. Ширина затопляемой территории при прохождении паводка $L_{\text{п}}$, $L_{\text{л}}$, м:

$$L_{\text{л}} = h / \sin \alpha; \quad L_{\text{п}} = h / \sin \beta; \quad \alpha = \beta.$$

Б. Трапецидальное русло реки (рис. 2.1, б)

В этом случае для оценки ширины затопляемой территории можно использовать формулы (2.1), (2.4), заменив значение глубины реки h_0 на соотношение

$$h_0^* = \frac{b_0 - a_0}{(\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta)} = \frac{b_0}{2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha}.$$

Формула (2.7) справедлива при $b_0 \gg a_0$, $b_0 \gg h_0$, $\alpha = \beta < 10-15^\circ$

После преобразования (2.5) высота подъема воды равна

$$h = \left[\frac{2 \cdot Q_{\max} \cdot \sqrt[3]{(b_0 / 2 \operatorname{ctg} \alpha)^5}}{b_0 \cdot V_0} \right]^{\frac{3}{8}} - \frac{b_0}{2 \operatorname{ctg} \alpha}. \quad (2.8)$$

6. Максимальная скорость потока затопления V_3 , м/с:

где f - параметр смещения объекта от русла реки (табл. 2.1).

7. Глубина затопления определяется по соотношению (рис.2.1. а. б)

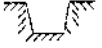
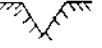
$$h_3 = h - h_M, \quad (2.10)$$

где h_M - высота места объекта (превышение места объекта над уровне реки до паводка, т.е. в обычных условиях), м.

Поражающее действие паводка определяется максимальной скоростью потока затопления V_3 , и глубиной затопления h_3 , по табл. 2.2.

Таблица 2.1

Параметр f смещения объекта от русла реки и профиля русла M

h_3/h	$M=1.5$ 	$M=2$ 
0.1	0.23	0.3
0.2	0.43	0.5
0.4	0.64	0.72
0.6	0.84	0.96
0.8	1.05	1.18
1.0	1.2	1.32

Поражающее действие волны затопления и волны прорыва гидротехнического объекта

Объекты	Параметры волны, вызывающие разрушения					
	Слабые		Средние		Сильные	
	h_3 , м	V_3 , м/с	h_3 , м	V_3 , м/с	h_3 , м	V_3 , м/с
Промышленные здания с легким каркасом	2,0	1,0	4,0	2,0	5,0	2,5
Промышленные здания с ж/б каркасом	4,0	1,5	9,0	3,0	12,0	3,0
Кирпичные дома 1-3-этажные	2,0	1,0	3,0	2,0	4,0	2,5
Деревянные дома	2,5	1,5	4,0	2,5	6,0	3,0
Сборные дома	1,0	1,0	2,5	1,5	3,5	2,0
Пирс	1,0	1,0	2,5	1,5	3,0	2,0
Суда (до $h \leq 2$ м)	2,5	1,5	5,0	1,5	7,0	2,0
Мосты	-	-	0,5	1,0	1,2	1,5-2

Примечание. 1. Высота потока выше проезжей части для мостов $h=2,85$.

2. Течение потока слабое при $V_3 \leq 0,5$ м/с: сильное - $0,5 \leq V_3 \leq 1$ м/с: быстрое - $1 \leq V_3 \leq 2$; очень быстрое - $V_3 > 2$.

3. При других значениях h_3 и V_3 для оценки поражающего действия потока можно использовать соотношение $h_3 \cdot V_3 = \text{const}$.

Пример. Определить последствия паводка, вызванного ливневыми дождями, на территории деревообрабатывающего комбината. На нижнем складе комбината деревянные сборные дома. 3-этажное кирпичное здание администрации, пирс и сплавной буксир. Интенсивность осадки. - 50 мм/ч; площадь выпадения $F=150$ км²; ширине реки $b_0=100$ м, глубина $h_0=2,5$ м; скорость течения $V_0=1$ м/с, русло реки треугольное $M=2$: угол наклона берегов $\alpha=\beta=4,5^\circ$. высота места $h_0=2$ м.

Решение:

1. Расход воды до выпадения осадков

$$Q_0 = \frac{1}{2} h_0 \cdot b_0 \cdot V_0 = \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 100 \cdot 1 = 125 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Расход воды после выпадения осадков

$$Q_{\max} = \frac{50 \cdot 150}{3,6} + 125 = 2208 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3. Высота подъема воды в реке при прохождении паводка

$$h = \left(\frac{2 \cdot 2208 \cdot \sqrt[3]{2,5^5}}{100 \cdot 1} \right)^{\frac{3}{8}} - 2,5 = 4,85 \text{ м}.$$

4. Ширина затопляемой территории

$$L_{II} = h / \sin \alpha ; L_{II} = 4,85 / 0,07 = 70 \text{ м.}$$

5. Максимальная скорость потока в русле реки при паводке:

$$V_{\max} = V_0 \left(\frac{h_0 + h}{h_0} \right)^{\frac{2}{3}} = 1,0 \cdot \left(\frac{2,5 + 4,85}{2,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 2,10 \text{ м/с}$$

6. Максимальная скорость потока затопления

$$V_3 = 2,10 \cdot f = 2,10 \cdot 0,96 = 2 \text{ м/с}$$

$$\frac{h_3}{h} = \frac{h - h_M}{h} = \frac{4,85 - 2}{4,85} = 0,6.$$

По табл. 2.1 при $h_3/h=0,6$ и $M=2$ находим $f=0,96$.

7. Поражающее действие паводка оцениваем по табл. 2.2.

При значениях $h_3=2,85$ м, $V_3=2$ м/с с кирпичные дома, пирс и катер получают средние повреждения, сборные дома будут разрушены полностью.

Выводы и предложения. Для уменьшения потерь и предотвращения ущерба от паводков необходимо поставить дамбу высотой 2,5-3 м на правом берегу реки.

Практическая работа №3

Расчет зоны ЧС при гидродинамических авариях

Гидродинамическая авария (ГДА) - это чрезвычайная ситуация, связанная с выходом из строя ГТС (плотины) или его части и неуправляемым перемещением больших масс воды, что приводит к значительным разрушениям и затоплению больших территорий. Разрушение ГТС и плотин происходит в результате действия природных сил, при воздействии человека (диверсии, применение оружия) или вследствие конструктивных дефектов, ошибок в проектировании и при эксплуатации.

Участок реки между двумя соседними ГТС или участок канала между шлюзами называют *бьефом* (рис. 3.1). *Верхний* бьеф реки (канала) выше плотины (шлюза), *нижний* бьеф - ниже плотины (шлюза). Прорыв плотины является начальной фазой ГДА и представляет процесс образования прорана и неуправляемого потока воды от верхнего бьефа к нижнему.

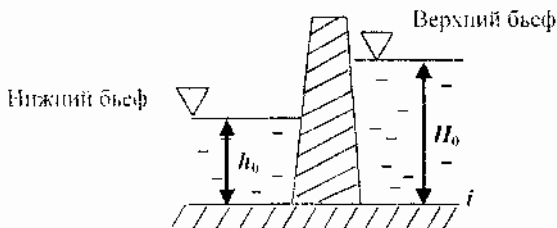


Рис. 3.1. Положение уровней воды в районе ГТС

Проран - узкий проток в теле (насыпи) плотины, косе, отмели, через который выходит вода и образует вал у прорыва. Волна прорыва образует фронт волны и гребень.

Исходные данные для оценки зоны ЧС при ГДА:

L - удаленность створа объекта от ГТС, км;

B - размеры прорана;

i - гидравлический уклон ($i=10^{-3}$ соответствует превышению в 1 м на $L=1000$ м) - определяем по карте;

h_m - высота места, м (определяем по карте);

h_0 - средняя глубина реки в нижнем бьефе, м;

H_0 - высота уровня воды в верхнем бьефе плотины, м.

Оценка обстановки производится в следующей последовательности.

1. Определяем время прихода гребня $t_{гр}$, ч и фронта $t_{фр}$ волны прорыва (табл. 3.1).

2. Находим высоту h_B м. и скорость V_B м/с. волны прорыва

$$h_B = \frac{A_h}{\sqrt{B_h + L}}; \quad (3.1)$$

$$V_B = \frac{A_V}{\sqrt{B_V + L}}; \quad (3.2)$$

где A_h , B_h , A_V , B_V - коэффициенты, зависящие от H_0 , i и B (табл. 3.2).

3. Вычисляем продолжительность затопления территории объекта, ч:

$$\tau_{зат} = \beta (t_{gp} - t_{фр}) \left(1 - \frac{h_m}{h} \right), \quad (3.3)$$

где β - коэффициент, зависящий от высоты плотины, гидравлического уклона и расстояния до объекта (табл. 3.3).

4. Рассчитываем время полного затопления $\tau_{пз}$, ч:

$$\tau_{пз} = t_{gp} - t_{фр}.$$

5. Определяем степень поражения наземных и причальных сооружений (табл. 3.4).

Таблица 3.1

Время прихода гребня $t_{гр}$ и фронта $t_{фр}$ волны прорыва к объектам

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

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

Решение:

1. Определяем время прихода гребня $t_{гр}$ и фронта $t_{фр}$ волны прорыва (табл. 3.1): $t_{гр}=7$ ч; $t_{фр}=2$ ч.

