



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Навчально-науковий механічний інститут

Кафедра розробки родовищ та видобування корисних
копалин

02-06-40



Національний університет

Методичні вказівки

до практичних робіт з навчальної дисципліни
“Технологія та безпека виконання вибухових робіт”
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)
рівня за спеціальністю 184 «Гірництво»

Рекомендовано методичною
комісією за спеціальністю
“Гірництво”
Протокол №7 від 30.01.2019 р.

Рівне – 2019



Методичні вказівки до практичних робіт з навчальної дисципліни “Технологія та безпека виконання вибухових робіт” для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 184 «Гірництво» / В. Я. Корнієнко, А. І. Новак, Р. Р. Оксенюк. – Рівне : НУВГП, 2019. – 47 с.

Укладачі:

В. Я. Корнієнко, д.т.н., в.о. завідувача кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин;

А. І. Новак, кандидат технічних наук, доцент кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин;

Р. Р. Оксенюк, асистент розробки родовищ та видобування корисних копалин.

Відповідальний за випуск: В.Я. Корнієнко, д. т. н., професор, в.о. завідувача кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин.

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Розрахунок кисневого балансу. Складання хімічних рівнянь	4
2.Теплота вибуху, температура, об'єм і тиск газів вибуху	10
3. Розрахунок параметрів висаджувальної мережі.....	16
4. Розрахунок параметрів зарядів та їх розташування на уступі.....	21
5. Розрахунок зарядів викиду.....	28
6. Розрахунок параметрів буровибухових робіт при проведенні підземних виробок.....	33
Додатки.....	40
Література.....	47

© Корнієнко В. Я.,
Новак А. І.,
Оксенюк Р. Р., 2019
© НУВГП, 2019



Вступ.

Початковим процесом технології розробки покладів корисних копалин є відокремлення гірських порід від масиву та подрібнення їх на куски заданих розмірів. Менш міцні породи можуть відокремлюватися від масиву за допомогою різноманітних робочих органів гірничих машин, а найбільш міцні - у значних об'ємах в основному за рахунок енергії вибуху промислових вибухових речовин.

Підривні роботи широко застосовуються не лише у гірничовидобувній промисловості, але й в інших галузях народного господарства (під час будівництва гребель, електростанцій, тунелів, судноплавних і зрошувальних каналів, залізничних і шосейних доріг, при гасінні пожеж на нафтопромислах тощо).

Вибухові роботи – складний комплекс пов'язаних між собою операцій: вибір методу вибухових робіт та вибухових матеріалів (ВМ), які включають вибухові речовини (ВР) і засоби підриву (ЗП); розробку схем розміщення зарядів; визначення характеристик кожного заряду; встановлення засобу та послідовності підриву; розробку заходів безпеки та ін..

У зв'язку з подальшим розвитком гірничодобувної промисловості технологія буровибухових робіт продовжує удосконалюватися у напрямі підвищення безпеки, ефективності, економічності, збільшення коефіцієнта використання потенційної енергії вибухових матеріалів, асортименту вибухових речовин і засобів ініціювання зарядів, розробки рекомендацій щодо проведення гірничих виробок, а також розширення застосування підривних робіт.

Метою вивчення дисципліни “Технологія та безпека виконання вибухових робіт” – є формування у студентів знань і умінь, необхідних для інженерних рішень технології та організації робіт з руйнування гірських порід вибухом при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом на базі сучасних технологій руйнування гірських порід вибухом.

Завдання вивчення дисципліни – засвоєння студентами основних методів розрахунку процесів руйнування гірських порід вибухом та розробка безпечних технологічних процесів



підготовки гірничої маси до виймання при розробці родовищ корисних копалин.

Тема 1. Розрахунок кисневого балансу. Теплота вибуху, температура, об'єм і тиск газів вибуху.

1.1. Розрахунок кисневого балансу вибуху

Кисневий баланс (КБ) характеризується відношенням надлишку або недостачі Оксигену в складі вибухових речовин (ВР) до його кількості, необхідній для повного окислення горючих компонентів ВР. Відповідно до цього кисневий баланс може бути нульовим, позитивним і негативним. При *нульовому* кисневому балансі вміст Оксигену у вибуховому матеріалі достатньо для повного окислення горючих компонентів і процес відбувається з переважним утворенням CO_2 , H_2O , N_2 . При *позитивному* кисневому балансі має місце надлишок Оксигену; при цьому виділяються гази H_2O , CO_2 , NO , NO_2 , N_2 , O_2 . При *негативному* кисневому балансі в умовах недостачі Оксигену склад продуктів досить складний, але головною його особливістю є утворення Карбон(II) оксиду (чадного газу) (CO).

$$K_B = \frac{(N_k - N_k^*) \cdot M_{O_2}}{2 \cdot M_{BP}} 100, \% \quad (1.1)$$

де N_k – кількість атомів Оксигену в молекулі ВР; N_k^* – кількість атомів Оксигену, необхідна для повного окислення горючих елементів (Карбону, Гідрогену, Алюмінію та ін.); M_{O_2} – молярна маса кисню, кг/кмоль, $M_{O_2} = 32$ кг/кмоль); M_{BP} – молярна маса ВР, кг/кмоль.

Склад більшості вибухових матеріалів виражається формулою

$$C_a H_b O_c N_d Al_e, \quad (1.2)$$

де a , b , c , d , e – кількість атомів відповідно C , H , O , N , Al хімічного елементу в молекулі ВР. Таким чином

$$N_k = c, \quad (1.3) \quad \text{а} \quad N_k^* = 2a + 0.5b + 1.5e \quad (1.4)$$



Якщо $N_k > N_k^*$, то кисневий баланс позитивний, якщо $N_k < N_k^*$ – негативний, а якщо $N_k = N_k^*$ – нульовий.

Вибухові речовини з нульовим кисневим балансом є більш ефективнішими, оскільки при повному окисленні горючих елементів виділяється максимальна кількість теплоти, що забезпечує максимальне виділення енергії під час вибуху.

Кисневий баланс для сумішевих вибухових матеріалів, які складаються з кількох компонентів, визначається за формулою

$$K_B = \sum_{i=1}^m K_{B_i} P_i, \% \quad (1.5)$$

де K_{B_i} - кисневий баланс i -го компонента ВР, %; P_i - вміст i -го компоненту в суміші вибухових речовин, в долях одиниці;

m - кількість компонентів в суміші вибухових речовин.

Для отримання вибухових матеріалів з нульовим кисневим балансом до основного компоненту, який має кисневий баланс, суттєво відмінний від нульового, додають інші компоненти, кисневий баланс яких має знак протилежний першому. Вміст цих компонентів визначається у відповідності до загальних умов.

$$\sum_{i=1}^m P_i = 1, \quad (1.6)$$

$$\sum_{i=1}^m K_{B_i} P_i = 0, \quad (1.7)$$

Для двохкомпонентного вибухового матеріалу при нульовому кисневому балансі суміші повинна виконуватись умова

$$K_{B_1} P_1 + K_{B_2} P_2 = 0, \quad (1.8)$$

$$P_1 + P_2 = 1, \quad (1.9)$$

Розв'язуючи сумісно (6) та (7) при отримаємо



$$P_2 = \frac{K_{B_1}}{K_{B_1} - K_{B_2}}, \quad (1.10) \quad P_1 = 1 - P_2 \quad (1.11)$$

В тих випадках, коли кількість компонентів в вибуховому матеріалі більше двох, вміст третього, четвертого і т.д. компонентів задається умовами складання рецептур.

Селективно-детонувальні вибухові речовини V...VII класів у своєму складі містять не тільки класичні горючі елементи (C, H), але і цілу низку металів, Фосфор, Хлор які в процесі вибухової реакції окислюються Оксигеном. При цьому спочатку Хлор з'єднується з металами, потім окислюються залишки усіх металів, після чого окислюється Гідроген до H_2O , і в кінці залишок кисню з'єднується з Карбоном до CO і CO_2 .

Враховуючи це, параметр N_k^* для таких ВР визначається значно складніше, ніж для ВР II...IV класів. У загальному вигляді:

$$N_k^* = 0.5 \sum_{i=1}^m n_i k_i b_i, \quad (1.12)$$

де n_i – кількість атомів i -елемента у складі ВР; k_i – валентність i -елемента; b_i – безрозмірний коефіцієнт, який приймають +1 для хімічних елементів, що вступають у процесі вибухового розкладу в реакцію з Оксигеном; 0 – для хімічних елементів, які не вступають під час вибуху в реакцію з Оксигеном, наприклад, для Оксигену, Нітрогену та ін; -1 – для хімічних елементів, які вступають в реакцію з елементами першої із перелічених груп, тобто для яких $b=1$, наприклад, для Хлору.

Приклад 1.1. Визначити кисневий баланс тротилу, хімічна формула якого $C_7H_5(NO_2)_3$.

Розв'язання.

