

Методика розрахунку характеристик зон ураження при вибухах газоповітряних сумішей у відкритому просторі

Однією із причин виробничих аварій і катастроф є вибухи, які на промислових підприємствах супроводжуються обвалом і деформаціями споруд, пожежами, виходами з ладу енергосистем.

Найчастіше спостерігаються вибухи котлів у котельнях, газів, апаратів, продукції і напівфабрикатів на хімічних підприємствах, парів бензину та інших складових палива, лакофарбових розчинників, нерідкі випадки вибуху побутового газу.

Причинами вибухів промислового газу (вугільного, дерев'яного пилу, газоповітряних сумішей) є відкритий вогонь або електрична іскра, зокрема від статичної електрики.

Уражальним фактором будь-якого вибуху є ударна хвиля. Дія ударної хвилі на елементи споруд характеризується складним комплексом навантажень: прямий тиск, тиск відбиття, тиск обтікання, тиск затікання, навантаження від сейсмовибухових хвиль.

Ударна хвиля — зона стиснутого повітря, яка поширюється у всі боки від центру вибуху зі швидкістю, вищою за швидкість звуку.

Основний параметр ударної хвилі — надлишковий тиск у фронті ударної хвилі (ΔP_{ϕ}), кПа:

$$\Delta P_{\phi} = P_{\phi} - P_0, \quad (3.1)$$

де P_{ϕ} — максимальний тиск у фронті ударної хвилі при вибуху, кПа; P_0 — атмосферний тиск, кПа (при розрахунках приймають 101 кПа).

Надлишковий тиск у будь-якій точці залежить від відстані до центра вибуху і маси продуктів вибуху. Ударна хвиля руйнує інженерні споруди, комунікації, дерева, завдає людям травм різного ступеня важкості.

Як відомо, аварії на об'єктах з вибухонебезпечними технологіями можуть призвести до витікання в атмосферу газоподібних або розріджених вуглеводневих продуктів. При змішуванні вуглеводневих продуктів з повітрям утворюються вибухо- або пожежонебезпечні суміші — газоповітряні суміші (ГПС). Найбільш вибухо- і пожежонебезпечними є суміші з повітрям вуглеводневих газів: метану (CH_4), пропану (C_3H_8), бутану (C_4H_{10}) та ін. Розрахувати точне значення надлишкового тиску під час вибуху газоповітряної суміші у цьому випадку надзвичайно складно. Це пов'язано з невизначеністю багатьох факторів, які впливають на утворення хмари суміші, наприклад, напрямок і швидкість руху повітря за певної щільності забудови, стан турбулентності атмосфери, температура і вологість повітря тощо.

На практиці широко використовують дві методики, які дають достовірні результати.

В одній з методик зону НС при вибуху ГПС ділять на 3 зони: зона детонації (детонаційної хвилі), зона дії (поширення) продуктів вибуху та зона повітряної ударної хвилі (рис. 3.1).

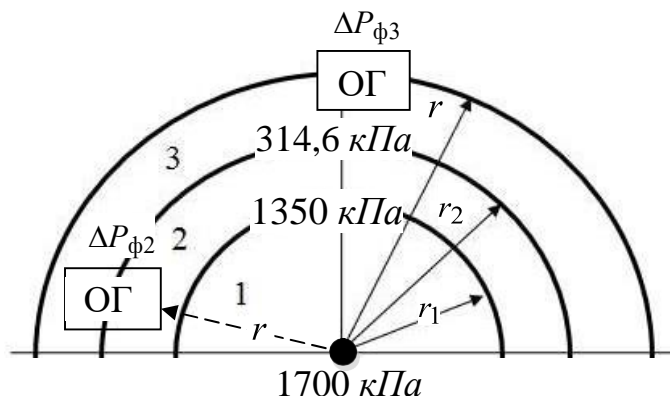


Рис. 3.1. Зонування територій під час вибуху ГПС

Основні параметри цих зон розраховуються наступним чином:

1. Зона детонаційної хвилі з постійним значенням надлишкового тиску в епіцентрі вибуху $\Delta P_{\phi 1} = 1700$ кПа і радіусом, м:

$$r_1 = 17,5 \sqrt[3]{m}, \quad (3.2)$$

де m — маса газу, що зберігався в ємності, т.

2. Зона дії продуктів вибуху з радіусом, м:

$$r_2 = 1,7 r_1. \quad (3.3)$$

Надлишковий тиск в межах зони змінюється від 1350 кПа ($r = r_1$) до 314,6 кПа ($r = r_2$) та визначається за формулою, кПа:

$$\Delta P_{\phi 2} = 1300 \left(\frac{r_1}{r} \right)^3 + 50, \quad (3.4)$$

де r — відстань від центру вибуху до точки, що розглядається, м.