Таблица 3.2

Коэффициенты A и B

H_0 , м	B	Значение коэффициентов при уклонах							
		$i=1 \cdot 10^{-4}$				$i=1 \cdot 10^{-3}$			
		A_h	B_h	A_v	B_v	A_h	B_h	A_v	B_v
20	1	100	90	9	7	40	10	16	21
40		280	150	20	9	110	30	32	24
80		720	286	39	12	300	60	62	29
20	0,5	128	204	11	11	56	51	18	38
40		340	332	19	14	124	89	32	44
80		844	588	34	17	310	166	61	52
20	0,25	140	192	8	21	40	38	15	43
40		220	388	13	21	108	74	30	50
80		880	780	23	21	316	146	61	65

2. Находим высоту h_b , м, и скорость V_b , м/с. водны прорыва (табл.3.2). Для $B=0,5$, $H_0=40$ м, $i_{гр} \cdot 10^{-3}$ определяем $A_h=124$, $B_h=89$, $A_v=32$. $B_v=44$.

$$h_e = \frac{124}{\sqrt{89 + 40}} = 11 \text{ м};$$

$$V_e = \frac{32}{\sqrt{44 - 40}} = 3,4 \text{ м/с.}$$

3. Вычисляем продолжительность затопления территории города и завода по формуле (3.3)

$$\tau_{\text{зам}} = \beta(t_{\text{сп}} - t_{\text{фр}}) \left(1 - \frac{h_M}{h}\right).$$

Таблица 3.3

Значение коэффициента β

$\frac{i \cdot L}{H_0}$	Высота плотины в долях от средней глубины реки в нижнем бьефе	
	$H_0 = 10h_0$	$H_0 = 20h_0$
0,05	15.5	18
0.1	14.0	16
0,2	12,5	14
0,4	11.0	12
0.8	9.5	10.8
1.6	8.3	9.9

Таблица 3.4

Характеристика разрушений от волны прорыва

Объект	Сильные разрушения		Средние разрушения		Слабые разрушения	
	$h_6, \text{м}$	$V_6, \text{м/с}$	$h_6, \text{м}$	$V_6, \text{м/с}$	$h_6, \text{м}$	$V_6, \text{м/с}$
Кирпичные здания	4	2,5	3	2	2	1
Корпус цеха	7,5	4	6	1...3	3	1,5
Пирс-	5	6	3	4	1,5	1
Плавучий док-	8	2	5	1,5	3	1,5
Плавучий кран	7	2	5	1,5	2,5	1,5
Суда до $h < 2 \text{ м}$	5	2	4	1,5	2	1,5

Для определения коэффициента β сначала находим

$$\frac{i \cdot L}{H_0} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10 / 40 = 1$$

для $H_0 = 10h_0$ и $\frac{i \cdot L}{H_0} = 1$ по табл. 3.3 определяем $\beta = 9$.

$$\tau_{\text{зам}} = 9(7 - 2) \left(1 - \frac{2}{11}\right) = 36 \text{ ч.}$$

4. Рассчитываем время полного затопления $\tau_{\text{пз}}$, ч:

$$\tau_{\text{пз}} = t_{\text{сп}} - t_{\text{фр}} = 7 - 2 = 5 \text{ ч.}$$

5. Определение степени поражения наземных и причальных сооружений производится по табл. 3.4.

Выводы. Высота волны прорыва 11 м производит полное разрушение зданий и сооружений в городе и на заводе.

Расчет зоны теплового воздействия при пожарах

При пожарах зона ЧС включает зону горения, теплового воздействия, зону задымления.

Зона горения - часть пространства, в которой образуется пламя или огненный шар из продуктов горения.

Зона теплового воздействия - часть пространства, примыкающего к зоне горения, в котором происходит воспламенение или изменение состояния материалов и конструкций и поражающее действие на незащищенных людей.

Размеры зоны теплового воздействия рассчитывают по соотношению, определяющему безопасное расстояние $R_{\text{без}}$ м, при заданном уровне интенсивности теплового излучения для человека, объекта, материала и т.д.

$$R_{\text{без}} = R^* \sqrt{\frac{\varphi \cdot Q_0}{I^*}}, \quad (4.1)$$

$$R_{\text{без}} = \sqrt{\frac{\alpha \cdot M \cdot Q_v}{2\pi I^* t_{\text{св}}}}, \quad (4.2)$$

где: φ - коэффициент, характеризующий геометрию очага горения: $\varphi = 0,2$ - если источник излучения (горения) плоский (разлив на поверхности земли или воды, нефти, бензина, ЛВЖ и др.); $\varphi = 0,08$ - если источник излучения объемный (горящее здание, резервуар); Q_0 - удельная теплота пожара, кДж/м²·с, т.е. количество тепла излучаемого с единицы площади пламени в единицу времени (табл. 4.1); Q_v - удельная теплота сгорания, кДж/кг, т.е. количество тепла, выделяемого при сгорании 1 кг горючего веществ; M - масса горючего вещества, кг; $t_{\text{св}}$ - время трения (свечения огненного шара), с; α - коэффициент, учитывающим долю энергии идущий лучистый теплообмен (для древесины $\alpha=0.4$, для нефтепродуктов $\alpha=0.6$); I^* - заданная интенсивность теплового излучения, кДж/м²·с – критерий поражения человека, воспламенения материала или их безопасности (табл. 4.2.); R^* - приведенный размер очага горения (пожара):

- для горящих зданий $R^* = \sqrt{S} = \sqrt{L \cdot h}$ (L - длина стены, h - высота дома), м;

- для штабелей пиленого леса $R^* = \sqrt{L \cdot (3/4) h_{\text{ш}}}$ ($h_{\text{ш}}$ - высота штабеля), м;

- при горении нефтепродуктов в резервуарах, ЛВЖ $R^* = D_{\text{рез}}$; горючие жидкости $R^*=0,8D_{\text{рез}}$. ($D_{\text{рез}}$ - диаметр резервуара), м;

- при разливе горючей жидкости $R^*=d$, d - диаметр разлития (свободное растекание), м;

$$R^* = d = \sqrt{25,5 \cdot V}, \quad (4.3)$$

где V - объем жидкости, м³;

- при разлитии в поддон $R^* = L_{\text{под}}$ - длина поддона, м.

Таблица 4.1

Теплотехнические характеристики веществ и материалов

Вещества, материалы	Скорость выгорания $V_{\text{выг}}$, кДж/м ² · с	Теплота сгорания Q_m , кДж/кг	Теплота пожара Q_0 , кДж/кг
Ацетон	0,047	$28,4 \cdot 10^3$	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
Метилловый спирт	0.04	$20,9 \cdot 10^3$	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
Ацетилен	-	$28,6 \cdot 10^3$	-

Примечание. $Q_0 = Q_m \cdot V_{\text{выг}}$.

Пример. Определить безопасные расстояния для человека и близстоящих деревянных зданий от горящего деревянного дома размером 30х20 м. Исходные данные: $Q_0=260$ кДж/м²с (дерево): $\varphi=0,08$; $I^*=1,25$ кДж м с для человека): $I^*=14$ кДж/м²с за 10 мин для древесины.

Таблица 4.2

Предельные (критические) значения теплового излучения для человека и материалов

Предельное значение I^* , кДж/м ² · с	Время в секундах до того как	
	начинаются болевые ощущения	появляются ожоги (покраснения, пузыри)
1	2	3
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 I^*	
17.5	возгорание древесины ($\varphi=15\%$) через $t=5$ мин	

1	2	3
14	возгорание древесины через $t=10$ мин	
35	возгорание горючих жидкостей веществ с $T_c=300$ °С (мазут, торф, масло) через $t=3$ мин	
41	возгорание ЛВЖ с $T_c>400$ °С (ацетон, бензол, спирт) через $t=3$ мин	

Решение:

1. Безопасное расстояние для человека составит (формула (4.1))

$$R_{\text{без}} = \sqrt{30 \cdot 20} \cdot \sqrt{\frac{0,08 \cdot 260}{1,26}} \cong 100 \text{ м}$$

2. Расстояние, на котором может произойти воспламенение дома

$$R = \sqrt{30 \cdot 20} \cdot \sqrt{\frac{0,08 \cdot 260}{14}} = 30 \text{ м}$$

На этом расстоянии воспламенение дома произойдет через 10 мин.

Практическая работа №5

Расчет теплового воздействия при горении ГВС

При возгорании облака ГВС образуется огненный шар с радиусом - $R_{\text{огн}}$ со временем свечения $t_{\text{св}}$ и интенсивностью теплового излучения I газовой смеси (метан, пропан, бутан, этилен и т.д.) с теплотой сгорания $Q_{\text{м}}=(40-50) \cdot 10^3$ кДж/кг эти параметры определяются по следующим формулам:

$$R_{\text{огн}} = 2,25 \cdot \sqrt[3]{M}, \text{ м}; \quad (5.1)$$

$$t_{\text{св}} = 2,76 \cdot \sqrt[3]{M}, \text{ с}; \quad (5.2)$$

$$I = \frac{133 \cdot \sqrt[3]{M^2}}{R^2}, \text{ кДж/м}^2 \text{ с}. \quad (5.3)$$

Формулы (5.1)-(5.3) справедливы для средней температуры ГВС 1350 К и сферического огненного шара. Преобразование соотношения (5.3) позволит определить радиус теплового воздействия огненного шара R , м:

$$R = \sqrt{\frac{133 \cdot M^{2/3}}{I^*}}, \quad (5.4)$$

где I^* - предельная интенсивность теплового излучения кДж/м² (табл. 4.2); M - масса ГВС, кг.

Величина безопасного (противопожарного) разрыва r , м, равна

$$r = \sqrt{\frac{I \cdot F_{\phi}}{\pi \cdot I^*}},$$

где I^* - интенсивность теплового излучения, кДж/м² с; F_{ϕ} - площадь факел-

ла пламени, м².

Пример. При аварии из железнодорожной цистерны выброшено 50 бугана. Определить зону теплового воздействия при возгорании об там ГВС.

Решение:

1. Находим время свечения облака ГВС

$$t_{св} = 2,76 \cdot \sqrt[3]{25000} = 80 \text{ с.}$$

2. Радиус зоны теплового воздействия при $I^* = 4,2 \text{ кДж/м}^2 \text{ с}$ (появляются у людей болевые ощущения)

$$R = \sqrt{\frac{133 \cdot 25000^{2/3}}{4,2}} = 160 \text{ м.}$$

При воздействии на человека теплового излучения более 20 с начинаются болевые ощущения и ожоги.

Практическая работа №6

Расчет зоны задымления при пожарах

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 (табл. 6.1).

Скорость дымообразования V_d кг/м³-с, равна скорости выгорания $V_{выг}$ (табл. 4.1) с учетом коэффициента дымообразования D_t и показателя токсичности дыма LC и определяется по формуле

$$V_o = V_{выг} \cdot D_m \cdot LC; \quad (6.1)$$

$$D_m = \frac{V}{l \cdot m} \cdot \ln \frac{E_0}{E_{\min}}, \quad (6.2)$$

где: V - объем пространства горения, м³; l - длина светового луча в дыму, м; m - масса сгоревшего материала, кг; E_0 , E_{\min} - освещенность участка горения без задымления и в дыму, лк.