Горючими елементами, які окислює Оксиген, є Карбон і Гідроген. Для повного окислення Карбону до CO_2 та Гідрогену до H_2O потрібно відповідно $2a = 2 \cdot 7$ та $b/2 = 5/2$ атомів Оксигену за наявних у молекулі тротилу всього 6 атомів Оксигену. Тоді



$$N_k^* = 2a + 0.5b + 1.5e = 2 \cdot 7 + 0.5 \cdot 5 + 1.5 \cdot 0 = 16.5$$

$$N_k = c = 6$$

Молярна маса тротилу $M_{BP} = 227$

Отже кисневий баланс дорівнює

$$K_B = \frac{(N_k - N_k^*) \cdot M_{O_2}}{2 \cdot M_{BP}} 100 = \frac{(6 - 16.5) \cdot 32}{2 \cdot 227} 100 = -74\%$$

1.2. Складання хімічних реакцій вибуху

Для розрахунку характеристик вибуху, таких як теплота, температура та об'єм газів вибуху потрібно знати хімічні реакції як однокомпонентних (хімічних сполук) так і багатокомпонентних (механічні суміші) вибухових матеріалів. Ці реакції та склад продуктів вибуху залежить від багатьох факторів, головним з яких являється хімічний склад вибухових матеріалів та їх кисневий баланс. В залежності від величини та знаку кисневого балансу вибуху продуктами вибуху будуть наступні хімічні елементи та сполуки.

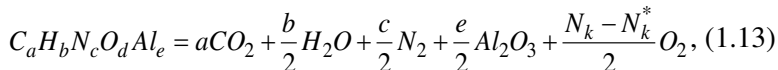
1. При нульовому кисневому балансі – повні оксиди горючих елементів та азот – CO_2 , H_2O , Al_2O_3 , N_2 .

2. При позитивному кисневому балансі – оксиди горючих елементів і Нітроген оксиди, азот та кисень – CO_2 , H_2O , Al_2O_3 , NO , NO_2 , N_2 , O_2 .

3. При негативному кисневому балансі – повні та не повні оксиди горючих елементів, вільні горючі елементи та азот – CO_2 , CO , H_2O , Al_2O_3 , H_2 , C , N_2 .

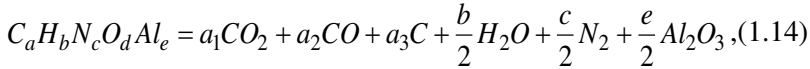
При цьому враховується, що Оксиген в першу чергу окислює Гідроген до H_2O , а алюміній до Al_2O_3 . Після цього Оксиген окислює Карбон (весь або його частину) до CO , при надлишку Оксигену, відбувається окислення CO до CO_2 . Для складання рівнянь хімічних реакцій вибуху користуються наступними загальними положеннями.

Для ВР, які мають нульовий, або позитивний кисневий баланс, рівняння хімічної реакції вибухового перетворення





Для ВР з негативним кисневим балансом рівняння хімічних реакцій вибуху записується в загальному вигляді наступним чином



Для загального рівняння хімічної реакції вибухового матеріалу з від'ємним кисневим балансом можливі три варіанти можливих значень коефіцієнтів a_1 , a_2 , a_3 в залежності від того скільки містить Оксигену вибуховий матеріал. Для визначення, які Карбон оксиди утворюються при вибуху матеріалу з від'ємним негативним балансом розраховують величину f

$$f = d - (a + 0.5b + 1.5e) \quad (1.15)$$

В залежності від величини f і визначають значення коефіцієнтів a_1 , a_2 , a_3 за наступними правилами:

$$\begin{cases} 1. f > 0 & a_1 = f; & a_2 = a - f; & a_3 = 0 \\ 2. f = 0 & a_1 = 0; & a_2 = a; & a_3 = 0 \\ 3. f < 0 & a_1 = 0; & a_2 = a - |f|; & a_3 = |f| \end{cases}, \quad (1.16)$$

При складанні рівнянь хімічних реакцій вибухових матеріалів, які складаються з двох і більше компонентів, необхідно також визначити співвідношення в кількості молей компонентів, які складають вибухові матеріали на основі суміші. Необхідною умовою при цьому є вміст компонентів в сумішевому вибуховому матеріалові всіх складових в долях одиниці (P_i). Ці співвідношення визначають з наступних умов

$$\text{Оскільки } \frac{P_1}{P_2} = \frac{m_1 M_1}{m_2 M_2}, \quad \frac{P_1}{P_3} = \frac{m_1 M_1}{m_3 M_3}, \dots \quad (1.17)$$

$$\text{то } \frac{m_2}{m_1} = \frac{P_2 M_1}{P_1 M_2}, \quad \frac{m_3}{m_1} = \frac{P_3 M_1}{P_1 M_3}, \dots \quad (1.18)$$

де M_1, M_2, \dots, M_k - молекулярні маси відповідних компонентів вибухового матеріалу, кг/кмоль; m_1, m_2, \dots, m_k - кількість молей відповідних компонентів, які входять в склад ВР.

Склад сумішевих вибухових матеріалів визначається наступною формулою загального виду



$$C_A H_B N_C O_D Al_E, \quad (1.19)$$

$$A = a_1 + a_2 \frac{m_2}{m_1} + \dots, \quad B = b_1 + b_2 \frac{m_2}{m_1} + \dots,$$

$$C = c_1 + c_2 \frac{m_2}{m_1} + \dots$$

$$D = d_1 + d_2 \frac{m_2}{m_1} + \dots, \quad E = e_1 + e_2 \frac{m_2}{m_1} + \dots \quad (1.20)$$

де $a_1, a_2, \dots, b_1, b_2, \dots, c_1, c_2, \dots, d_1, d_2, \dots, e_1, e_2, \dots$ - відповідна кількість атомів Карбону, Гідрогену, Нітрогену, Оксигену та Алюмінію в молекулах компонентів вибухової речовини.

Складання хімічних реакцій сумішевих матеріалів проводиться згідно з формулами (11) та (12).

Приклад 1.2. Скласти рівняння хімічної реакції вибуху тротилу, хімічна формула якого $C_7H_5(NO_2)_3$.

Розв'язання.

1. Визначаємо кисневий баланс ВР.
2. Так як кисневий баланс від'ємний то розраховуємо показник f .

$$f = d - (a + 0.5b + 1.5e) = 6 - (7 + 0.5 \cdot 5 + 1.5 \cdot 0) = -3.5$$

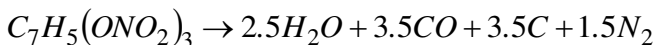
3. Відповідно до рівнянь (1.16) визначаємо коефіцієнти a_1, a_2, a_3 , що відповідають знайденому значенню f .

$$a_1 = 0, \quad a_2 = a - |f| = 7 - |-3.5| = 3.5, \quad a_3 = |f| = |-3.5| = 3.5$$

4. Визначаємо коефіцієнти для визначення пари води та азоту

$$\frac{b}{2} = \frac{5}{2} = 2.5, \quad \frac{c}{2} = \frac{3}{2} = 1.5$$

5. Підставивши знайдені коефіцієнти у формулу (1.14) одержимо





Тема 2. Теплота вибуху, температура, об'єм і тиск газів вибуху

2.1. Теплота вибуху

Теплоти вибуху при постійному тиску згідно з принципом Геса визначається за формулою

$$Q_P = Q_{ПВ} - Q_{BP}, \text{ кДж/кмоль} \quad (1.21)$$

де Q_{BP} – теплота утворення вибухової речовини, кДж/кмоль;

$Q_{ПВ}$ – теплота утворення продуктів вибуху, кДж/кмоль.

Для однокомпонентних вибухових речовин типу хімічних сполук теплота вибуху визначається за формулою

$$Q_P = \sum_{i=1}^k n_i q_i - Q_{BP}, \text{ кДж/кмоль} \quad (1.22)$$

де n_i – кількість молей i -того компоненту в продуктах вибуху; q_i – теплота утворення i -того компоненту продуктів вибуху, кДж/кмоль.

Для вибухових матеріалів типу механічних сумішей теплота вибуху визначається за формулою

$$Q_P = \sum_{i=1}^k n_i q_i - \sum_{j=1}^r Q_j N_j, \text{ кДж/кмоль} \quad (1.23)$$

де Q_j – теплота утворення j -того компоненту вибухового матеріалу, який входить в суміш, кДж/кмоль; N_j – кількість молей j -того компоненту вибухового матеріалу, який входить в суміш.

Питома теплота вибуху, яка характеризує кількість теплоти, що виділяється при вибуховому перетворенні одиниці маси вибухового матеріалу розраховується за формулами:

а) для однокомпонентних вибухових речовин

$$Q_P^* = \frac{Q_P}{M}, \text{ кДж/кг} \quad (1.24)$$

де M – молекулярна маса вибухового матеріалу, кг/кмоль

б) для механічних сумішей



$$Q_P^* = \frac{Q_P}{\sum_{j=1}^r M_j N_j}, \text{ кДж/кг} \quad (1.25)$$

де M_j - молярна маса j -того компонента в суміші вибухової речовини, кг/кмоль.