3. Зона повітряної ударної хвилі (ПУХ). Значення надлишкового тиску у цій зоні, кПа:

$$\text{при } \psi \leq 2, \quad \Delta P_{\phi 3} = \frac{700}{3 \left(\sqrt{1 + 29,8 \psi^3} - 1 \right)}; \quad (3.5)$$

$$\text{при } \psi > 2, \quad \Delta P_{\phi 3} = \frac{22}{\psi \left(\sqrt{1 \lg \psi + 0,158} \right)}, \quad (3.6)$$

де $\psi = 0,24 \frac{r}{r_1}$ — допоміжний коефіцієнт.

Інженерна обстановка на об'єкті господарювання (ОГ) в результаті вибуху характеризується ступенем руйнування будівель, споруд, комунально-енергетичних мереж, обладнання тощо, які можуть бути: повними, сильними, середніми та слабкими (табл. 3.2). Дія ударної хвилі на людину може призвести до різного ступеня травм: легких, середньої важкості, важких та вкрай важких (табл. 3.3).

Повне руйнування — руйнування і обвалення всіх елементів будинків, включаючи підвальних приміщень, ураження людей, що знаходяться в них. Збитки складають більше 70 % вартості основних виробничих фондів (більше 70 % балансової вартості бу-

динків, споруд, комунікацій), подальше їх використання не можливе. Відновлення можливе тільки в порядку нового будівництва.

Таблиця 3.2. Ступені руйнування елементів ОГ при різних надлишкових тисках ударної хвилі, кПа

Елементи ОГ	Руйнування			
	слабке	середнє	сильне	повне
1	2	3	4	5
I. Виробничі, адміністративні та житлові будови				
1. Бетонні та залізобетонні будови і будови антисейсмічної конструкції	25—80	80—120	150—200	200
2. Будови з легким металевим каркасом та безкаркасної конструкції	10—20	20—30	30—50	50—70
3. Промислові будови з металевим каркасом та бетонним заповненням	10—20	20—30	30—40	40—50
4. Промислові будови з металевим каркасом та суцільним заповненням стін і даху	10—20	20—30	30—40	40—50
5. Багатоповерхові залізобетонні будови з великою площею застеклення	8—20	20—40	40—90	90—100
6. Будови зі складного залізобетону	10—20	20—30	—	30—60
7. Одноповерхові будови з металевим каркасом і стіновим заповненням з листового металу	5—7	7—10	10—15	15
8. Будови фідерної або трансформаторної підстанцій з цегли або блоків	10—20	20—40	40—60	60—80
9. Складські цегляні будови	10—20	20—30	30—40	40—50
10. Адміністративні багатоповерхові будови з металевим або залізобетонним каркасом	20—30	30—40	40—50	50—60
11. Цегляні малоповерхові будинки (один-два поверхи)	8—15	15—25	25—35	35—40
II. Деякі види обладнання				
1. Верстати важкі	25—40	40—60	60—70	—
2. Верстати середні	15—25	25—35	35—45	—
3. Верстати легкі	6—12	—	15—25	—
4. Крани і кранове обладнання	20—30	30—50	50—70	70
5. Підйомно-транспортне обладнання	20	50—60	60—80	80
6. Стрічкові конвеєри в галереї на залізобетонній естакаді	5—6	6—10	10—20	20—40
7. Електродвигуни потужністю до 2 кВт, відкриті	20—40	40—50	—	50—80
8. Ті самі, герметичні	30—50	50—70	—	80—100

Продовження табл. 3.2.