Токсические вещества, выделяющиеся при задымлении

Токсическое вещество	Исходные материалы при пожаре	Смертельно опасные концентрации через 5-10 мин		опасные концентрации через 30 мин	
		%	мг/л	%	мг/л
Оксид углерода	Каучук, органическое стекло, винипласт-	0,5	6	0,2	2,4
Хлористый водород	Винипласт, каучук, пластикат	0,3	4,5	0,1	1,5
Фосген	Фторопласт	0,005	0,25	0,0026	0,1
Оксид азота	Нигрол, органическое стекло	0,05	1,0	0,01	0,2
Сероводород	Линолеум	0,08	1,1	0,04	0,6
Сернистый газ	Каучук, сера	0,3	8,0	0,04	1,1

Зона задымления при пожаре имеет форму трапеции (рис. 6.1)

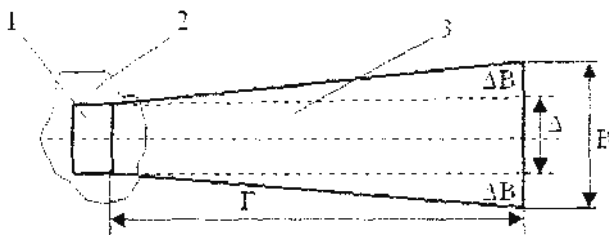


Рис. 6.1. Зоны поражающего воздействия на человека при пожаре: 1 - горящее сооружение; 2 - зона теплового воздействия; 3 - зона задымления, Г - ширина зоны горения, м

Глубину опасной по токсическому действию части зоны задымления Г. м. определяют по соотношению

$$Г = \frac{34,2}{K_1} \cdot \left[\frac{m(a+b)}{K_2 V_n D} \right]^{\frac{2}{3}}, \quad (6.3)$$

где: m - масса токсичных продуктов горения, кг; D - токсичная доза, мг·мин/л; V_n - скорость переноса дыма, равная $(1,5-2)V_B$, м/с; K_1 - коэффициент шероховатости поверхности: открытая поверхность (1; степная растительность, сельхозугодий - 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

$$B = \Delta + 2 \Delta B, \quad (6.4)$$

где: Δ - ширина зоны горения, м;

$\Delta B = 0,1Г$ - при устойчивом ветре (отклонения менее $\pm 6^\circ$);

$\Delta B = 0,4Г$ - при неустойчивом ветре (отклонения более 6°);

a , b - коэффициенты доли массы токсических продуктов в первичном и вторичном облаках (табл. 6.2). При пожаре коэффициенты a и b для всех АХОВ принимают значения: $a=1, b=0$.

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

Решение:

1. Выбираем значения показателей, входящих в формулу (6.2):

$D_{\text{пор}}=0,6 \text{ мг} \cdot \text{мин/л}$; $D_{\text{см}}=6 \text{ мг} \cdot \text{мин/л}$; $a=1$; $K_1=3,3$; $K_2=1$; $V_n=1,5 \text{ м/с}$.

2. Определяем глубину токсического задымления:

$$L = \frac{34,2}{3,3} \cdot \left[\frac{300(1+0)}{1 \cdot 1,5 \cdot 0,6} \right]^{\frac{2}{3}} \cong 487 \text{ м}$$

$$L = \frac{34,2}{3,3} \cdot \left[\frac{3000(1+0)}{1 \cdot 1,5 \cdot 6} \right]^{\frac{2}{3}} \cong 110 \text{ м}$$

Таблица 6.2

Значения токсодоз и коэффициентов a и b

АХОВ	Токсическая доза, мг мин/л		Коэффициенты	
	смертельная	пороговая	a	b
Аммиак	60	18	0,2	0,15
Двуоксид хлора	0,6	0,06	0,07	0,15
Оксид углерода	60	25	1,0	
Оксид азота	3	1,5	0	0,03
Сернистый ангидрид	70	1,8	0,2	0,15
Синильная кислота	2	0,2	0	0,03
Фосген	6	6,2	0,07	0,15
Фурфурол	22,5	1,5	0	0,03
Фенол	22,5	1,5	0	0,03
Формалин	22,5	1,5	0	0,03
Хлор	6,0	0,6	0,2	0,15

II. Расчет зо ЧС техногенного характера

Практическая работа №7

Расчет зоны ЧС при взрыве конденсированных взрывчатых веществ (ВВ)

Расчет зоны ЧС сводится к определению ее размеров, степени поражения людей и разрушения объектов.

Конденсированные ВВ имеют плотность от $1,30 \cdot 10^3$ до $4,43 \cdot 10^3$ кг/м³ и содержат в своем составе количество кислорода, достаточное для осуществления взрывной реакции. Различают индивидуальные ВВ и их смеси (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Основные свойства конденсированных ВВ

Взрывчатое вещество	Удельная теплота взрыва Q_m , кДж/кг	Удельный тротильный эквивалента; кг	Плотность ρ , г/см ³	Плотность энергосодержания ρ_{Σ} , ГДж/м ³	Скорость детонации V_d км/с	Давление детонаций P_d , ГПа	ρ_0/P_d
Индивидуальные							
Тринитротолуол-тротил (ТНТ)	4520	1,0	1,60	7,232	6,73	21,0	0,344
Гексоген	5360	1,185	1,65	8,844	8,70	34,0	0,260
Октоген	5680	1,256	1,90	10,792	9,11	38,7	0,279
Нитроглицерин (только в смеси)	6700	1,481	Г,59	10,653	-	-	-
Тетрил	4520	1,0	1,73	7,82	7,85	26,0	0,301
Гремучая ртуть - инициированное ВВ	1790	0,395	4,43	7,93	5,40	-	-
Смеси							
Амматол	2650	0,586	1,60	4,24	5,20	-	-
Торпекс	7540	1,67	-	-	-	-	-
Нитроглицериновый динамит 60 %-ный	2710	0,6	-	-	-	-	-
Пластическое ВВ	4520	1	-	-	-	-	-

Главной характеристикой ВВ является теплота взрыва (Q_m) - количество энергии, выделяемое при взрыве 1 кг ВВ, кДж/кг.

Взрывы конденсированных ВВ протекают в режиме детонации.

Расчет зоны ЧС при взрыве КВВ производится в следующей последовательности.

1. Избыточное давление при взрыве заряда ВВ на поверхности земли определяется по формуле М.А. Садовского

$$\Delta P_{\phi} = 95 \frac{\sqrt[3]{G}}{R} + 390 \frac{\sqrt[3]{G^2}}{R^2} + 1300 \frac{G}{R^3}, \quad (7.1)$$

где ΔP_{ϕ} - избыточное давление, кПа; G - масса тротилового заряда, кг; R - расстояние от центра взрыва до объекта, м.

Примечание. 1. Формула (7.1) справедлива для наземного взрыва и воздушного при $R > 8H$. H - высота взрыва, м.

2. Для взрыва любого ВВ (кроме тротила) G определяют по формуле: $G = aM_{\text{ВВ}}$, a - удельный тротильный эквивалент; $M_{\text{ВВ}}$ - масса взрывчатого вещества. Величину G называют также тротильным эквивалентом.

Зона ЧС при взрывах ограничивается $\Delta P_{\phi} < 10$ кПа.

Разрешая формулу (7.1) относительно R и представляя ее в виде $R = f(\Delta P_{\phi}, G)$ получим соотношение

$$R = x \cdot \sqrt[3]{G}$$

где x - параметр уровня поражения (без учета влияния подстилающей поверхности): $x=4,7$ ($\Delta P_{\phi}=50$ кПа) - полные разрушения; $x=6,4$ ($\Delta P_{\phi}=30$ кПа) - сильные разрушения; $x=8,2$ ($\Delta P_{\phi}=20$ кПа) - средние разрушения; $x=13,5$ ($\Delta P_{\phi}=10$ кПа) - слабые разрушения.

2. Степень поражения объекта экономики (ОЭ) определяется по формуле

$$D = \frac{S_{\text{зчс}}}{S_{\text{оэ}}} \cdot 100\%, \quad (7.2)$$

где $S_{\text{зчс}}$ - площадь зоны ЧС, км²; $S_{\text{оэ}}$ - площадь объекта экономики, км². Восстановление объекта экономики целесообразно, если слабые и средние разрушения зданий и сооружений не превышают 40 %, а сильных и полных разрушений нет.

3. По табл. 7.2 определяем степень поражения ударной волной незащищенных людей.

Таблица 7.2

Степень поражения людей

ΔP_{ϕ} , кПа	Степень поражения
1	2
>100	Смертельные (безвозвратные)
60-100	Тяжелые поражения (контузии)
40-60	Средние поражения (кровотечения, вывихи, сотрясения мозга)

1	2
10-40	Легкие поражения (ушибы, потеря слуха)
<10	Безопасное расстояние

4. Число безвозвратных потерь при взрывах в населенных пунктах (городах) можно оценить по формуле

$$N_{\text{без}} = P \cdot G^{0,666}, \quad (7.3)$$

где $N_{\text{без}}$ - число безвозвратных потерь, чел.; P - плотность населения или промышленного объекта, тыс.чел/км²; G - тротилловый эквивалент, т.

Санитарные потери определяются по формуле

$$N_{\text{сан}} = 3 + 4 \cdot N_{\text{без}}.$$

5. По табл. 7.3 определяется степень разрушения элементов инженерно-технического комплекса (ИТК).

Слабые разрушения - повреждения или разрушения крыш и оконных и дверных проемов. Ущерб - 10-15 % от стоимости зданий.

Средние разрушения - разрушение крыш, окон, перегородок, чердачных перекрытий, верхних этажей. Ущерб - 30-40 %.

Сильные разрушения - разрушения несущих конструкций и перекрытий. Ущерб - 50 %. Ремонт нецелесообразен.

Полное разрушение - обрушение зданий.