Теплота вибуху при постійному об'ємі (у момент вибуху до розширення газів) визначається за формулою

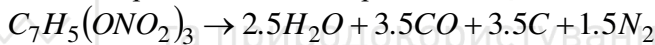
$$Q_V = Q_P + RT \sum_{i=1}^k n_i, \text{ кДж/кмоль} \quad (1.26)$$

де T - температура навколишнього середовища, до якої охолоджуються продукти вибуху, R - універсальна газова стала, $R=8,32$ кДж/(кмоль К).

Приклад 1.3. Визначити питому теплоту вибуху тротилу, хімічна формула якого $C_7H_5(NO_2)_3$.

Розв'язання.

1. Складаємо рівняння хімічної реакції ВР.



2. За цим рівнянням, підставляючи значення коефіцієнтів у формулі (1.22), визначаємо теплоту вибуху одного моля тротилу

$$Q_P = 2.5q_{H_2O} + 3.5q_{CO} - Q_T$$

$$Q_P = 2.5 \cdot 241.9 + 3.5 \cdot 109.8 - 69.3 = 919.75, \text{ кДж/моль}$$

де Q_T - теплота утворення тротилу, кДж/моль

3. Визначаємо питому теплоту вибуху тротилу за формулою(1.24)

$$Q_P^* = \frac{919.75}{0.227} = 4051.8, \text{ кДж/кг}$$

2.2. Об'єм газів вибуху

Об'єм газів вибуху розраховується на основі закону Авогадро, згідно з яким гази вибуху, приведені до нормальних умов ($t = 0^\circ$ або 273°K , тиску 101 кПа) мають однаковий молярний об'єм, який дорівнює $22,4$ м³/кмоль.



Об'єм газів вибуху одного кіломоля вибухової речовини дорівнює

$$V_1 = 22.4 \sum_{i=1}^k n_i, \text{ м}^3/\text{кмоль} \quad (1.27)$$

де n_i – число кіломолей i -того газу, що утворюється в результаті вибуху.

Питомий об'єм газів вибуху, який утворюється в результаті вибуху одиниці маси вибухової речовини дорівнює :

а) для вибухових матеріалів типу хімічних сполук

$$V_0 = \frac{V_1}{M}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (1.28)$$

б) для вибухових матеріалів типу механічних сумішей

$$V_0 = \frac{V_1}{\sum_{j=1}^r M_j N_j}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (1.29)$$

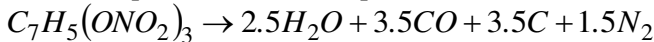
Питомий об'єм газів для інших умов (температура T і тиск p)

$$V = V_0 \frac{p_0 T}{p T_0}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (1.30)$$

Приклад 1.4. Визначити питомий об'єм газів вибуху тротилу, хімічна формула якого $C_7H_5(ONO_2)_3$.

Розв'язання.

1. Складаємо рівняння хімічної реакції ВР.



2. За цим рівнянням, підставляючи значення коефіцієнтів у формулі (1.27), визначаємо об'єм газів вибуху одного кіломоля тротилу

$$V_1 = 22.4(2.5 + 3.5 + 1.5) = 168, \text{ м}^3/\text{кмоль}$$

3. Визначаємо питомий об'єм газів вибуху тротилу за формулою(1.28)

$$V_0 = \frac{V_1}{M} = \frac{168}{227} = 0.74, \text{ м}^3/\text{кг}$$



2.3. Температура вибуху

Температура вибуху визначається за формулою

$$t = \frac{Q_V}{(C_V)_{cp}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.31)$$

де $(C_V)_{cp}$ - середня теплоємність продуктів вибуху при постійному об'ємі, кДж/(кмоль·К).

$$(C_V)_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i (C_V)_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \text{ кДж/(кмоль·К)}. \quad (1.32)$$

де n_i – кількість молей i – го продукту вибуху, моль;

$(C_V)_i$ - теплоємність i – го продукту вибуху, кДж/(кмоль·К).

Теплоємність продуктів вибуху при постійному об'ємі залежить від температури

$$(C_V)_i = a_i + b_i t, \text{ кДж/(кмоль·К)}. \quad (1.33)$$

де a_i – мольна теплоємність i – го газу при $t=0^\circ\text{C}$; b_i – коефіцієнт, який враховує залежність теплоємності продуктів вибуху від температури.

Таким чином, середня мольна теплоємність продуктів вибуху

$$(C_V)_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i a_i}{\sum_{i=1}^k n_i} + \frac{\sum_{i=1}^k n_i b_i}{\sum_{i=1}^k n_i} t, \text{ кДж/(кмоль·К)} \quad (1.34)$$

Враховуючи формули (1.32), (1.33) рівняння для знаходження температури продуктів вибуху буде



$$t = \frac{-\sum_{i=1}^k n_i a_i + \sqrt{\left(\sum_{i=1}^k n_i a_i\right)^2 + 4Q_V \sum_{i=1}^k n_i \cdot \sum_{i=1}^k n_i b_i}}{2\sum_{i=1}^k n_i b_i}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.35)$$

2.4. Тиск газів вибуху

Тиск газів вибуху є однією з найбільш важливих характеристик вибухового матеріалу. Тиск газів вибуху з точністю, достатньою для розв'язання практичних задач, розраховується за спрощеним рівнянням Ван-дер-Ваальса

$$P = \frac{P_0 \cdot V_0 \cdot \Delta_{зар}}{1 - (\alpha + \beta)\Delta_{зар}} \cdot \frac{T}{273}, \text{ кПа} \quad (1.36)$$

де P_0 – нормальний атмосферний тиск; кПа; V_0 – питомий об'єм газів вибуху при нормальних умовах, м³/кг; T – температура вибуху, К; $\Delta_{зар}$ – щільність заряджання, кг/м³; α – коволюм газів вибуху, м³; β – об'єм, який займають тверді продукти детонації вибухової речовини, м³.

Щільність заряджання, це відношення маси заряду до об'єму зарядної камери

$$\Delta_{зар} = \frac{m_{зар}}{V_k}, \text{ кг/м}^3 \quad (1.37)$$

де $m_{зар}$ – маса заряду, кг; V_k – об'єм зарядної камери, м³.

Для патронів ВР щільність заряджання визначається наступним чином

$$\Delta_{зар} = \left(\frac{d_n}{d_k}\right)^2 \Delta_{ВР}, \text{ кг/м}^3 \quad (1.38)$$

де d_n – діаметр патрона, м; d_k – діаметр зарядної камери (шпуру), м; $\Delta_{ВР}$ – щільність патронування, кг/м³.

Для практичних розрахунків рекомендуються:

- при щільності заряджання ВР понад 1 кг/дм³ $\alpha = 0,0006V_0, \text{ м}^3$;



- при щільності заряджання ВР до 1 кг/дм^3 $\alpha = 0,001 V_0, \text{ м}^3$;

Об'єм твердих продуктів детонації вибухової речовини

$$\beta = \sum_{j=1}^w \frac{n_j \cdot M_j^T}{\rho_j}, \text{ м}^3 \quad (1.39)$$

де n_j - число молей твердих компонентів у продуктах вибуху;

M_j^T - молярна маса твердих компонентів в продуктах вибуху, кг/кмоль ; ρ_j - густина твердих компонентів, кг/м^3 .





Тема 3. Розрахунок параметрів висаджувальної мережі

3.1. Електричний спосіб висаджування гірських порід

Електричний спосіб висаджування використовується в будь-яких умовах виконання підривних робіт, у тому числі, в шахтах небезпечних по газу та пилу також на важкодоступних об'єктах висадження. До засобів електричного висаджування відносяться: електродетонатори (ЕД), джерела струму, електропроводи та контрольно-вимірювальна апаратура.

Для висадження групи зарядів ВР застосовуються послідовне, паралельне та змішане з'єднання електродетонаторів. Змішане з'єднання електродетонаторів може бути паралельно-послідовним і послідовно-паралельним.

У електропідривній мережі (ЕПМ) розрізняють такі дроти:

- *магістральні* – від пункту підривання (джерела струму) до місця вибуху;

- *вивідні* – від магістральних дротів до тієї частини ЕОМ, що з'єднує між собою свердловини (шпури). Вони змонтовані безпосередньо на блоці;

- *дільничні* – з'єднують між собою окремі свердловини чи групи свердловин (шпурів);

- *кінцеві* – застосовуються, при необхідності, для з'єднання дротів електродетонаторів з дільничними;

- *сполучні* – для інших проміжних з'єднань.

Незалежно від схеми з'єднання ЕПМ довжину кінцевих кінцевих дротів визначається за формулою

$$l_k = 2 \cdot l_\delta, \text{ м} \quad (2.1)$$

де l_δ – глибина розташування бойовика, м.