1	2	3	4	5
9. Електродвигуни потужністю від 2 до 10 кВт, відкриті	30—50	50—70	—	80—90
10. Ті самі, герметичні	40—60	60—75	—	75—100
11. Електродвигуни потужністю 10 кВт і більше, відкриті	50—60	60—80	—	80—120
12. Ті самі, герметичні	60—70	70—80	—	80—120
13. Трансформатори від 100 до 1000 кВт	20—30	30—50	50—60	60
14. Трансформатори блочні	30—40	50—60	—	—
15. Генератори на кВт	30—40	50—60	—	—
16. Відкритий розподільчий пристрій	15—25	25—35	—	—
17. Контрольно-вимірювальна апаратура	5—10	10—20	20—30	30
18. Магнітні запускарі	20—30	30—40	40—60	—
19. Стелажі	10—25	25—35	35—50	50—70
III. Комунально-енергетичні будови і мережі				
1. Газгольдери та наземні резервуари для хімічних речовин	15—20	20—30	30—40	40
2. Підземні металеві та залізобетонні резервуари	20—50	50—100	100—200	200
3. Частково заглиблені резервуари	40—50	50—80	80—100	100
4. Наземні металеві резервуари та ємності	30—40	40—70	70—90	90
5. Відкрито розміщене обладнання артезіанських свердловин	70—110	110—130	130—170	170
6. Водонапірні башти	10—20	20—40	40—60	60
7. Котельні регуляторні станції	7—13	13—25	25—35	35—45
8. Металеві вишки суцільної конструкції	20—30	30—50	50—70	70
9. Трансформаторні підстанції закритого типу	30—40	40—60	60—70	70—80
10. Теплові електростанції	10—15	15—20	20—25	25—40
11. Кабельні підземні лінії	200—300	300—600	600—1000	1500
12. Кабельні наземні лінії	10—30	30—50	50—60	60
13. Повітряні лінії високої напруги	25—30	30—50	50—70	70
14. Повітряні лінії низької напруги	20—60	60—100	100—160	160
15. Повітряні лінії низької напруги на дерев'яних опорах	20—40	40—60	60—100	100
16. Силові лінії електрифікованих залізниць	30—50	50—70	70—120	120

Закінчення табл. 3.2.

1	2	3	4	5
17. Підземні сталеві зварні трубопроводи діаметром до 350 мм	600— 1000	1000— 1500	1500— 2000	2000
18. Ті самі діаметром понад 350 мм	200— 350	350— 600	600— 1000	1000
19. Підземні чавунні та керамічні трубопроводи на розтрубах, азбоцементні — на муфтах	200— 600	600— 1000	1000— 2000	—
IV. Захисні споруди				
1. Сховища, які стоять окремо, розраховані на надлишковий тиск ударної хвилі 500 кПа	500— 600	600— 700	700— 900	900
2. Вбудовані сховища, що стоять окремо, розраховані на надлишковий тиск ударної хвилі 300 кПа	300— 400	400— 500	550— 650	650
3. Ті самі, розраховані на 200 кПа	200— 300	300— 370	370— 450	450
4. Ті самі, розраховані на 100 кПа	100— 140	140— 180	180— 220	220
5. Ті самі, розраховані на 50 кПа	50—70	70—90	90— 110	110
6. Протирадіаційні укриття (ПРУ), розраховані на 30 кПа	30—40	40—60	60—90	90
7. Підвали без підсилення несучих конструкцій	20—30	30—60	60—80	80
V. Засоби транспорту, будівельна техніка, мости				
1. Вантажні автомобілі і автоцистерни	20—30	30—55	55—65	90— 130
2. Легкові автомобілі	10—20	20—30	30—55	60
3. Автобуси і спецавтомашини з кузовами автобусного типу	15—20	20—45	45—55	60—80
4. Шосейні дороги з асфальтовим та бетонним покриттям	120— 300	300— 1000	1000— 2000	2000— 4000
5. Залізничні колії	100— 150	150— 200	200— 300	300— 500
6. Металеві мости з довжиною прольоту 30—40 м	50— 100	100— 150	150— 200	200— 300
7. Мости залізничні з довжиною прольоту 20 м	50—60	60—110	110— 130	200— 300
8. Дерев'яні мости	40—60	60—110	110— 130	200— 250

Таблиця 3.3. Дія ударної хвилі на людину

Величина надлишкового тиску, кПа	Види травм	Характер ураження
>100	Вкрай важкі	Одержувані травми дуже часто призводять до смертельного результату
60—100	Важкі	Сильна контузія всього організму, ушкодження внутрішніх органів і мозку, важкі переломи кінцівок. Можливі смертельні випадки.
40—60	Середньої важкості	Серйозні контузії, ушкодження органів слуху, кровотеча з носа і вух, сильні вивихи і переломи кінцівок.
20—40	Легкі	Легка загальна контузія організму, тимчасове ушкодження слуху, забиті місця і вивихи кінцівок.

Сильне руйнування — руйнування частини стін і перекриттів верхніх поверхів, виникнення тріщин в стінах, деформація перекриттів нижніх поверхів, ураження більшої кількості людей, що знаходилися в них. Збитки складають від 30 до 70 % вартості основних виробничих фондів (балансової вартості будинків, споруд і комунікацій), можливе обмежене використання потужностей, що збереглися. Відновлення можливе в порядку капітального ремонту.