Таблица 7.3

Степень разрушения объектов (зданий, сооружений, транспорта) в зависимости от избыточного давления ($\Delta P_{\text{ф}}$, кПа)

Элементы ИТК	Степень разрушения		
	сильная	средняя	слабая
Цех с легким металлическим каркасом	50-30	30-20	20-10
Кирпичные здания	30-20	20-12	2-8
Цистерны ж/д	90-60	60-40	40-20
Грузовая машина	>50	50-40	40-20
ЛЭП	120-80	80-50	50-20
Трубопроводы наземные	>130	130-50	50-20
» на эстакаде	50-40	40-30	30-20
Резервуары ГСМ:			
наземные	100-50	50-30	30-10
подземные	200-100	100-50	50-30
ТЭС	25-20	20-15	15-10
Водонапорная башня	60-40	40-20	20-10
Деревянные дома	30-20	20-10	<10

6. Для оперативных расчётов радиусов зон полных, сильных, средних, слабых разрушений (с учетом влияния подстилающей поверхности) можно использовать зависимости:

- радиус зоны полных разрушений $R_{\text{п.р}}$, м:

$$R_{н.р} = 3,1\sqrt[3]{G} \quad (7.4)$$

- радиус зоны сильных разрушений $R_{с.р}$, м:

$$R_{с.р} = 4,2\sqrt[3]{G} \quad (7.5)$$

- радиус зоны средних разрушений $R_{ср.р}$, м:

$$R_{ср.р} = 3,1\sqrt[3]{G} \quad (7.6)$$

- радиус зоны слабых разрушений $R_{сл.р}$, м:

$$R_{сл.р} = 8,3\sqrt[3]{G} \quad (7.7)$$

При этом

$$G = 2 \cdot k \cdot \alpha \cdot M_{BB}, \quad (7.8)$$

где k - коэффициент, учитывающий свойства подстилающей поверхности в районе взрыва (ж/б плита - 0,95, бетон - 0,85, плотный грунт - 0,7; средний грунт - 0,65); α - удельный тротиловый эквивалент (табл. 7.1); M_{BB} - масса ВВ (ГВС), кг.

7. Возможные потери людей в зоне ЧС определяются как математическое ожидание (МО), равное сумме потерь персонала объекта в зависимости от степени его защищенности

$$МО = \sum_{i=1}^n N_i \cdot C_i, \quad (7.9)$$

где N_i - количество людей в здании, чел; C_i - процент потерь (табл. 7.4); n - число зданий на объекте.

8. Расчет зоны ЧС при взрывах малой мощности ($G < 10$ т) производится по формуле

$$R = \frac{x \cdot \sqrt[3]{G}}{\left[1 + \left(\frac{7000}{G}\right)^2\right]^{1/6}}, \quad (7.10)$$

$$\text{где } x = \begin{cases} 4,7(\Delta P_{\phi} = 50 \text{ кПа}) - \text{для полных разрушений;} \\ 6,4(\Delta P_{\phi} = 30 \text{ кПа}) - \text{для сильных разрушений;} \\ 8,2(\Delta P_{\phi} = 20 \text{ кПа}) - \text{для средних разрушений;} \\ 13,5(\Delta P_{\phi} = 10 \text{ кПа}) - \text{для слабых разрушений.} \end{cases}; \quad G - \text{тротиловый}$$

эквивалент, кг.

Потери рабочих и служащих на ОЭ(%)

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

9. Основные мероприятия по защите населения:

- оказать первую медицинскую помощь;
- при крайней необходимости эвакуировать.

Задание. На ЦЗ, площадью 54 га, произошел диверсионный взрыв гексогена массой $(50+2n)$ т - группа БЖ-51; октогена массой $(100+3n)$ т - группа БЖ-52, где n - номер студента по журналу. Грунт в районе ЦЗ и города - плотный. На $R=100$ м от ЦЗ расположены жилые кварталы с многоэтажными зданиями: $(1200+20n)$ чел - БЖ-51; $(1000+50 n)$ чел.- БЖ-52. На заводе работает $(850+10n)$ чел. Плотность населения в городе 3 тыс. чел./км². Место взрыва студент выбирает самостоятельно.

Определить степень опасности для ЦЗ и города при взрыве КВВ:

1. Провести зонирование ЦЗ по ΔP_{ϕ} , выделив зоны полных, сильных, средних и слабых разрушений.

2. Рассчитать потери персонала.

3. Вычислить площадь зоны ЧС

$$S_{\text{зчс}} = \pi \cdot R_{\text{зчс}}^2$$

где $R_{\text{зчс}}$ - радиус зоны слабых разрушений ($\Delta P_{\phi} \approx 10$ кПа).

4. Определить степень разрушения ЦЗ

$$D = \frac{S_{\text{зчс}}}{S_{\text{оэ}}} \cdot 100\%.$$

5. Рассчитать и представить в табличной форме и на плане условными знаками степени разрушений элементов ИТК.

6. Составить графические зависимости радиусов зон полных, сильных, средних, слабых разрушений от мощности взрыва для двух КВВ.

7. Найти количество КВВ, при взрыве которого ЦЗ может быть восстановлен.

Расчет зоны ЧС при взрыве емкости, находящейся под давлением газа (пара)

Взрыв емкостей, находящихся под давлением относится к группе физических взрывов, при которых разрушение емкости сопровождается быстрым расширением газа и образованием ударной волны и поля осколков. Наиболее частые причины - падение резервуара, разрывы швов.

1. Энергия взрыва определяется по формуле E , Дж:

$$E = \frac{P_r \cdot V_0}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{P_0}{P_r} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right], \quad (8.1)$$

где P_r - давление газа в емкости, Па; P_0 - атмосферное давление, Па; V_0 - объем емкости, м³; γ - значения показателя адиабаты (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Значения показателя адиабаты некоторых газов

Газ, среда	$\gamma = C_p/C_v$	Газ, среда	$\gamma = C_p/C_v$
Воздух, водород, оксид углерода, азот, кислород	1,4	Ацетилен	1,24
Метан, углекислый газ	1,3	Хлор	1,36
Пары воды	1,135	Сернистый газ	1,29
Аргон, гелий	1,67	Сероводород	1,34

2. Определяем (с учетом соотношения $E_{уд.в} = 0,6E$ массу эквивалентного заряда G , кг:

$$G = \frac{0.6E}{Q_{тнт}}. \quad (8.2)$$

3. Избыточное давление во фронте ударной волны на расстоянии R определяется по формуле М.А. Садовского

$$\Delta P_\phi = 95 \frac{\sqrt[3]{G}}{R} + 390 \frac{\sqrt[3]{G^2}}{R^2} + 1300 \frac{G}{R^3}, \quad (8,3)$$

где ΔP_ϕ - избыточное давление, кПа; G - масса тротилового заряда (тротил - тротил - тротил), кг; R - расстояние от центра взрыва до объекта, м.

4. Сравнивая полученные значения ΔP_ϕ с табличными, находим поражающее действие ударной волны.

5. Расчет поля осколков производится аналогично расчетам при взрывах ГВС, ТВС, ПВС по следующим формулам:

$$L_{\max} = \frac{V_0^2}{g}, \quad L_x = 238 \sqrt[3]{G}; \quad (8.4)$$

$$\frac{1}{2} M_0 \cdot V_0^2 = E_{оск} = 0,2E, (0,2=0,5 \cdot 0,4). \quad (8.5)$$

Масса цилиндрического резервуара $M_{ц}$

$$M_{ц} = \pi \cdot \rho \cdot h \cdot (r^2 - r_1^2) + 2\pi \cdot r_1^2 \cdot \rho \cdot \delta. \quad (8.6)$$

Масса шарового резервуара $M_{ш}$

$$M_{ш} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (r^3 - r_1^3) \cdot \rho. \quad (8.6)$$

Объемы соответственно равны

$$V_{ц} = \pi \cdot r_1^2 \cdot (h - 2\delta); V_{ш} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_1^3 \quad (8.6)$$

где ρ - плотность железа (металла), $\rho=7,8 \text{ г/см}^3$; δ - толщина оболочки, см; r и r_1 - внешний и внутренний радиусы резервуара, см; h - длина цилиндрического резервуара, см.

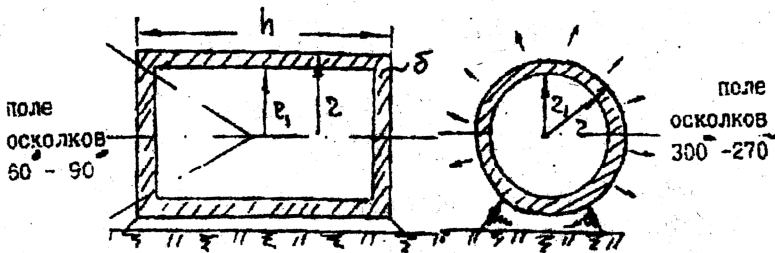


Рис. 8.1. Схема сечений цилиндрического и шарового резервуаров для расчета их объемов

Пример. Определить степень разрушения деревянных, многоэтажных кирпичных зданий и поражение людей на $R=100 \text{ м}$ при взрыве варочного котла на ЦБК $V=320 \text{ м}^3$, $\sigma_r=22 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $P_0=10^5 \text{ Па}$, $\rho=7,8 \text{ г/см}^3$ - плотность железа, размеры котла $h=11,3 \text{ м}$, $r=3 \text{ м}$, $\delta=2 \text{ см}$, $\gamma=1,135$.

Решение:

1. Определяем энергию взрыва:

$$E = \frac{P_r \cdot V_0}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{P_0}{P_r} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] = \frac{22 \cdot 10^5 \cdot 320}{1,135 - 1} \left[1 - \left(\frac{10^5}{22 \cdot 10^5} \right)^{\frac{1,135-1}{1,135}} \right] = 16,21 \cdot 10^8 \text{ Дж.}$$

2. Рассчитываем массу эквивалентного заряда:

$$G = \frac{0,6 \cdot E}{Q_{гнт}} = \frac{0,6 \cdot 16,2 \cdot 10^8 \text{ Дж}}{4,52 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}} = 216 \text{ кг}$$

3. Вычисляем избыточное давление во фронте ударной волны на расстоянии $R=100 \text{ м}$

$$\Delta P_{\phi} = 95 \cdot \frac{\sqrt[3]{216}}{100} + 390 \cdot \frac{\sqrt[3]{216^2}}{100^2} + 1300 \cdot \frac{216}{100^3} = 7,4 \text{ кПа}$$

Деревянные дома получают слабые разрушения, люди на открытой местности в безопасности.

4. Определяем дальность разлета осколков

$$L_X = 238 \cdot \sqrt[3]{G} = 238 \cdot \sqrt[3]{216} = 1428 \text{ м};$$

$$0,2 \cdot E = \frac{1}{2} M_0 V_0^2,$$

где $0,2E$ – энергия, идущая на разлет осколков.