Загальна довжина дільничних дротів

$$l_\delta = 1,1 \cdot a \cdot N, \text{ м} \quad (2.2)$$

де a – відстань між зарядами, м; N – число зарядів, які підриваються

Довжина вивідних і сполучних дротів залежить від розташування зарядів, схеми з'єднання та визначається графічно.

Загальна довжина магістралі



$$L_M = 2 \cdot l_M, \text{ м} \quad (2.3)$$

Питомий опір дротів при будь-якій температурі визначається за формулою

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(t_c - 20)], \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 \cdot \text{м}^{-1} \quad (2.4)$$

де ρ_0 – питомий опір дротів при температурі 20 °С, Ом·мм²·м⁻¹;

α – температурний коефіцієнт опору, Ом·мм²·м⁻¹·К⁻¹; t_c – температура оточуючого середовища, °С.

Питомий опір ρ_0 мідних дротів 0,0175 Ом·мм²·м⁻¹, алюмінієвих 0,030 Ом·мм²·м⁻¹, сталевих 0,132 Ом·мм²·м⁻¹. Температурний коефіцієнт опору α складає 0,0044 Ом·мм²·м⁻¹·К⁻¹ для міді, 0,0040 Ом·мм²·м⁻¹·К⁻¹ для алюмінію 0,0060 Ом·мм²·м⁻¹·К⁻¹ для сталі.

Питомий опір дротів розраховуємо за формулою

$$r_i = \frac{\rho_i}{S_i}, \text{ Ом} \cdot \text{м}^{-1} \quad (2.5)$$

де ρ_i – питомий опір i -го дроту, Ом·мм²·м⁻¹; S_i – площа перерізу i -го дроту, мм².

Опір дротів

$$R_i = l_i r_i, \text{ Ом} \quad (2.6)$$

де l_i – загальна довжина i -го дроту.

В бойовиках для крупних зарядів розташовують по два електродетонатори, які з'єднуються послідовно або паралельно.

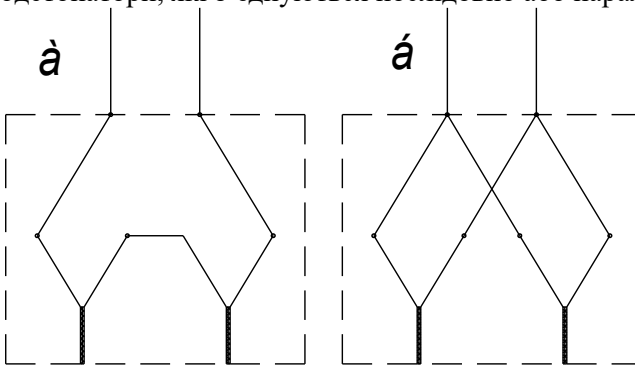


Рис. 2.1 Схема монтажу двох електродетонаторів в бойовику



а)–при послідовному з'єднанні ЕД; б)–при паралельному з'єднанні ЕД
Опір бойовика при послідовному з'єднанні

$$R_{\delta} = R_{\kappa} + 2 \cdot r_e, \text{ Ом} \quad (2.7)$$

де R_{κ} – опір кінцевих дротів, Ом; r_e – опір електродетонатора, Ом.

Опір бойовика при паралельному з'єднанні

$$R_{\delta} = R_{\kappa} + \frac{r_e}{2}, \text{ Ом} \quad (2.8)$$

При дублюванні ЕПМ використовують парне з'єднання бойовиків в зарядах. Опір заряду: - при парно-послідовному з'єднанні бойовиків

$$R_{\delta} = 2(R_{\kappa} + r_e), \text{ Ом} \quad (2.9)$$

- при парно-паралельному з'єднанні бойовиків

$$R_{\delta} = \frac{R_{\kappa} + r_e}{2}, \text{ Ом} \quad (2.10)$$

3.2. Розрахунок електропровідної мережі при послідовному з'єднанні електродетонаторів

Використовується при висадженні зарядів у горизонтальних, похилих і вертикальних виробках при відносно невеликій кількості зарядів ВР.

За схемою розташування зарядів визначають їх довжину та розраховують опори.

Величину сили струму в мережі визначають за формулою

$$I = \frac{U}{R_m + R_e + R_{\delta} + n \cdot (R_{\kappa} + r_e)}, \text{ А} \quad (2.11)$$

де U – напруга джерела струму, В; R_m , R_e , R_{δ} , R_{κ} – опір магістральних, вивідних, дільничних, кінцевих дротів, Ом;

n – кількість електродетонаторів; r_e – середній опір електродетонаторів, Ом.

Для забезпечення безвідмовного висадження необхідно, щоб розрахована сила струму не менше гарантійного струму ЕД.

$$I_{ЕД} = I \geq I_2, \text{ А} \quad (2.12)$$

де I_2 – гарантійний струм електродетонатора, А.



3.3. Розрахунок електропровідної мережі при паралельному з'єднанні електродетонаторів

Електропровідні мережі з паралельним з'єднанням мають два різновиди: пучкове і ступінчасте. Останнє має обмежене використання через нерівномірний розподіл струму між ЕД.

За схемою розташування зарядів визначають їх довжину та розраховують опори.

При однопучковому паралельному з'єднанні електродетонаторів силу струму в магістральних дротах визначають за формулою

$$I = \frac{U}{R_M + R_G + \frac{R_C + R_K + r_e}{n}}, \text{ Ом} \quad (2.13)$$

де R_C – опір сполучних дротів, Ом.

Сила струму в кожному електродетонаторі дорівнює

$$I_{ED} = \frac{I}{n}, \text{ А} \quad (2.14)$$

та повинна задовольняти умові

$$I_{ED} \geq I_2, \quad (2.15)$$

3.5. Розрахунок електропровідної мережі при послідовно-паралельному з'єднанні електродетонаторів

Таке з'єднання застосовується при великій кількості ЕД, коли послідовне з'єднання не забезпечує надходження струму необхідної величини. При цьому в кожній групі окремі ЕД з'єднуються між собою послідовно, а всі такі групи приєднують до магістральних дротів паралельно. Сила струму в магістральних дротах

$$I = \frac{U}{R_M + \frac{R_G + R_D + R_C + n(R_K + r_e)}{m}}, \text{ А} \quad (2.16)$$

де m – кількість паралельно з'єднаних груп; n – кількість ЕД в групі.

Сила струму в кожному електродетонаторі дорівнює



$$I_{ED} = \frac{I}{m}, \text{ А} \quad (2.17)$$

та повинна задовольняти умові

$$I_{ED} \geq I_2, \quad (2.18)$$

3.5. Розрахунок електропровідної мережі при паралельно-последовному з'єднанні електродетонаторів

Така схема застосовується великій кількості ЕД, коли окремі ЕД у кожній групі з'єднуються між собою паралельно, і всі такі групи приєднують до магістральних дротів послідовно.

Сила струму в магістральних дротах

$$I = \frac{U}{R_M + R_e + R_D + \frac{R_c + R_k + r_e}{n} \cdot m}, \text{ А} \quad (2.19)$$

Сила струму в кожному електродетонаторі

$$I_{ED} = \frac{I}{n}, \text{ А} \quad (2.20)$$

та повинна задовольняти умові

$$I_{ED} \geq I_2, \quad (2.21)$$

Змішані з'єднання використовують, як правило, при висаджені від освітлювальної мережі чи силової електромережі напругою 220 В чи 380 В.

Последовність розрахунку електровисаджувальної мережі наступна

1. Складаються принципові схеми електровисаджувальної мережі та розташування заряду в свердловині (шпурі).

2. За схемою розташування заряду в свердловині (шпурі) визначається довжину кінцевих дротів за формулою (2.1).

3. За схемою розташування свердловин (шпурів) на блоці, який підлягає висадженню, визначаються довжини дільничних, вивідних, сполучних і магістральних дротів за формулами (2.2, 2.3).

4. Приймають площу поперечного перерізу дротів, які використовуються в мережі.



5. Визначають опір одного погонного метра кожного типу дротів з урахуванням температури оточуючого середовища за формулами (2.4, 2.5).

5. Визначається опір кожного типу дротів за формулою (2.6).

6. Визначається опір ЕД патрона-боевика за формулою (2.10) або (2.11) в залежності від з'єднання ЕД і їх кількості в бойовику.

7. За схемою з'єднання ЕД бойовиків в електровисаджувальну мережу та прийнятим джерелом струму визначається струм в магістральному дроті за однією з формул (2.11, 2.13, 2.16, 2.19), при необхідності уточнюється джерело струму. При уточненні джерела струму розрахунок повторюється.

8. Визначається струм через один ЕД за формулами (2.12, 2.14, 2.17, 2.20) та перевіряються умови безпечного висаджування за гарантійним струмом (2.12, 2.15, 2.18, 2.21).

9. Визначають витрати матеріалів та електродетонаторів.

