

Техногенна небезпека при вибухах на об'єктах господарювання

Вибухове горіння

Процес горіння зі стрімким вивільненням енергії і утворенням при цьому надлишкового тиску (більше 5 кПа) називається **вибуховим горінням**.

Розрізняють два принципово різних режиму вибухового горіння: дефлаграційний і детонаційний.

При **дефлаграційному** горінні поширення полум'я відбувається в слабко збуреному середовищі зі швидкостями значно нижче швидкості звуку, тиск при цьому зростає незначно.

При **детонаційному** згорянні (детонації) поширення полум'я відбувається зі швидкістю, близькою до швидкості звуку, або перевищує її. Ініціювання (запалювання) газоповітряної суміші з утворенням осередку горіння можливо при наступних умовах:

- концентрація горючого газу в газоповітряній суміші повинна бути в діапазоні між нижньою і верхньою концентраційними межами поширення полум'я;
- енергія запалювання від іскри, або гарячої поверхні повинна бути не нижче мінімальної. Для більшості вибухових сумішей енергія запалювання не перевищує 30 Дж.

Нижня концентраційна межа ($C_{нкл}$) поширення полум'я - це така концентрація горючого газу в суміші з окислювальним середовищем, нижче якої суміш стає нездатною до поширення полум'я.

Верхня концентраційна межа ($C_{вкл}$) поширення полум'я - це така концентрація пального в суміші з окислювальним середовищем, вище якої суміш стає нездатною до поширення полум'я.

Мінімальна енергія ініціювання (запалювання) (E_i) - найменше значення енергії електричного розряду, здатного запалити суміш стехіометричного складу.

Концентрація газу стехіометричного складу (C_{cx}) - концентрація горючого газу в суміші з окислювальним середовищем, за якої забезпечується повна без залишку хімічна взаємодія пального і окислювача суміші.

При згорянні газоповітряної суміші стехіометричного складу утворюються тільки кінцеві продукти реакції горіння і теплота їх згорання, що виділилася, не витрачається на нагрівання незгорілих окислювача або пального (останніх не утворюється). З цієї причини продукти згорання нагріваються до максимальної температури.

У разі дефлаграційного горіння такої суміші в замкнутому герметичному та теплоізолюваному обсязі утворюються максимальні температура і тиск. Величина максимального тиску є характеристикою відповідної газоповітряної суміші.

Режим дефлаграційного горіння може переходити в режим детонаційного горіння (при швидкому зростанні швидкості поширення полум'я). Такому переходу сприяє турбулізація процесу горіння при зустрічі фронту полум'я з

перешкодами. При цьому поверхня фронту полум'я стає нерівною, а товщина полум'я збільшується - все це викликає зростання швидкості поширення полум'я.

В режимі детонаційного горіння навантаження значно зростають. Тому режим детонаційного горіння прийнятий за розрахунковий випадок для прогнозування інженерної обстановки при аварії з вибухом.

До основних факторів, що впливають на параметри вибуху, відносять: масу і тип вибухонебезпечної речовини, її параметри та умови зберігання або використання в технологічному процесі, місце виникнення вибуху, об'ємно-планувальні рішення споруд у місці вибуху.

Вибухи на промислових підприємствах та базах зберігання можна поділити на дві групи - у відкритому просторі і виробничих приміщеннях.

У відкритому просторі на промислових підприємствах та базах зберігання можливі вибухи газоповітряних сумішей (ГПС), що утворюються при руйнуванні резервуарів зі стиснутими і зрідженими під тиском або охолодженими газами, а також при аварійному розливі легкозаймистих рідин.

У виробничих приміщеннях, поряд з вибухом ГПС, можливі також вибухи пилоповітряних сумішей (ПВС), що утворюються при роботі технологічних установок.

1 Вибух газоповітряних сумішей у відкритому просторі

Детонаційний режим горіння

З метою проведення розрахунків з гарантованим запасом за об'ємом інженерно-рятувальних робіт, при обґрунтуванні вихідних даних приймають такий випадок руйнування резервуара, щоб вибух газоповітряної суміші, що утворюється при цьому, справив максимальну вражаючу дію. Цей випадок відповідає руйнуванню такого резервуара, в якому зберігається максимальна кількість пальної речовини на розглянутому об'єкті.