Масса цилиндрического резервуара

$$\begin{aligned} M_u &= \pi \cdot \rho \cdot h \cdot (r^2 - r_1^2) + 2 \cdot \pi \cdot r_1^2 \cdot \rho \cdot \delta = \\ &= 3,14 \cdot 7,8 \cdot 1130 \cdot (300^2 - 298^2) + 2 \cdot 3,14 \cdot 298^2 \cdot 7,8 \cdot 2 = 41800 \text{ кг}; \end{aligned}$$

$$V_0^2 = \frac{0,2 \cdot E}{1 \cdot 2 \cdot M_0} = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 16,2 \cdot 10^8}{41800} = 15500 \text{ м}^2\text{с}^2;$$

$$L_{\max} = \frac{V_0^2}{g} = \frac{15500}{9,81} \cong 1580 \text{ м (в безвоздушном пространстве)}.$$

Выбираем радиус разлета осколков $L_X < Z_{\max} = 1428 \text{ м}$.

Задание. Определить степень разрушения ЦЗ и поражения людей при взрыве варочного котла на котельной. Объем котла $V=(300+n) \text{ м}^3$, $\rho_{\text{жел}}=7,8 \text{ г/см}^3$, $P_r=2500000 \text{ Па}$, $P_0=10^5 \text{ Па}$, размеры котла: $h=(15+0,2n) \text{ м}$, $r=(3,0+0,2n) \text{ м}$, $\delta=(2+0,005n) \text{ см}$, $\gamma=1,35$.

Практическая работа № 9

Расчет зоны ЧС при взрыве пылевоздушной смеси (ПВС) в открытом пространстве и в помещении

Взрыв пыли возможен при концентрации пыли выше НКП (нижнего концентрационного предела). Взрывы пыли происходят при разгрузке железнодорожных платформ с каменным углем, торфом, загрузке элеваторов мукой, накоплении пыли при деревообработке. Возможность взрыва определяется размером частиц ($d < 100 \text{ мкм}$) и наличием нижнего концентрационного предела воспламенения (взрываемости)

$$\text{НКП} = \frac{800}{Q_m}, \quad (9.1)$$

где Q_m - удельная теплота сгорания пыли, кДж/кг (табл. 9.1).

Характеристики взрыва некоторых ПВС

Наименование пыли	P_{\max} , кПа	Q_m , кДж/кг $\times 10^{-3}$	НКП, кг/м ³
Антрацитовая	620	32-36	0,023
Торфяная	500	10,5	0,08
Печная (сажа)	480	15,7-28,4	0,04
Мучная	710	16,8	0,047
Древесная сосновая	620	15,4	0,053
» еловая	620	20,4	0,038
Сера	540	111	0,007
Сахар	640	80	0,01

Взрыв пыли в открытом пространстве (в воздухе) оценивается в следующем порядке:

1. Определяем тротильный эквивалент взрыва пыли по формуле

$$G = \frac{M \cdot Q_m}{Q_{\text{ТНТ}}}, \quad (9.2)$$

где M - масса пыли, кг; z - коэффициент участия пыли во взрыве ($z=0,02-0,1$); Q_m - удельная теплота сгорания пыли, кДж/кг; $Q_{\text{ТНТ}}$ - удельная теплота сгорания тротила, кДж/кг.

2. Вычисляем избыточное давление во фронте ударной волны при взрыве пыли (по формуле М.А. Садовского)

$$\Delta P_{\phi} = 95 \frac{\sqrt[3]{G}}{R} + 390 \frac{\sqrt[3]{G^2}}{R^2} + 1300 \frac{G}{R^3}, \quad (17.21)$$

где ΔP_{ϕ} - избыточное давление, кПа; G - эквивалентная масса (ТНТ), кг; R - расстояние от места взрыва, м.

3. Находим возможные поражения людей, степени разрушения зданий, сооружений, используя табл. 9.2, 9.3, 9.4.

Таблица 9.2

Степень поражения людей

ΔP_{ϕ} , кПа	Степень поражения
>100	Смертельные (безвозвратные)
60-100	Тяжелые повреждения
40-60	Средние повреждения (кровотечение, вывихи, сотрясение мозга)
10-40	Легкие повреждения (ушибы, потеря слуха)
<10	Безопасное

Таблица 9.3

**Степень разрушения объектов (зданий, сооружений, транспорта)
в зависимости от избыточного давления ΔP_{ϕ} , кПа**

Элементы НТК	Степень разрушения		
	сильная	средняя	слабая
Цех с металлическим каркасом	50-30	30-20	20-10
Кирпичные здания	30-20	20-12	12-8
Цистерны ж/д	90-60	60-40	40-20
Грузовая машина	>50	50-40	40-20
ЛЭП	120-80	70-50	40-20
Трубопроводы наземные	>130	130-50	50-20
» на эстакаде	50-40	40-30	30-20
Резервуары ГСМ наземные	100-50	50-30	30-10
» подземные	200-100	100-50	50-30
ТЭС	25-20	20-15	15-10
Водонапорная башня	60-40	40-20	20-10
Деревянные дома	30-20	20-10	10

Таблица 9.4

Потери персонала ОЭ, %

Степень разрушения зданий	Степень защищенности персонала					
	Незащищен		В зданиях		ВЗС	
	Общие	Санитарные	Общие	Санитарные	Общие	Санитарные
Слабая	8	3	1,2	0,4	0,3	0,1
Средняя	12	9	3,5	1,0	1,0	0,3
Сильная	80	25	30	10	2,5	0,8
Полная	100	30	40	15	7,0	2,5

Наиболее мощный взрыв наблюдается при значениях НКП = 3-4 %.

Взрыв пылев замкнутом пространстве (в помещении) оценивается в следующем порядке:

1. Определяем критическую массу пыли, при которой возможен взрыв

$$M_{кр} = НКП \cdot V_{св}, \quad (9.4)$$

где НКП - нижний концентрационный предел взрываемости, кг/м³; $V_{св}$ - свободный объем помещения, м³.

2. Вычисляем время накопления взрывоопасного, количества пыли

$$t_{эзо} = \frac{M_{кр}}{m_0}, \quad (9.5)$$

где $t_{эзо}$ - время накопления взрывоопасного количества пыли, сут; m_0 - масса пыли, выделяемая за сутки, кг.

3. Рассчитываем избыточное давление ΔP_{ϕ} в помещении цеха при

взрыве ПВС по формуле

$$\Delta P_{\phi} = \frac{zMQ_mP_0}{\rho V_{св}T_0C_p}, \quad (9.6)$$

где z - коэффициент участия пыли во взрыве (в помещении $z=0,5$); M - масса пыли, кг; Q_m - удельная теплота взрыва пыли, кДж/кг; P_0 - атмосферное давление, кПа; ρ - плотность воздуха до взрыва при T_0 , $\rho = 1,22 \div 1,25$ кг/м³; $V_{св}$ - свободный объем помещения, м³; T_0 - температура воздуха в помещении до взрыва, К°; C_p - теплоемкость воздуха, $C_p = 1,01$ кДж/кг.

Для значений $z=0,5$ и $t=20$ °С формула (17.24) упрощается

$$\Delta P_{\phi} = 14,0 \cdot \frac{MQ_m}{V_{св}T_0}. \quad (17.25)$$

4. Радиус разброса ПВС в помещении R_0 , м, рассчитывается по соотношению

$$R_0 = \sqrt[3]{\frac{3V_0}{2\pi}}. \quad (17.26)$$

Примечание: 1. Взрыв в помещении возможен только при значении фактической плотности вещества в воздухе больше НКП ($\rho_{\phi} > \text{НКП}$).

2. Если при взрыве в помещении $\Delta P_{\phi} > 30$ кПа, то помещение, как правило, разрушается (частично или полностью).

3. Свободный объем помещения составляет 80 % от общего объема V_0 .

4. Наиболее мощный взрыв пыли может наблюдаться при значениях НКП=3-4.

Задание. На расстоянии R от цементного завода находится деревообрабатывающий комбинат (ДОК). В открытом цехе деревообработки образовалось M , т, пыли. В закрытом цехе производства ДСП объемом $V_0=5000$ м³ при работающей вытяжке в сутки накапливается m , г, еловой пыли.

Определить:

1. Возможные последствия взрыва пыли при возникновении искры в цехе деревообработки.

2. Время накопления взрывоопасной концентрации пыли и последствия ее взрыва в цехе ДСП при $t=20$ °С.

3. Построить и сравнить зависимости изменения избыточного давления от расстояния при взрыве пыли в открытом пространстве и в помещении.

4. Сделать выводы по оценке обстановки на ЦЗ при взрывах на ДО-

Практическая работа №10

Расчет зоны ЧС при взрыве газовоздушных, топливовоздушных (ГВС, ТВС) смесей в открытом пространстве

Характерными особенностями взрывов ГВС, ТВС являются:

1. Возникновение разных типов взрывов: детонационного, дефлаграционного или комбинированного. Комбинированный взрыв наиболее распространен.

2. При взрывах образуется пять зон поражения: бризантная (детонационная), действия продуктов взрыва (огненного шара), действия ударной волны, теплового поражения и токсического задымления.

3. Зависимость мощности взрыва от параметров среды, в которой происходит взрыв (температура, скорость ветра, плотность застройки, рельеф местности).

4. Для реализации комбинированного или детонационного взрыва для ГВС и ТВС обязательным условием является создание концентрации продукта в воздухе в пределах нижнего и верхнего концентрационного предела (НКП, ВКП).

Примечание. Дефлаграция - взрывное горение с дозвуковой скоростью. Детонация - процесс взрывчатого превращения вещества со сверхзвуковой скоростью.

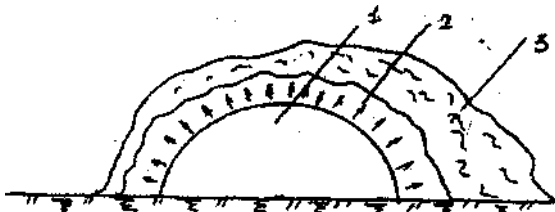


Рис. 10.1. Схема взрыва ГВС, ТВС: 1 - фронт детонационной волны; 2 - огненный шар; 3 - облако дыма

Определяем параметры поражающих факторов зон ЧС.

1. Зона бризантного действия (I зона):

Радиус зоны бризантного действия взрыва R_1 , м:

$$R_1 = 1,75 \cdot \sqrt[3]{M}, \quad (10.1)$$

где M - масса ГВС, ТВС в резервуаре, кг. За M принимается 50 % вместимости резервуара при одиночном хранении и 90 % - при групповом.

Избыточное давление во фронте ударной волны в пределах I зоны $\Delta P_\phi = 1750$ кПа.