Середнє руйнування — руйнування головним чином другорядних елементів (покрівлі, перегородок, віконних і дверних заповнень), виникнення тріщин в стінах. Перекриття, як правило, не обрушені, підвальні приміщення збереглися, ураження людей, головним чином, уламками конструкцій. Збитки складають від 10 до 30 % вартості основних виробничих фондів (балансової вартості будинків, споруд і комунікацій). Промислове обладнання, техніка, засоби транспорту відновлюються в порядку середнього ремонту, а будинки і споруди — після капітального ремонту.

Слабке руйнування — руйнування віконних і дверних заповнень та перегородок. Можливе ураження людей уламками конструкцій. Підвали і нижні поверхи повністю збереглися і придатні для тимчасового використання після поточного ремонту

будинків, споруд, обладнання і комунікацій. Збиток складає до 10 % вартості основних виробничих фондів (балансової вартості будинків і споруд). Відновлення можливе в порядку середнього або поточного ремонту.

Приведена методика придатна для розрахунку значень надлишкового тиску в зонах при вибуху газоповітряної суміші з масою газу, що перевищує 100 т. За меншої маси газу рекомендується використовувати формули для звичайних тротилових зарядів, наприклад, формулу академіка Садовського, кПа:

$$\Delta P_{\phi} = 95 \frac{\sqrt[3]{m}}{r} + 390 \frac{\sqrt[3]{m^2}}{r^2} + 1300 \frac{m}{r}, \quad (3.7)$$

де m — маса тротилового заряду, т.

Приклад 3.1. Побудувати зони, які утворюються при вибуху 125 т метану. Визначити, в якій зоні знаходиться склад (ОГ), ступені руйнування будівлі та обладнання, якщо він розташований на відстані 200 м від епіцентру вибуху. На складі знаходяться: електродвигуни потужності від 1 до 7 кВт, контрольно-вимірювальна апаратура, стелажі. Будівля складу з легким металевим каркасом. Оцінити характер травм персоналу.

Вирішення

Під час вибуху газоповітряної суміші виділяють три зони:

1. Зона детонаційної хвилі з постійним значенням надлишкового тиску в епіцентрі вибуху $\Delta P_{\phi 1} = 1700$ кПа і радіусом за (3.2):

$$r_1 = 17,5 \sqrt[3]{125} = 87,5 \text{ м.}$$

Порівнюємо: $r_1 = 87,5 < r = 200$ м, тобто об'єкт в першій зоні не знаходиться. (Якщо об'єкт знаходиться в цій зоні, то надлишковий тиск можна визначити за допомогою пропорції, знаючи ΔP на межах зони).

2. Зона дії продуктів вибуху з радіусом за (3.3):

$$r_2 = 1,7 \cdot 87,5 = 149 \text{ м.}$$

Оскільки $r_2 = 149 < r = 200$ м, то ОГ буде знаходитися в 3 зоні.

3. Зона повітряної ударної хвилі (ПУХ).

Оскільки:

$$\psi = 0,24 \frac{200}{87,5} = 0,549 ;$$

$$\psi = 0,549 < 2 ,$$

тому визначаємо значення надлишкового тиску в цій зоні за (3.5):

$$\Delta P_{\phi 3} = \frac{700}{3 \left(\sqrt{1 + 29,8 \cdot (0,549)^3} - 1 \right)} = 162 \text{ кПа.}$$

Радіус цієї зони дорівнює відстані до складу, тобто 200 м. Будемо розраховані зони (рис. 3.2).

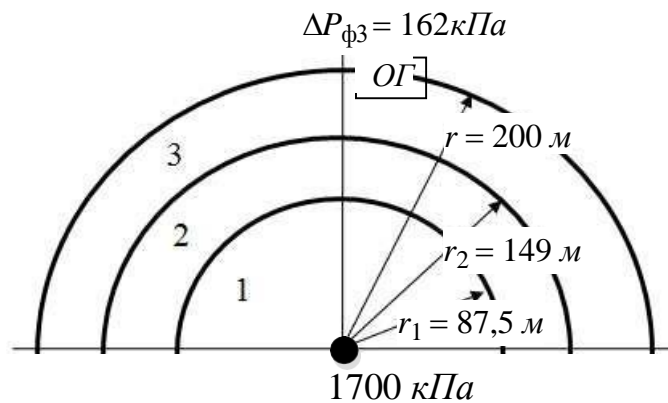


Рис. 3.2. Зонування території при вибуху 125 т метану

Отже, склад знаходиться в зоні ПУХ з надлишковим тиском у фронті ударної хвилі — 162 кПа.

Як впливає з табл. 3.2, склад буде повністю зруйновано разом з усім обладнанням, а персонал отримує вкрай важкі травми, що часто призводять до смертельного результату (табл. 3.3).