Тема 4. Розрахунок параметрів зарядів та їх розташування на уступі

4.1. Метод свердловинних зарядів

Метод свердловин застосовуються на кар'єрних уступах висотою понад 5...7 м; найбільш доцільно використовувати його у вибоях висотою 10...20 м і більше, у залежності від типу екскаватора. В уступі, що підлягає висадженню, бурять свердловини для розміщення зарядів. Свердловини можуть бути горизонтальні, похилі і вертикальні, діаметр свердловин від 75 до 370 мм. Чим міцніша порода і вищий уступ, тим застосовують більший діаметр свердловини: у слабких породах – діаметром 100...150, у міцних (вапняк, граніт, залізні руди) – 200 мм і більше. Свердловини розташовують в один чи кілька рядів паралельно фронту вибою (рис. 3.1., рис. 3.2.) Однак чим більший діаметр свердловини за інших рівних умов, тим крупніші куски відбитої породи.

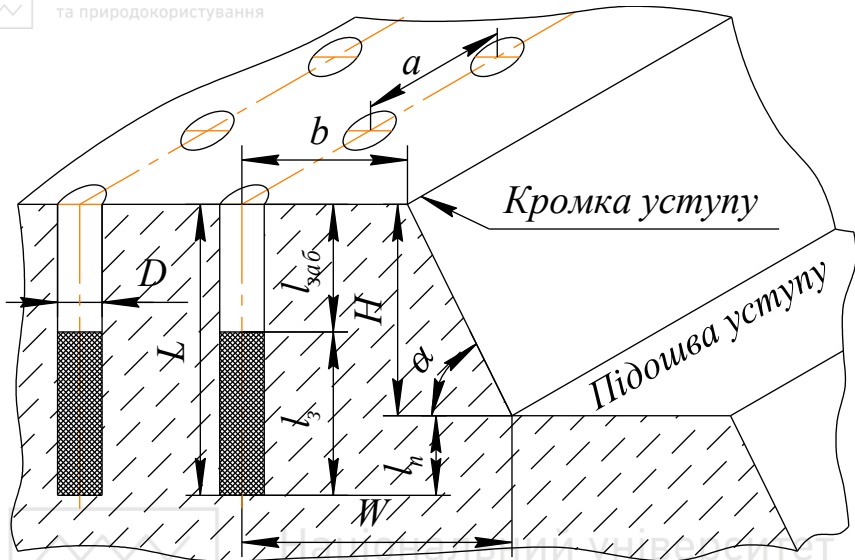


Рис. 3.1. Схема розташування вертикальних свердловин на уступі

Підривають одночасно кілька десятків свердловин по фронту вибою довжиною, яка забезпечує безперерйну роботу екскаватора на протязі тривалого часу. Для достатнього подрібнення в зоні підощви уступу і попередження порогів свердловини бурять глибше рівня підощви вибою. Частина свердловини, що знаходиться нижче підощви уступу, називається перебуром. Для зменшення перебуру нижня частину свердловини заповнюють більш потужною вибуховою речовиною.

З метою більш рівномірного подрібнення породи заряди роблять розосередженими.

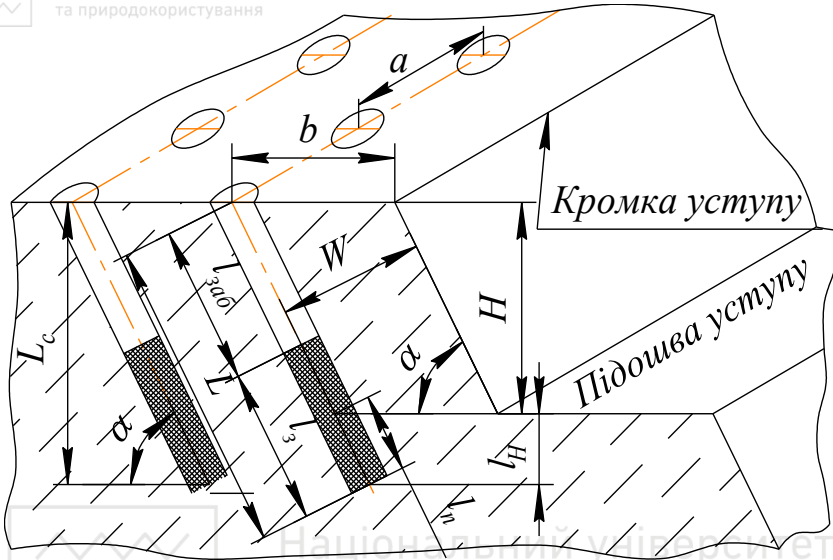


Рис. 3.2. Схема розташування похилих свердловин на уступі

Основними параметрами, які характеризують розташування свердловин на уступі є: W - довжина лінії найменшого опору (л.н.о.), a - відстань між свердловинами в ряду, m - коефіцієнт зближення свердловин, S - площа поверхні підшви уступу, що припадає на одну свердловину.

$$m = \frac{a}{W}, \quad (3.1) \quad S = aW, \text{ м}^2$$

$$(3.2)$$

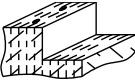
При миттєвому висадженні між параметрами розташування свердловин W , a , m , S приймаються співвідношення, які залежать від структури гірської породи (табл. 3.1).

При короткоуповільненому висадженні зарядів ВР варто приймати $a=W$ для монолітної породи, для іншої структури співвідношення між a і W необхідно приймати у відповідній пропорції за табл.3.1. (m збільшується в 1,25).



Таблиця 3.1

Співвідношення між параметрами розташування
свердловин при миттєвому висаджуванні.

Структура породи	$W, \text{ м}$	$a, \text{ м}$	m
Монолітна. Шарувата чи тріщинувата в горизонтальному напрямку 	$1.1\sqrt{S}$	$0.8W$	$0,8$
Вертикальна шаруватість чи тріщинуватість, що паралельна фронту вибою 	$\leq \sqrt{S}$	$\geq W$	≥ 1
Вертикальна шаруватість чи тріщинуватість, яка перпендикулярна фронту вибою 	$\geq 1.3\sqrt{S}$	$0.6W$	$0,6$

Для похилих свердловин m збільшується в 1,1...1,2 рази.

4.2. Розрахунок параметрів висадження гірської породи методом свердловинних зарядів

Необхідний діаметр свердловин, що забезпечить нормальне пророблення підшви уступу при заданій його висоті H і куту α

$$d_{св} = \frac{H \text{ctg} \alpha + b}{16.5(3.2 - m)k_T} \sqrt{\frac{\rho \cdot k_{BP}}{\Delta_{зар}}}, \text{ м} \quad (3.3)$$

де $b \geq 3$ м – берма безпеки, м; ρ - густина породи, кг/м³;

k_{BP} – коефіцієнт працездатності ВР; $\Delta_{зар}$ - щільність заряджання, кг/м³; k_T – коефіцієнт, що враховує тріщинуватість масиву (для порід I категорії тріщинуватості $k_T=0,5$, II - $k_T=0,7$, III - $k_T=0,9$,

IV - $k_T=1,1$, V - $k_T=1,3$; m – коефіцієнт зближення свердловин (приймається за табл.3.1.).

Отриманий діаметр порівнюємо з типорозміром бурового інструменту та при необхідності коректують. За прийнятим



діаметром бурового інструменту визначають діаметр заряду з урахуванням розбурування свердловини

$$d_3 = d_{св} \cdot k_p, \text{ м} \quad (3.4)$$

де k_p – коефіцієнт розбурування свердловини.

$$k_p = 1,06 - 0,003(f - 2), \quad (3.5)$$

де f – коефіцієнт міцності породи за шкалою М.М. Протодьяконова.

Приймається тип вибухового матеріалу, спосіб висадження та коефіцієнт зближення свердловин m .

Визначають питомі витрати ВР q_0 згідно (табл. 3.2 та табл. 3.3) нормативних витрат вибухових речовин (дані наведені для ВР із працездатністю $P_0 = 300 \text{ см}^3$). Якщо працездатність P вибухової речовини, що використовується не дорівнює табличній (300 см^3), то питому витрату q визначають за формулою

$$q = q_0 \frac{P_0}{P}, \text{ кг/м}^3 \quad (3.6)$$

Маса одного погонного метра заряду свердловини

$$\gamma = \frac{\pi \cdot d_{св}^2}{4} \cdot \Delta_{зар}, \text{ кг/м} \quad (3.7)$$

Таблиця 3.2.

Нормативні питомі витрати вибухових речовин

Категорія міцності порід за шкалою “Союзвзривпрома”	IV...VI	VII...VIII	IX...X	XI	XII	XIII	XIV...XVI
$q_0, \text{ кг/м}^3$	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55

Визначається довжина лінії найменшого опору

$$W = \sqrt{k \frac{\gamma}{qm}}, \text{ м} \quad (3.8)$$

де k – коефіцієнт заповнення свердловини, приймається в залежності від висоти H уступу: $k = 0,6$ при $H \leq 15 \text{ м}$; $k = 0,7$ при $H > 15 \text{ м}$.