2. Зона огненного шара (II зона):

Радиус зоны действия продуктов взрыва - радиус огненного шара объемного взрыва $R_{ои}$:

$$R_{ои} = R_2 = 1,7 \cdot R_1. \quad (10.2)$$

Избыточное давление в зоне разлета продуктов взрыва (на границе огненного шара) определяется по формуле

$$\Delta P_\phi = 1300 \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^3 + 50. \quad (10.3)$$

3. Зона действия ударной волны (III зона):

Избыточное давление в зоне действия воздушной ударной волны ($R_3 = 1,7 \cdot R_1$) вычисляем по формуле

$$\Delta P_\phi = \frac{233}{\sqrt{1 + 0,41(R_3/R_1)^3 - 1}}. \quad (10.4)$$

Радиусы зон полных ($\Delta P_\phi = 50$ кПа), сильных ($\Delta P_\phi = 30$ кПа), средних ($\Delta P_\phi = 20$ кПа), слабых ($\Delta P_\phi = 10$ кПа) разрушений находим по зависимости

$$R_3 = R_1 \sqrt[3]{\frac{(233/\Delta P_\phi + 1)^2 - 1}{0,41}}. \quad (10.5)$$

Интенсивность теплового излучения взрыва ГВС, ТВС на расстоянии R_3 рассчитываем по зависимости

$$J = Q_0 \cdot F \cdot T, \quad (10.6)$$

где J - интенсивность излучения, кДж/м²с; Q_0 - удельная теплота пожара, кДж/м²с; T - прозрачность воздуха

$$T = 1 - 0,058 \cdot \ln R_3;$$

F - угловой коэффициент, характеризующий взаимное расположение источника и объекта

$$F = \frac{R_2^2 R_3}{\sqrt{(R_2^2 + R_3^2)^3}}.$$

Продолжительность существования огненного шара $t_{св}$, с, определяем по формуле

$$t_{св} \cong (0,45 \div 0,85) \cdot \sqrt[3]{M} \quad (10.7)$$

где M - масса ГВС (ТВС), кг.

Тепловой импульс U , кДж/м², находим по формуле

$$U = I \cdot t_{св}. \quad (10.8)$$

4. Рассчитываем безвозвратные потери людей от воздействия удар-

ной волны

$$N_{cm} = 3 \cdot P \cdot M^{0,666}, \quad (10.9)$$

где M - масса ГВС (ТВС), т; P - плотность населения, тыс. чел/ км².

5. Определяем поражающее действие ударной волны и теплового импульса, сравнивая вычисленные значения ΔP_ϕ и U с табличными.

6. Выбираем основные мероприятия по защите:

- заглубление, обваловка емкостей с газами, топливом;
- установка противопожарных стен, перегородок и т.д.;
- расположение складов за пределами зон ЧС ($\Delta P_\phi < 10$ кПа, $U < 100$ кДж/м²);
- соблюдение правил пожаро- и взрывобезопасности.

Практическая работа №11 Взрывы ГВС и ТВС в помещении

В помещениях взрывоопасных объектов (цеха деревообработки, лакокраски, складах топлива, котельных, элеваторах, печных трубах) возможны взрывы и взрывное дефлаграционное горение, т.е. горение с дозвуковой скоростью распространения пламени при повышении давления во всем объеме, поскольку границы помещения не дают возможности расширяться продуктам горения.

1. Избыточное давление взрыва для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов C, H, N, Cl, Br, I, F определяется по формуле

$$\Delta P_{\max} = (P_{\max} - P_0) \frac{100M \cdot z}{C_{cmx} \cdot V_{cv} \cdot \rho_{n(z)} \cdot \varphi}, \quad (11.1)$$

где P_{\max} - максимальное давление взрыва стехиометрической ГВС, ТВС в замкнутом объеме, определяется по формуле или по справочникам. Если данные отсутствуют, то $P_{\max} \approx 900$ кПа; P_0 - начальное давление в помещении, кПа (принимают $P_0 = 101$ кПа); M - масса ГВС, выделившаяся в помещении в результате аварии, кг; z - коэффициент участия горючего вещества во взрыве в помещении, равный: 0,5 - для горючих газов, промышленной пыли; 0,3 - для ЛВЖ и горючих жидкостей, нагретых до температуры вспышки и выше и при температуре ниже температуры вспышки при образовании аэрозоля; V_{cv} - свободный объем помещения, м³; $\rho_{n(z)}$ - плотность пара (газа) при P_0 , кг/м³, определяемая по формуле

$$\rho_{n(z)} = \frac{12,15 \cdot M_B}{t_B + 273},$$

где M_B - молярная масса вещества; t_B - температура воздуха в помеще-

нии, °С; φ - коэффициент негерметичности помещения и неадиабатичности процесса горения, равный 3; $c_{смх}$ - стехиометрическая концентрация газов или паров, определяемая по формуле

$$c_{смх} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta}$$

где β - стехиометрический коэффициент кислорода в уравнении реакции горения, равный

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_{\Gamma}}{4} - \frac{n_o}{2}$$

($n_c, n_H, n_{\Gamma}, n_o$ - число атомов С, Н, О и галогенов в молекуле горючего).

Примечание. Стехиометрической смесью называют оптимальный состав, в котором количество компонентов соответствует формуле химической реакции горения.

В реальных условиях для оперативных расчетов целесообразно использовать соотношение

$$\Delta P_{\max} = \frac{z \cdot M \cdot Q_m \cdot P_0}{\varphi \cdot \rho \cdot V_{св} \cdot T_0 \cdot C_p}, \quad (11.2)$$

где T_0 - температура воздуха в помещении до взрыва, К; Q_m - удельная теплота взрыва ТВС, ПГВС, кДж/кг (табл. 17.36); C_p - теплоемкость воздуха, $C_p = 1,01$ кДж/кг. К; ρ_e - плотность воздуха до взрыва при T_0 , кг/м³ ($\rho_e = 1,20 \div 1,25$ кг/м³); φ - коэффициент негерметичности помещения и неадиабатичности процесса горения, равный 2-3. Для горючих газов с $z=0,5$ и $t=20$ °С формула (17.37) упрощается

$$\Delta P_{\max} = 14,0 \cdot \frac{M \cdot Q_m}{V_{св} \cdot T_0}. \quad (11.3)$$

Таблица 11.1

Характеристики некоторых ГВС и ТВС

Вещество	Формула	Q_m кДж/кг х 10 ⁻³	Пределы взрываемости	
			НКП/ВКП, %	НКП/ВКП, кг/м ³
1	2	3	4	5
Аммиак	NH ₃	16,6	15,0/18,0	0,11/0,28
Ацетон	C ₃ H ₆ O	28,6	2,2/13,0	0,052/0,31
Ацетилен	C ₂ H ₂	48,3	2,0/81,0	0,021/0,86
Бензол	C ₆ H ₆	40,6	1,4/7,1	0,045/0,23
Бензин	Смесь паров	46,2	1,2/7,0	0,04/0,22
Водород	H ₂	120	4,0/75,0	0,0033/0,062
Метан	CH ₄	50	5,0/15,0	0,033/0,1
Метиловый спирт	CH ₃ OH	20,9	5,0/34,7	0,092/0,47
Оксид углерода	CO	13	12,05/74,0	0,14/0,85

1	2	3	4	5
Пропан	C_3H_8	46,4	2,1/9,5	0,038/0,18
Этилен	C_2H_4	47,2	3,0/32,0	0,034/0,37
Этиловый спирт	C_2H_5OH	33,8	3,6/19,0	0,068/0,34

2. Радиус разброса ГВС, ТВС, ПВС в помещении R_0 , м, рассчитывается по соотношению

$$R_0 = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V_0}{2\pi}}. \quad (11.4)$$

Пример. Определить максимальное и избыточное давления в помещении при взрыве ГВС, состоящей из метана (CH_4). $Q_m = 50 \cdot 10^6$ Дж/кг, свободный объем помещения $V_{св} = 2000$ м³, масса метана 10 кг, $t = 20$ °С.

Решение:

1. Максимальное давление взрыва принимаем $P_{\max} = 900$ кПа.

2. Определяем плотность метано-воздушной смеси:

$$\rho_r = 12,15 \frac{M_B}{t_B + 273} = 12,15 \frac{16}{20 + 273} = 0,7 \text{ кг/м}^3.$$

3. Вычисляем стехиометрическую концентрацию газа

$$c_{смх} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 2} = 10 \%$$

4. Находим избыточное давление в помещении после взрыва ГВС метана

$$\Delta P_{\max} = (900 - 101) \cdot \frac{100 \cdot 10 \cdot 0,5}{2000 \cdot 10 \cdot 0,7 \cdot 3} = 9,51 \text{ кПа}.$$

5. Радиус разброса смеси продуктов взрыва в цехе

$$R_0 = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V_0}{2\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 2000}{2 \cdot 3,14}} \cong 9,85 \text{ м}$$

Выводы. В помещении в результате взрыва ГВС разрушится остекление, возможны поражения людей (механические травмы) осколками стекол.

Практическая работа №12

Расчет поля давления и осколков после разрушения здания

При взрыве в помещении ТВС, ГВС и ПВС возможно разрушение здания, образования воздушной ударной волны и поля осколков. Энергия взрыва рассчитывается по соотношению

$$E = E_{\text{ув}} + E_{\text{оск}}, \quad (12.1)$$

где E - энергия взрыва в помещении, равная

$$E = Z \cdot M \cdot Q_m, \text{ кДж};$$

Z - коэффициент участия газа вещества во взрыве:

$$Z = 0,5 \text{ для газа, пыли; } Z = 0,3 \text{ для ЛВЖ};$$

$E_{\text{ув}}$ - энергия, идущая на образование ударной волны,

$$E_{\text{ув}} = 0,6 \cdot E \text{ кДж};$$

M - масса горючего вещества, выделившегося в помещение в результате аварии, кг; Q_m - удельная теплота взрыва газа, пыли, кДж/кг; $E_{\text{оск}}$ - энергия, идущая на разлет осколков

$$E_{\text{оск}} = 0,4 \cdot E, \text{ Дж}.$$

Расчет производится в следующей последовательности.

1. Рассчитываем минимальную критическую массу горючего вещества для реализации взрыва в помещении, кг

$$M_{\text{кр}} = НКП \cdot V_{\text{св}}, \quad (12.2)$$

где $НКП$ - нижний концентрационный предел взрываемости, кг/м³; $V_{\text{св}}$ - свободный объем помещения, м³.