Коротко розглянемо моделі впливу, що визначають поля вражаючих факторів (тиску) при прогнозуванні наслідків вибухів газоповітряних сумішей.

При вибуху газоповітряних сумішей розрізняють дві зони дії: детонаційної хвилі - в межах хмари ГПС та повітряної ударної хвилі - за межами хмари ГПС. В зоні хмари діє детонаційна хвиля, надлишковий тиск у фронті якої приймається постійним у межах хмари ГПС і приблизно рівним $\Delta P = 17 \text{ кгс/см}^2$ (1,7 МПа).

У розрахунках приймають, що зона дії детонаційної хвилі обмежена радіусом r_0 , який визначається з припущення, що ГПС після руйнування ємності утворює у відкритому просторі напівсферичну хмару.

Об'єм півсферичної хмари може бути визначений за формулою

$$V = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot r_o^3, \text{ м}^3, \quad (1)$$

де $\pi = 3,14$.

Враховуючи, що кіломолярна концентрація ідеального газу при нормальних умовах займає 22,4 м³, об'єм ГПС, що утворюється при аварійній ситуації, складе

$$V = \frac{22,4 \cdot k \cdot Q \cdot 100}{m_k \cdot C}, \text{ м}^3, \quad (2)$$

де k - коефіцієнт, що враховує частку активного газу (частку продукту, що бере участь у вибуху);

Q - кількість зріджених вуглеводневих газів в сховищі до вибуху, кг;

C - стехіометрична концентрація газу в % по об'єму;

m_k - молярна маса газу, кг/кмоль.

З умови рівності півсфери і об'єму суміші, що утворилася, отримаємо

$$r_o \approx 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q \cdot k}{m_k \cdot C}}, \text{ м.} \quad (3)$$

Зона дії повітряної ударної хвилі (ПУХ) починається відразу за зовнішньою межею хмари ГПС. Тиск у фронті ударної хвилі ΔP_ϕ залежить від відстані до центру вибуху і визначається за рис. 1 або таблиці 1, виходячи з співвідношення

$$\Delta P_\phi = f(r / r_o),$$

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

Таблиця 1

r/r_o	0.1	1,01	1,04	1,08	1,2	1,4	1,8	2,7	3	4	5	6	8	12	20
$\Delta P_\phi, \text{кПа}$	1700	1232	814	568	400	300	200	100	80	50	40	30	20	10	5

Таблиця 1 і рис. 1 апроксимують відомі формули, що характеризують залежність тиску від відстані до центру вибуху.