Визначається довжина лінії найменшого опору за умови безпечної експлуатації бурового обладнання

$$W_{\delta} = H \cdot \operatorname{ctg} \alpha + b, \text{ м} \quad (3.9)$$

Якщо $W < W_{\delta}$, то в подальших розрахунках приймається $W = W_{\delta}$.

Площа підошви уступу, що приходить на одну свердловину

$$S = a \cdot W = m \cdot W^2, \text{ м}^2 \quad (3.10)$$





Таблиця 3.3.
Класифікація гірських
порід

Коефіцієнт міцності за проф. М.М. Протодьяконова	Категорія міцності порід за шкалою “Союзвзривпрома”
20	XVI
18	XV...XVI
15	XV
12	XIII...XIV
10	XI...XII
8..9	XI...XII
6...7	IX...X
5	VIII...IX
4	VII
3	VII
2	VI
1,5	VI
1	V
0,8	V
0,6	IV
0,5	II...III

на одну свердловину

$$L_{ДШ} = 1,1(a + L + 1) \cdot 2, \text{ м} \quad (3.18)$$

де 1,1 – коефіцієнт, який враховує 10% запас ДШ на зростки, прогини та інші нерівності; 1 – один метр запасу довжини ДШ, що виходить зі свердловини, 2 – дві лінії ДШ у кожен свердловину (для зменшення ймовірності відмов).

Об’єм породи, що висаджується однією свердловиною

Відстань між свердловинами

$$a = m \cdot W = \frac{S}{W}, \text{ м} \quad (3.11)$$

Маса заряду в одній свердловині

$$Q = qSH = qaWH, \text{ кг} \quad (3.12)$$

Довжина заряду в одній
свердловині

$$l_3 = \frac{Q}{\gamma}, \text{ м} \quad (3.13)$$

Довжина перебуру

$$l_n = (0,1 \dots 0,2)W, \text{ м} \quad (3.14)$$

Довжина свердловини

$$L = H + l_n, \text{ м} \quad (3.15)$$

Довжина забійки

$$l_{заб} = L - l_3, \text{ м} \quad (3.16)$$

Якщо обчислена довжина забійки є меншою $(0,5 \dots 0,6)W$, то необхідно зменшити значення W чи a . Якщо довжина забійки більше $1,2W$, то варто збільшити довжину заряду.

Загальна кількість свердловин на уступі

$$N = \left(\frac{A}{a} + 1 \right) M_p, \quad (3.17)$$

де A – довжина фронту вибою, м;

M_p – кількість рядів свердловин.

Витрати детонуючого шнура (ДШ)



$$V_0 = SH, \text{ м}^3 \quad (3.19)$$

Витрати детонуючого шнура на 1 м³ висадженої породи

$$l_{ДШ} = \frac{L_{ДШ}}{V_0}, \text{ м/м}^3 \quad (3.20)$$

Довжина свердловини, що припадає на 1 м³ висадженої породи

$$L_{ск} = \frac{L}{V_0}, \text{ м/м}^3 \quad (3.21)$$

На кожен масовий вибух складається проект чи паспорт буро підричних робіт, де вказують усі параметри цих робіт та заходи безпеки при їх виконанні.

Тема 5. Розрахунок зарядів викиду та розпушення гірських порід

5.1. Заряди викиду та розпушування гірських порід

Заряди викиду застосовують при будівництві каналів, канав, траншей, а заряди скиду – при будівництві гребель у гірській місцевості, застосовуючи зосереджені заряди. При будівництві каналів заряди розташовують в один чи кілька рядів уздовж осі майбутньої виробки, а потім підривають їх. Заряди ВР розташовуються на такій відстані один від одного, щоб при спільній дії вони утворювали виїмку з порівняно рівною підшовою.

Вирва викиду характеризується наступними параметрами (рис.4.1.): л.н.о. (W); радіус вирви викиду (r); глибина дійсної вирви викиду (H_d); радіус дії вибуху (B); глибина видимої вирви викиду (H_e); радіус вирви викиду (D); висота (y) та ширина (x) навалу породи; кут розхилу вирви викиду (α), $R_{ст}$ – радіус стискання породи.

5.2. Розрахунок зарядів викиду та розпушування гірських порід

При методі зосереджених зарядів приймають із застосуванням однорядного висаджування вибухових речовин, величина л.н.о:

- в ґрунтах



$$W = (0,3 \dots 0,6) H_{\partial}, \text{ м} \quad (4.1)$$

- для скельних порід

$$W = (0,7 \dots 1,0) H_{\partial}, \text{ м} \quad (4.2)$$

Відстань між зарядами в ряду повинна бути

$$a = 0,5W(n+1), \text{ м} \quad (4.3)$$

де n – показник дії вибуху.

$$n = \frac{r}{W}, \quad (4.4)$$

При $n = 1$ – утворюється вирва нормального викиду, $n > 1$ – вирва посиленого викиду, $n < 1$ – вирва зменшеного викиду. При $n < 0,75$ вирва викиду не утворюється і заряд називається зарядом розпушення. Для зарядів нормального розпушення $n = 0,33 \dots 0,40$, для зарядів посиленого розпушення $n = 0,40 \dots 0,75$.

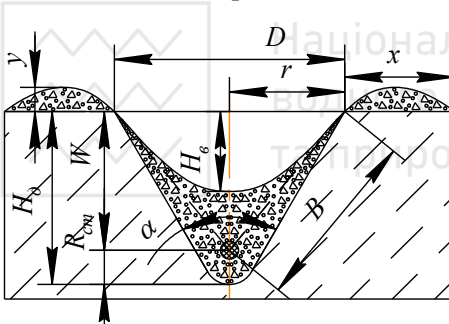


Рис. 4.1. Параметри вирви вибуху

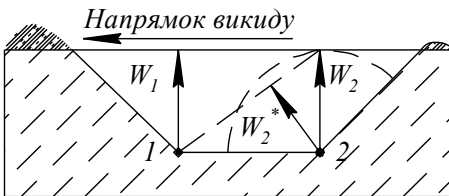


Рис. 4.2. Схема дії зарядів викиду

При проведенні траншей заряди ВР закладають у кілька рядів уздовж осі траншеї та розташовують в шаховому порядку.

Для досягнення спрямованого викиду породи заряди розташовують у 2...3 ряди уздовж осі траншеї і підривають ряди послідовно від 0,5 до 6,0 секунд, в залежності від величини л.н.о. W та властивостей ґрунту чи породи. Перший вибухає ряд, розташований з неробочого борту, на

який необхідно викинути породу (рис. 4.2.). Маса зарядів не однакова і збільшується від ряду до ряду. При розрахунку



зарядів першого ряду приймається $n = 1, 0...1, 5$, а для наступних $n = 2, 0...2, 5$.

Маса зарядів викиду визначається за формулами:

$$Q = qW^3(0,4 + 0,6n^3), \text{ кг} \quad W < 20 \text{ м} \quad (4.5)$$

$$Q = qW^3(0,4 + 0,6n^3) \sqrt{\frac{W}{20}}, \text{ кг} \quad W = 20...40 \text{ м} \quad (4.6)$$

де q – питомі витрати ВР, кг/м^3 .

Працездатність вибухового матеріалу визначається наступним чином

$$q = q_0 \frac{P_0}{P}, \text{ кг/м}^3 \quad (4.7)$$

де q_0 – питомі витрати ВР при працездатності $P_0 = 300 \text{ см}^3$ (додаток 6); P – працездатність ВР що застосовуються, см^3 .

За прийнятою схемою висаджування гірських порід розраховують необхідну кількість матеріалів і засобів ініціювання. Розробляється проект чи паспорт буровибухових робіт.

Тема 6. Розрахунок параметрів буровибухових робіт при проведенні підземних виробок.

6.1. Заряди ВР і їхнє розташування при спорудженні підземних гірничих виробок

Підземні виробки проводять в основному в шахтах і рудниках. На кар'єрах проведення підземних виробок здійснюють для створення комплексу водовідвідних споруд, розташування засобів транспорту корисних копалин і при проведенні штолень чи шурфів для закладання камерних зарядів. При проведенні підземних виробок застосовують вибухові речовини з нульовим кисневим балансом, а за наявності вибухонебезпечних газів чи пилу - запобіжні. Одним з найпоширенішим є метод шпурових зарядів.

За призначенням шпури поділяються на три групи: - врубові, для утворення додаткової вільної поверхні та буряться за спеціальною схемою; - відбійні (допоміжні, проміжні), для



розширення врубової порожнини і розташовуються перпендикулярно до проектного контуру виробки; - оконтурюючи, для відбивання породи по контуру з метою придання виробці проектного перетину та буряться похило у відповідності до фізико-механічних властивостей порід.

Оконтурюючі шпури буряться на відстані 0,15...0,20 м від проектного контуру виробки під кутом 80...87° убік контуру виробки. Кінці оконтурюючих шпурів у породах середньої міцності співпадають з проектним контуром, в міцних породах виступають за контур на 5...10 см, в слабких породах доходять до контуру.