2. Находим превышение давления при взрыве в помещении ΔP , кПа:

$$\Delta P = \frac{Z \cdot M \cdot Q_m \cdot P_0}{\phi \cdot \rho_v \cdot V_{\text{св}} \cdot T_0 \cdot C_p}. \quad (12.3)$$

3. Определяем последствия взрыва в помещении для здания.

4. Вычисляем избыточное давление во фронте ударной волны после разрушения здания

$$\Delta P_{\phi} = 95 \frac{\sqrt[3]{G}}{R} + 390 \frac{\sqrt[3]{G^2}}{R^2} + 1300 \frac{G}{R^3}, \quad (12.4)$$

где ΔP_{ϕ} - избыточное давление, кПа; G - тротилловый эквивалент взрыва, кг:

$$G = \frac{Z \cdot \beta_{\text{ув}} \cdot M_{\text{кр}} \cdot Q_m}{Q_{\text{гнт}}}, \quad (12.5)$$

Z - коэффициент участия горючего вещества во взрыве; $\beta_{\text{ув}}$ - доля энергии, идущая на образование ударной волны

$$\beta_{\text{ув}} = 0,6;$$

$M_{\text{кр}}$ - критическая масса горючего вещества, кг; Q_m - удельная теплота взрыва горючего вещества, кДж/кг; $Q_{\text{гнт}}$ - удельная теплота взрыва тротила, равная $4,52 \cdot 10^3$ кДж/кг.

5. Сравниваем ΔP_ϕ во фронте ударной волны с табличными и оцениваем поражающее действие на людей и сооружения.

6. Определяем дальность разлёта осколков, L_{\max} , м:

$$L_{\max} = \frac{V_0^2}{g}, \quad (12.6)$$

где V_0^2 - начальная скорость полета осколков, м/с; g - ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

Скорость V_0 вычисляется по соотношению

$$\frac{1}{2} M_0 \cdot V_0^2 = E_{\text{оск}} = Z \cdot \beta_{\text{оск}} \cdot M \cdot Q_m, \quad (12.7)$$

уравнение *энергия взрыва,*
кинетической *идущая на*
энергии *разлет осколков*

где M - масса горючего вещества, кг; Q_m - удельная теплота взрыва вещества, кДж/кг; $\beta_{\text{оск}}$ - доля энергии, идущая на разлет осколков, $\beta_{\text{оск}} = 0,4$;

M_0 - суммарная масса осколков, равная массе здания, резервуара, кг;

$$M_0 = (2L_{\text{зд}} \cdot H_{\text{зд}} + 2Ш_{\text{зд}} \cdot H_{\text{зд}}) P_{\text{стен}} (1-a) + (L_{\text{зд}} \cdot Ш_{\text{зд}}) P_{\text{перекрыт}} (1-\epsilon),$$

где $Ш_{\text{зд}}$ - ширина здания, м; $L_{\text{зд}}$ - длина здания, м; $H_{\text{зд}}$ - высота здания, м;

$P_{\text{стен}}$ - давление стен, кг/м²; $P_{\text{перекрыт}}$ - давление перекрытий, кг/м²; a - отношение площади оконных проемов к площади стен; ϵ - отношение площади вентиляционных отверстий к площади перекрытий.

Откуда получаем

$$V_0^2 = \frac{2 \cdot Z \cdot \beta_{\text{оск}} \cdot M \cdot Q_m}{M_0}, \quad (12.8)$$

По формуле (6.6.6) L_{\max} имеет завышенное значение, так как это расчет полета осколков в безвоздушном пространстве. Поэтому дальность полета осколков ограничивают соотношением

$$L_{\max} \leq L_x \quad (12.9)$$

где $L_x = 238 \cdot \sqrt[3]{G}$, м; G , кг.

Если условие (6.6.9) выполняется, принимаем за дальность разлета осколков L_{\max} , если нет - то принимаем L_x .

Пример. Определить условия реализации и последствия взрывов ГВС и ТВС в помещениях. Котельная (поз. 14) работает на пропаново-бутановой смеси (процентное соотношение 1:1), $V_0 = 50000 \text{ м}^3$ (50х50х20), $Q_{\text{мб}} = 45,8 \cdot 10^3 \text{ кДж/кг}$ (для бутана C_4H_{10}), НКП/ВКП=0,045/0,22 кг/м³, $Q_{\text{мп}} = 46,4 \cdot 10^3 \text{ кДж/кг}$ (для пропана C_3H_8), НКП/ВКП=0,0385/0,18 кг/м³,

$$P_{стен}=500 \text{ кг/м}^3, P_{перек}=100 \text{ кг/м}^3, a=0,15, b=0,10.$$

Здание кирпичное одноэтажное.

Решение:

Определяем минимальную критическую массу горючего вещества для реализации взрыва в помещении

$$M_{кр} = \text{НКП} \cdot V_{св} = \text{НКП} \cdot 0,8 \cdot K_0 = 0,0415 \cdot 0,8 \cdot 50000 = 1660 \text{ кг.}$$

Находим превышение давления при взрыве в помещении

$$\Delta P = \frac{Z \cdot M \cdot Q_m \cdot P_0}{\varphi \cdot \rho_v \cdot V_{св} \cdot T_0 \cdot C_p} = \frac{0,5 \cdot 1660 \cdot 46,1 \cdot 10^3 \cdot 10^2}{2,5 \cdot 1,25 \cdot 40000 \cdot 1,01 \cdot 293} = 105,438 \text{ кПа}$$

Здание разрушается.

Тротильный эквивалент взрыва

$$G = \frac{Z \cdot \beta_{ув} \cdot M_{кр} \cdot Q_m}{Q_{ТНТ}} = \frac{0,5 \cdot 1660 \cdot 46,1 \cdot 10^3}{4,52 \cdot 10^3} = 8465 \text{ кг.}$$

Энергия взрыва

$$E = Z \cdot M_{кр} \cdot Q_m = 0,5 \cdot 1660 \cdot 46,1 \cdot 10^3 = 38,263 \cdot 10^6 \text{ кДж.}$$

Определяем долю энергии, идущую на разлет осколков здания

$$E_{оск} = 0,4 \cdot E = 15,31 \cdot 10^3 \text{ кДж.}$$

Составляем уравнения баланса энергии

$$\frac{M_0 \cdot V_0^2}{2} = E_{оск},$$

$$V_0^2 = \frac{2 \cdot E_{оск}}{M_0} = \frac{2 \cdot 15,31 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{1245000} = 24594,377 \text{ м}^2/\text{с}^2$$

$$V_0 = 156,8 \text{ м/с.}$$

Масса здания

$$M_0 = M_{стен} + M_{перек} = 50 \cdot 20 \cdot 4 \cdot 0,85 \cdot 300 + 50 \cdot 50 \cdot 100 \cdot 0,90 = 1020000 + 225000 = 1245000 \text{ кг.}$$

Дальность разлета осколков

$$L_{\max} = \frac{V_0^2}{g} = \frac{24594,377}{9,81} = 2507 \text{ м,}$$

$$L_x = 238 \cdot \sqrt[3]{0,4G} = 238 \cdot \sqrt[3]{0,4 \cdot 8465} = 238 \cdot \sqrt[3]{3386} = 3507 \text{ м.}$$

За окончательную дальность разлёта осколков принимаем $L_{\max} \langle L_x$,

$$L_{окон} = 2500 \text{ м.}$$

Оценка параметров аварийного взрыва газгольдера со сжатым газом и действия осколков по стальным мишеням

Исходные данные: форма газгольдера;

r - радиус газгольдера, м;

L - длина газгольдера, м;

d - толщина оболочки газгольдера, мм;

ΔP - разрушающее давление, Па;

ρ_1 - плотность материала, из которого выполнен газгольдер, кг/м³;

H - высота над поверхностью земли, центр взрыва (геометрический центр газгольдера), м;

Q_m - теплота взрыва газа, пара, кДж/кг;

γ - показатель адиабаты газа;

σ_2 - динамический предел текучести, Па.

Оценка параметров аварийного взрыва газгольдера со сжатым газом производится в следующей последовательности:

1. Поверхность сферы газгольдера (в случае шара) $S_{сф}$, м²:

$$S_{сф} = 4 \cdot \pi \cdot r^2. \quad (13.1)$$

2. Объем газгольдера V , м³:

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3. \quad (13.2)$$

3. Масса оболочки газгольдера m , кг:

$$m = S_{сф} \cdot d \cdot \rho_1. \quad (13.3)$$

4. Плотность газа при давлении P ρ , кг/м³:

$$P = \Delta P + P_0;$$

$$\rho = \rho_0 \cdot \left(\frac{P}{P_0} \right)^{1/\gamma}. \quad (13.4)$$

5. Полная масса газа M , кг:

$$M = \rho \cdot V. \quad (13.5)$$

6. Отношение массы сжатого газа к массе металла оболочки β :

$$\beta = \frac{M}{m}. \quad (13.6)$$

7. Удельная энергия сжатого газа под давлением Q , Дж/кг:

$$Q = \frac{\Delta P}{\rho \cdot (\gamma - 1)}, \quad (13.7)$$

если газ взрывоопасный и находится под давлением, то

$$Q = Q_m + \frac{\Delta P}{\rho \cdot (\gamma - 1)}, \quad (13.8)$$

где Q_m - удельная теплота взрыва газа, Дж/кг.

8. Начальная скорость осколков V_0 м/с:

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot Q \cdot \beta}. \quad (13.9)$$

9. Дальность полета осколков L , м:

$$L \approx 2 \cdot V_0 \cdot \sqrt{\frac{H}{g}}. \quad (13.10)$$

10. Тротиловый эквивалент взрыва газгольдера G , кг:

$$G = \frac{Q \cdot M}{Q_{\text{ТНТ}}}. \quad (13.11)$$

11. Энергия, идущая на ударную волну $G_{\text{ув}}$, кг:

$$G_{\text{ув}} = 0,6 \cdot 2 \cdot G, \quad (13.12)$$

где 0,6 - коэффициент, учитывающий долю энергии, идущую на ударную волну; 2 - коэффициент, учитывающий наземность взрыва.