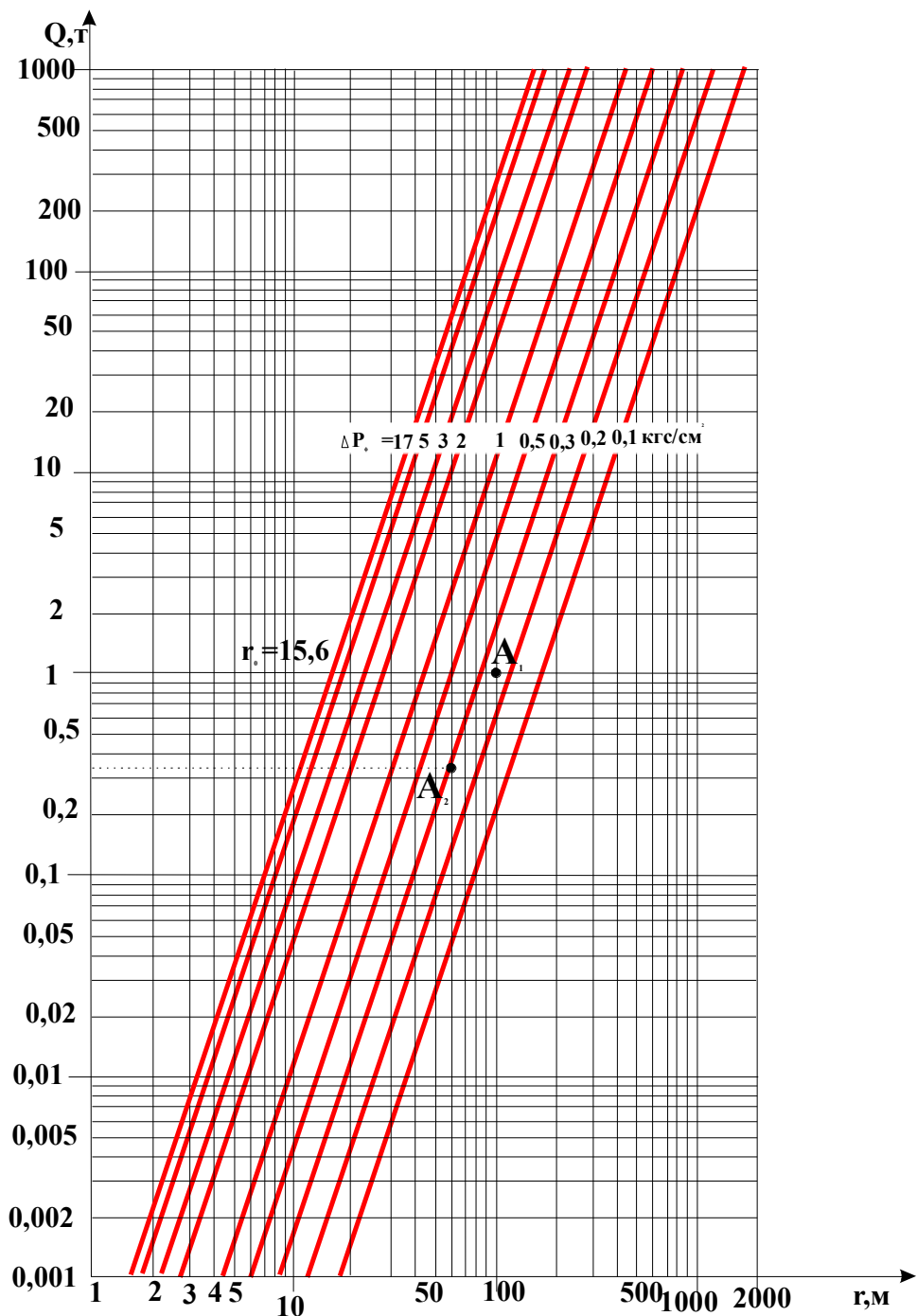


Рисунок 1 - Зміна значень ΔP_{ϕ} (кгс/см²) при вибуху пропанобутанових ГПС в залежності від маси скрапленого газу Q (кг) і відстані r (м)

Приклад розрахунку

Вибух хмари ГПС, утвореної при руйнуванні резервуара з 10^6 кг зрідженого пропану.

Вихідні дані: $Q=10^6$ кг; $K=0,6$; $m_k=44$; $C=4,03\%$.

Визначити тиск ударної хвилі на відстані $r=200$ м від центру вибуху та ступінь руйнувань.

Розрахунок:

$$1. r_o = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q \cdot k}{m_k \cdot C}} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{10^6 \cdot 0,6}{44 \cdot 4,03}} = 150 \text{ м.}$$

$$2. \frac{r}{r_o} = \frac{200}{150} = 1,3.$$

3. При $\frac{r}{r_o} = 1,3$ за табл. 1 $\Delta P_\phi = 350$ кПа (3,5 кгс/см²).

Варіанти завдання

Визначити тиск ударної хвилі на відстані $r=300$ м від центру вибуху

Варіант	Q , кг;	K	m_k	C , %.
1	10^5	0,6	30	3.56
2	10^7	0,6	35	4.4
3	10^6	0,6	43	4.25
4	10^4	0,6	37	5.03
5	10^3	0,6	38	3.65
6	10^5	0,6	42	5.75
7	10^6	0,6	36	3.6
8	10^5	0,6	49	5.6
9	10^4	0,6	36	4.2
10	10^2	0,6	32	4.75
11	10^3	0,6	36	6.5
12	10^7	0,6	35	4.4
13	10^2	0,6	32	4.75
14	10^4	0,6	43	3.5