За глибиною шпури поділяються на глибокі (довжиною більше 2,5 м), середньої глибини (довжиною 1,5..2,5 м), дрібні (довжиною до 1,5 м).

“Єдині правила безпеки при підривних роботах” (ЄПБ) встановлюють мінімально допустимі відстані між шпурами (табл.5.1.) та від зарядів ВР до найближчої оголеної поверхні.

Мінімально допустимі відстані від заряду до оголеної поверхні для всіх класів ВР: по вугіллю – 0,5 м, по породі – 0,3 м.

Таблиця 5.1.

Мінімально допустимі відстані між шпуровими зарядами ВР

Умови підривання	a_{min} , мм, залежно від класу ВР			
	II	III...IV	V	VI
По вугіллю	0,60	0,60	0,50	0,40
По породі, якщо:				
$f < 7$	0,50	0,45	0,30	0,25
$f < 7...10$	0,40	0,30	-	-
$f > 10$	Визначається нормативами, розробленими за погодженням з НДІ			

Вруби поділяються на дві групи: похилі (відриваючі) та прямі (руйнуючі). Врубів шпури буряться на 0,2...0,5 м глибше інших.

Кут нахилу шпурів в похилому врубі складає 55...70° до площини вибою, відстань між їхніми кінцями 0,1...0,2 м. Розташування шпурів у врубі визначається типом врубу та властивостями гірських порід (рис.5.1., рис.5.2.).



Прямі вруби утворюють шпури пробурені перпендикулярно до площини вибою. Такі вруби доцільні для міцних порід, а також для порід будь-якої міцності у виробках малого перерізу. Довжина шпурів не обмежується поперечним перерізом виробки, а їх розташування визначається типом врубу (рис. 5.3.). У ряді випадків, для цих врубів буряться “холості” (незаряджені) шпури для збільшення оголеної поверхні. Такі вруби застосовуються лише у виробках, у яких відсутні виділення метану та вибухонебезпечний вугільний пил.

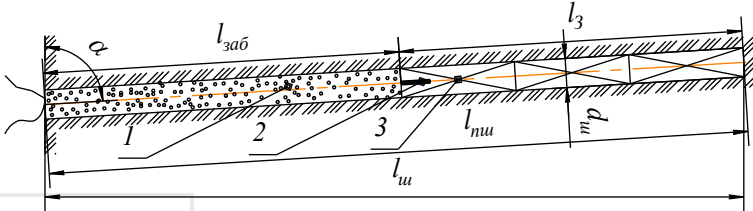


Рис. 5.1. Конструкція шпурового заряду ВР.

1 – забійка шпуру, 2 – електродетонатор, 3 – вибухова речовина.

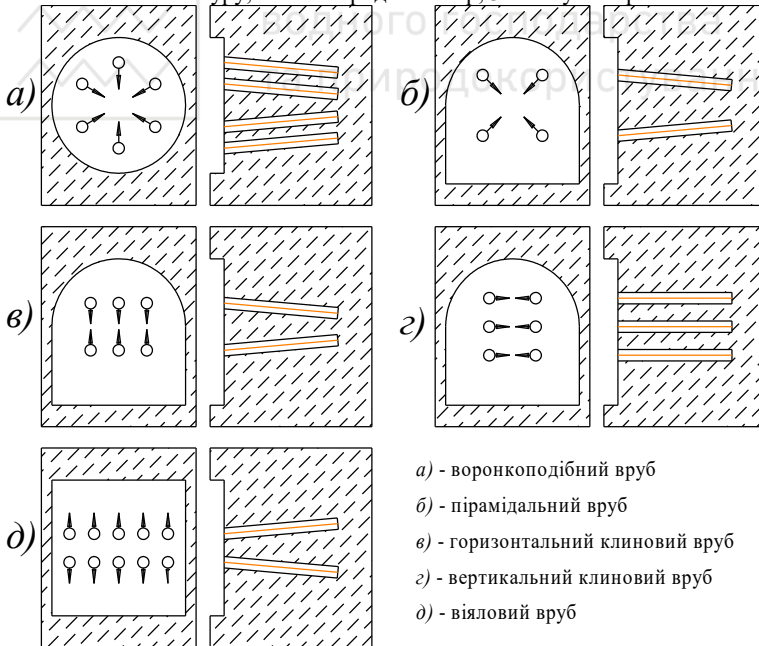


Рис. 5.2. Похилі вруби

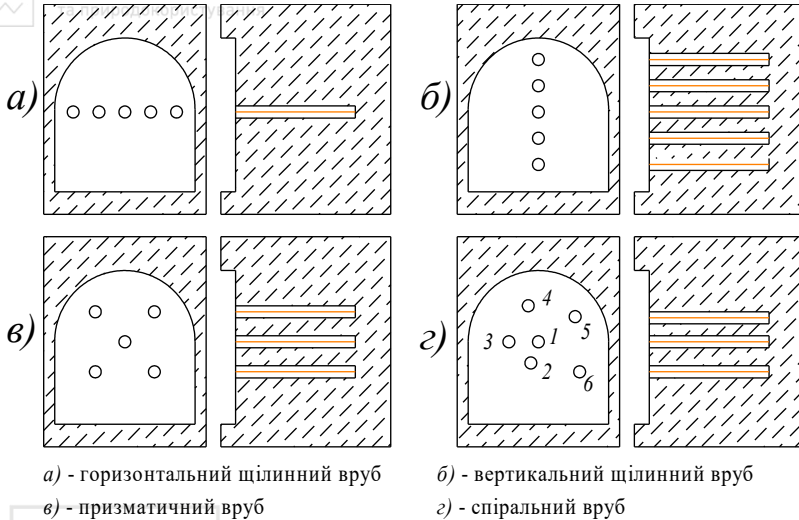


Рис. 5.3. Прямі вруби

6.2. Розрахунок параметрів буропідричних робіт для однорідного вибою

Для однорідного породного вибою у відповідності до гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов спорудження виробки (міцність (f) і характеристика структури (F) породи, обводненість, небезпека з газу та пилу, висота (H), ширина внизу (B), площа поперечного перерізу (S) виробки та ін.) вибирають тип ВР, спосіб висадження, тип врубу, діаметр шпуру, необхідний діаметр патрона ВР, його довжину і масу, довжину заходки, коефіцієнт використання шпуру.

Довжина заходки повинна бути кратною (якщо можливо) кроку встановлення кріплення (у стволах – висоті просування опалубки).



Таблиця 5.1.

Рекомендовані значення довжини заходки та КВШ при спорудженні підземних виробок

Виробки	Міцність породи, f	Довжина заходки, $l_{зах}$, м	Коефіцієнт використання шпуру, КВШ
Стволи шахтні ($S_{нч} = 20...50 \text{ м}^2$)	> 12	2,5...3,5	0,80...0,90
Горизонтальні і похилі виробки ($S_{нч} = 4...20 \text{ м}^2$)	12...3	1,5...3,0	0,80...0,90
	20...6	1,2...2,0	0,80...0,85

Глибина прямого шпуру визначається за формулою

$$l_{ш} = l_{зах} / \eta, \text{ м} \quad (5.1)$$

де $l_{зах}$ – довжина заходки, м; η – коефіцієнт використання шпуру.

Довжина похилого шпуру

$$l_{нш} = \frac{l_{ш}}{\sin \alpha}, \text{ м} \quad (5.2)$$

де α – кут нахилу шпуру до площини забою.

Об'єм породи, що руйнується за одне підірвання

$$V_{зах} = S_{нч} \cdot l_{зах}, \text{ м}^3 \quad (5.3)$$

де $S_{нч}$ – площа поперечного перерізу виробки начорно, м^2 .

Питомі витрати ВР за формулою Н.М. Покровського

$$q = q_n F V e, \text{ кг/м}^3 \quad (5.4)$$

де q_n – нормальні питомі витрати ВР, приймаються за табл.5.2, кг/м^3 ; F – коефіцієнт, який враховує структуру породи, приймається за табл.5.3; V – коефіцієнт затиску породи; e – коефіцієнт працездатності вибухової речовини.

Коефіцієнт затиску породи визначається наступним чином

$$V = \frac{6,5}{\sqrt{S_{нч}}}, \text{ або } V = \frac{3l_{ш}}{\sqrt{S_{нч}}}, \quad (5.5)$$

При двох оголених поверхнях виробки приймають $V = 1,2...1,5$.

Коефіцієнт працездатності вибухової речовини



$$e = \frac{P_0}{P}, \quad (5.6)$$

де $P_0 = 380 \text{ см}^3$ – працездатність еталонної ВР (62% динаміту);

P – працездатність вибухової речовини, яка застосовується, см^3 .