12. Находим избыточное давление взрыва во фронте ударной волны ΔP_ϕ и импульс I на расстоянии $R=5; 10; 20; 30; 40; 50; 100; 150$ м по формулам:

$$\begin{aligned} I &= \Delta P_\phi \cdot \tau_+; \\ \tau_+ &= 1,5 \cdot 10^{-3} \sqrt[6]{G_{\text{ув}}} \cdot \sqrt{R}; \\ \Delta P_\phi &= 95 \frac{\sqrt[3]{G}}{R} + 390 \frac{\sqrt[3]{G^2}}{R^2} + 1300 \frac{G}{R^3}, \end{aligned} \quad (13.13)$$

где $G_{\text{ув}}$ - тротиловый эквивалент взрыва для ударной волны, кг; R - расстояние от места взрыва, м; τ_+ - время сжатия ударной волны, с.

Составляем таблицу избыточного давления ΔP_ϕ , Па, и импульса I , от расстояния R , м.

Поражающее действие осколков по стальным преградам (мишеням) оценивается следующим образом:

1. Принимаем отношение диаметров осколков к толщине оболочки газгольдера

$$a = \frac{d_1}{d} = 1; 2,5; 5; 10. \quad (13.14)$$

2. Определяем характерный размер осколков l , м:

$$l = \sqrt{d_1^2 + d^2}. \quad (13.15)$$

3. Вычисляем отношение плотности материала оболочки газгольдера ρ_1 к плотности воздуха ρ_B :

$$\bar{\gamma} = \frac{\rho_1}{\rho_B}. \quad (13.16)$$

4. Рассчитываем скорость встречи осколков с мишенью

$$V = V_0 \cdot \exp \left[-R / \left(\bar{\gamma} \cdot l \right) \right]. \text{ м/с}; \quad (13.17)$$

5. Находим поверхность сферы газгольдера, м^2 :

$$S_{сф} = 4 \cdot \pi \cdot r^2. \quad (13.18)$$

6. Вычисляем среднюю площадь осколков S , м^2 :

$$S = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}. \quad (13.19)$$

7. Определяем число осколков при данном дроблении

$$n = \frac{S_{сф}}{S}. \quad (13.20)$$

8. Рассчитываем среднюю массу осколков m_{cp} , кг:

$$m_{cp} = \frac{m}{n}. \quad (13.21)$$

9. Определяем предельную толщину стальной преграды, пробиваемой осколками, с вероятностью 50 %

$$h^* = 0,138 \cdot d_1 \cdot \rho_1 \cdot \frac{V}{\sqrt{\sigma_2 \cdot \rho_2}}, \quad (13.22)$$

где σ_2 - динамический предел текучести преграды, Па; ρ_2 - плотность преграды, кг/м^3 .

10. Для пробиваемых преград $h_2 < h_x$ вычисляем остаточную скорость осколков на вылете $V_{ост}$, м/с:

$$V_{ост} = V \left(1 - \frac{h_2}{h^*} \right). \quad (13.23)$$

Пример. Определить параметры аварийного взрыва сферического газгольдера. Радиус газгольдера $r=5,25$ м, толщина оболочки газгольдера $d=16$ мм, разрушающее давление $\Delta P=2,86 \cdot 10^6$ Па, плотность стали, из которой выполнен газгольдер $\rho_1=7800$ кг/м^3 , высота над землей (центр газгольдера) $H=4$ м.

Решение:

1. Поверхность сферы газгольдера

$$S_{сф} = 4 \cdot \pi \cdot r^2 = 4 \cdot 3,14 \cdot 5,25^2 = 346,5 \text{ м}^2.$$

2. Объем газгольдера

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 5,25^3 = 600,1 \text{ м}^3.$$

3. Масса оболочки газгольдера

$$m = S_{сф} \cdot d \cdot \rho_1 = 346,1 \cdot 0,016 \cdot 7800 = 43,2 \cdot 10^3 \text{ кг}.$$

4. Плотность газа при давлении P

$$P = \Delta P + P_0 = 2,86 \cdot 10^6 + 10^5 = 2,96 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2,96 \text{ МПа}$$

$$\rho = \rho_0 \cdot \left(\frac{P}{P_0} \right)^{1/\gamma} = 1,22 \cdot \left(\frac{2,96}{0,1} \right)^{1/1,4} = 13,72 \text{ кг/м}^3$$

$$\gamma = 1,4$$

$$\rho_0 = 1,22 \text{ кг/м}^3$$

$$P_0 = 0,1 \text{ МПа}$$

5. Полная масса газа

$$M = \rho \cdot V = 13,75 \cdot 600,1 = 8,32 \cdot 10^3 \text{ кг}.$$

6. Отношение массы сжатого газа к массе металла оболочки

$$\beta = \frac{M}{m} = \frac{8,32 \cdot 10^3}{43,2 \cdot 10^3} = 0,193.$$

7. Удельная энергия газа под давлением

$$Q = \frac{\Delta P}{[\rho \cdot (\gamma - 1)]} = \frac{2,86 \cdot 10^6}{[13,72 \cdot (1,4 - 1)]} = 0,521 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}.$$

8. Начальная скорость осколков

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot Q \cdot \beta} = \sqrt{2 \cdot 0,521 \cdot 10^6 \cdot 0,193} = 448 \text{ м/с}.$$

9. Дальность полета (при $H = 4$) осколков

$$L \approx 2 \cdot V_0 \cdot \sqrt{\frac{H}{g}} = 2 \cdot 448 \cdot \sqrt{\frac{4}{9,81}} = 572 \text{ м}.$$

10. Троилловый эквивалент взрыва газгольдера

$$G = \frac{Q \cdot M}{Q_{ТНТ}} = \frac{0,521 \cdot 10^6 \cdot 8,32 \cdot 10^3}{4,52 \cdot 10^6} = 960 \text{ кг}.$$

11. Энергия, идущая на ударную волну

$$G_{\text{уг}} = 0,6 \cdot 2 \cdot G = 0,6 \cdot 2 \cdot 960 = 1151 \text{ кг}.$$

Определяем избыточное давление во фронте ударной волны на расстояниях 5, 10, 20, 30, 40, 50, 100, 150 м и заносим в следующую таблицу:

$R, \text{ м}$	5	10	20	30	40	50	100	150
$\Delta P_{\phi}, \text{ Па}$								

$I, \text{Па} \cdot \text{с}$								
-------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Оценка поражающего действия осколков по стальным преградам (мишеням) на расстоянии 5 м от оболочки

1. Примем отношение диаметров осколков к толщине газгольдера

$$\frac{d_1}{d} = 1.$$

2. Характерный размер осколков

$$l = \sqrt{d_1^2 + d^2} = d\sqrt{2} = 0,0226 \text{ м}.$$

3. Отношение плотности материала к оболочке и воздуху

$$\bar{\gamma} = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{7800}{1,22} = 6,39 \cdot 10^3.$$

4. Рассчитываем скорость встречи осколков с мишенью

$$V = V_0 \cdot \exp \left[-R / \left(\bar{\gamma} \cdot l \right) \right] = 448 \cdot \exp \left[-5 / \left(6,39 \cdot 10^3 \cdot 0,0226 \right) \right] = 432,7 \text{ м/с};$$

5. Поверхность сферы

$$S_{сф} = 4 \cdot \pi \cdot r^2 = 4 \cdot 3,14 \cdot 5,25^2 = 346,4 \text{ м}^2$$

6. Средняя площадь осколков

$$S = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,016}{4} = 2,01 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

7. Определяем число осколков при данном дроблении

$$n = \frac{S_{сф}}{S} = \frac{346,4}{2,01 \cdot 10^{-4}} = 1,725 \cdot 10^6.$$

8. Рассчитываем среднюю массу осколков m_{cp} , кг:

$$m_0 = \frac{m}{n} = \frac{43,2 \cdot 10^3}{1,725 \cdot 10^6} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

9. Предельную толщину стальной преграды, пробиваемой осколками, с $\rho_2 = 7800 \text{ кг/м}^3$ и $\sigma_2 = 4,7 \cdot 10^8 \text{ Па}$ вероятностью 50 %

$$h^* = 0,138 \cdot d_1 \cdot \rho_1 \cdot \frac{V}{\sqrt{\sigma_2 \cdot \rho_2}} = 0,138 \cdot 0,016 \cdot 7800 \cdot \frac{432,7}{\sqrt{4,7 \cdot 10^8 \cdot 7800}} = 3,9 \cdot 10^{-3}$$

10. Для пробиваемых преград $h_2 < h_x$ вычисляем остаточную скорость осколков на вылете $V_{ост}$, м/с:

$$V_{ост} = V \left(1 - \frac{h_2}{h^*} \right).$$

Например, для преграды 3 мм

$$V_{ост} = 432,7 \left(1 - \frac{3}{3,9} \right) = 99,9 \text{ м/с}$$

Задание. Оценить параметры аварийного взрыва газгольдера со сжатым газом и действие осколков по стальным мишеням.

Исходные данные:

1. Газгольдер сферический
2. $r=(5+0,1n)$ м - радиус газгольдера;
3. $d=(10+0,001n)$ мм - толщина оболочки;
4. $\Delta P=(2,5+0,01n) \cdot 10^6$ Па - разрушающее давление;
5. ρ_1 - плотность стали, из которой выполнен газгольдер $\rho_1=7800$ кг/м³;
6. $H=(3+0,02n)$ м - высота газгольдера над поверхностью земли, м;
7. $\gamma=1,135$ - показатель адиабаты;
8. $\sigma_2=4,7 \cdot 10^8$ Па - динамический предел текучести.

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. В 2 кн. /Под ред. К.Е. Кочеткова,- М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1996.
2. *Бесчастное М.В.* Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. -М: Химия, 1991.
3. *Корсаков Г.А.* Расчет зон чрезвычайных ситуаций: Учебное пособие. - СПб.: Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия, 1997.
4. Методические рекомендации по прогнозированию возникновения и последствий чрезвычайных ситуаций в РФ. - М.: ВНИИ ГОЧС, 1998.
5. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 20.06.1997 г.
6. ГОСТ Р 22.0.02-94 БЧС. Термины и определения основных понятий.
7. ГОСТ Р 22.0.06-95 БЧС. Источники природных ЧС. Поражающие факторы. Номенклатура параметров поражающих воздействие.
8. ГОСТ Р 22.0.07-95 БЧС. Источники техногенных ЧС. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.
9. ГОСТ Р 22.0.10-96 БЧС. Правила нанесения на карты обстановки о ЧС. Условные обозначения.
10. ГОСТ Р 22.1.01-95 БЧС. Мониторинг и прогнозирование. Основные положения.
11. ГОСТ Р 22.1.02-95 БЧС. Мониторинг и прогнозирование. Термины и определение.