Таблиця 5.2

Питомі витрати ВР

Коефіцієнт міцності породи f	Витрати ВР. q_n , кг/м^3
15...20	1,2...1,5
10...14	1,0...1,1
7...9	0,7...0,8
4...6	0,4...0,6
2...3	0,2...0,3

Таблиця 5.3

Коефіцієнт структури породи

Характеристика структури породи	Коефіцієнт структури породи, F
В'язкі, пористі	2,0
З дрібною тріщинуватістю	1,3
Сланцеві	1,3
Крихкі	1,1
Щільні дрібношарові	0,8

Можлива маса ВР, що припадає на одиницю довжини шпуру

$$\gamma = \frac{\pi \cdot d_{ш}^2}{4} a \Delta_{зар}, \text{ кг/м} \quad (5.7)$$

де $d_{ш}$ – діаметр шпуру, м; $\Delta_{зар}$ – щільність заряджання, кг/м^3 ;

a – коефіцієнт заповнення шпуру (відношення довжини заряду $l_{зар}$ до загальної довжини шпуру $l_{ш}$), приймається відповідно до вимог ЄПБ, приймається по табл.5.4 або табл.5.5.

Щільність заряджання для патронів ВР

$$\Delta_{зар} = (d_n/d_{ш})^2 \rho_n, \text{ кг/м}^3 \quad (5.8)$$

де d_n – діаметр патрона, м; $d_{ш}$ – діаметр шпуру, м; ρ_n – щільність ВР в патроні, кг/м^3 .

Необхідна кількість шпурів визначається за формулою

$$N = \frac{qS}{\gamma}, \text{ шт} \quad (5.9)$$



або за формулою

$$N = 3.3 \cdot \sqrt[3]{fS}, \text{ шт.} \quad (5.10)$$

Необхідну кількість шпурів уточнюють графічно за схемою поперечного перерізу виробки (рис.5.4.): врубові шпури, відбійні, оконтурювальні.

Витрати (маса) вибухової речовини на заходку

$$Q = qS\eta l_{ш}, \text{ кг} \quad (5.11)$$

Таблиця 5.4

Коефіцієнт використання шпуру
(для виробок небезпечних по газу та пилу)

Довжина шпуру, $l_{ш}$, м	Коефіцієнт заповнення шпуру, a
0,65...0,90	0,50
$l_{ш} > 0,90$	
- по породі	0,67
- по вугіллю	0,50

Таблиця 5.5

Коефіцієнт використання шпуру
(для виробок безпечних по газу та пилу)

Коефіцієнт міцності, f	Коефіцієнт заповнення шпуру, a
≤ 3	0,40...0,50
3...6	0,50...0,65
> 6	0,65...0,85

Середня величина (маса) заряду на один шпур

$$Q_{ш} = Q/N_y, \text{ кг} \quad (5.12)$$

де N_y – уточнена кількість шпурів.

Середню масу заряду $Q_{ш}$ множать на поправочні коефіцієнти: 1,1...1,3 - для врубових шпурів, 0,8...0,9 – для бічних і верхніх оконтурювальних шпурів. Отримані величини $Q_{ш}$ (маси) зарядів округлюється до числа, кратного масі патрона ВР.

Довжина заряду в шпурі

$$l_3 = Q_{ш} / \gamma, \text{ м} \quad (5.13)$$

Довжина забійки заряду в шпурі

$$l_{заб} = l_{ш} - l_3, \text{ м} \quad (5.14)$$

Після розподілу ВР по шпурах здійснюється перевірка відповідності довжини забійки вимогам ЄПБ.



$$l_{заб} \geq l_{доп}, \text{ м} \quad (5.15)$$

де $l_{доп}$ – мінімально допустима відстань від заряду до оголеної поверхні вибою, м.

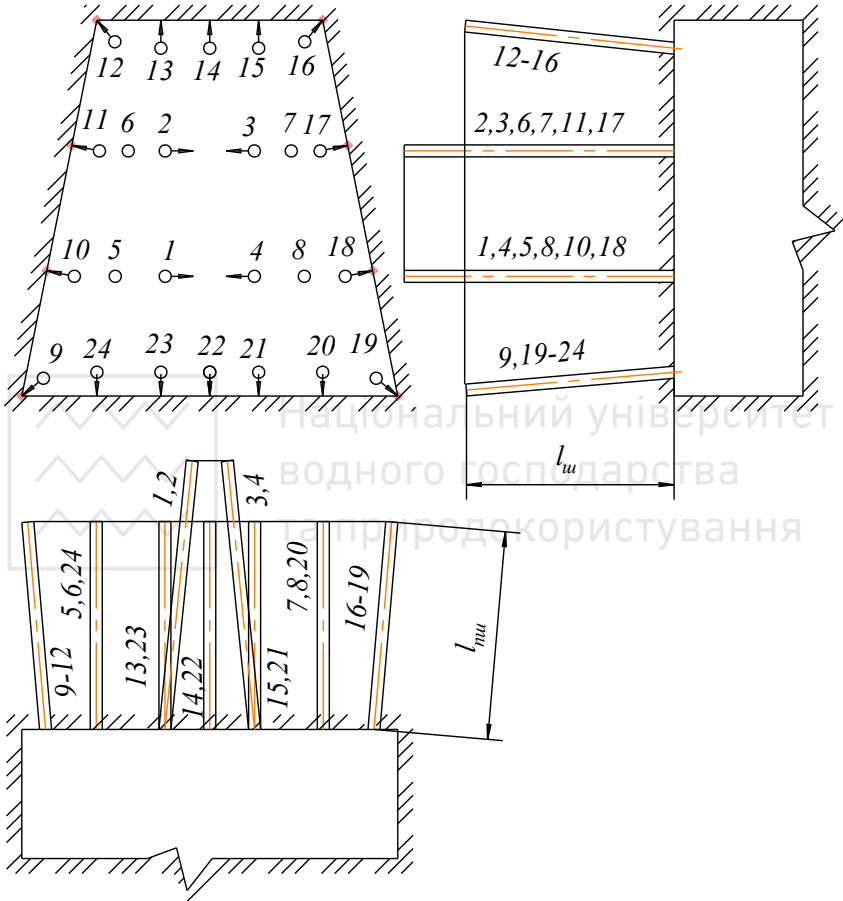


Рис. 5.4. Принципова схема розташування шпурів у вибій гірничої виробки.

Фактична величина заряду Q_{ϕ} на вибій визначається як сума мас усіх шпурових зарядів. Фактична величина заряду не повинна відрізнятись від розрахункової більш ніж на 10%.

$$Q_{\phi} = n_{вр} Q_{вр} + n_{від} Q_{від} + n_{ок} Q_{ок}, \text{ кг} \quad (5.16)$$



де Q_{ep} , $Q_{від}$, $Q_{ок}$ – маса зарядів ВР у кожному із врубових, відбійних і оконтурювальних шпурів, кг; n_{ep} , $n_{від}$, $n_{ок}$ – кількість врубових, відбійних і оконтурювальних шпурів.

Витрати на один погонний метр виробки: вибухової речовини Q_1 , детонаторів N_1 і об'єму буріння V_1 .

$$Q_1 = \frac{Q_{\Phi}}{l_{зax}}, \text{ кг/м} \quad (5.17)$$

$$N_1 = \frac{1}{l_{зax}} (n_{ep} + n_{від} + n_{ок}), \text{ шт./м} \quad (5.18)$$

$$V_1 = \frac{1}{l_{зax}} (n_{ep} l_{ш}^{ep} + n_{від} l_{ш}^{від} + n_{ок} l_{ш}^{ок}), \text{ м/м} \quad (5.19)$$

де $l_{ш}^{ep}$, $l_{ш}^{від}$, $l_{ш}^{ок}$ – довжина кожного з врубових, відбійних і оконтурювальних шпурів.

Витрати на один 1 м^3 виробки: вибухової речовини Q_2 , детонаторів N_2 і об'єму буріння V_2 .

$$Q_2 = \frac{Q_{\Phi}}{Sl_{зax}}, \text{ кг/м}^3 \quad (5.20)$$

$$N_2 = \frac{1}{Sl_{зax}} (n_{ep} + n_{від} + n_{ок}), \text{ шт./м}^3 \quad (5.21)$$

$$V_2 = \frac{1}{Sl_{зax}} (n_{ep} l_{ш}^{ep} + n_{від} l_{ш}^{від} + n_{ок} l_{ш}^{ок}), \text{ м/м}^3 \quad (5.22)$$

За результатами розрахунку шпурових зарядів виконується розрахунок електропідривної мережі, вибір джерела струму та складають паспорт буропідривних робіт (ПБР), який містить крім технологічних показників наступне:

- схему розташування шпурів у двох чи трьох проєкціях із зазначенням кількості та діаметру шпурів, їхньої глибини і куту нахилу;

- кількість серій та послідовність висадження;

- масу зарядів в кожному шпурі, загальну витрату ВР, питому витрату ВР, витрату детонаторів і інших засобів висаджування;



Національний університет
водного господарства
та природокористування

- довжину забійки кожного шпуру та загальну кількість забійного матеріалу;
- час для провітрювання вибою після вибуху.



Національний університет
водного господарства
та природокористування



Додаток 1.

Молярна теплота утворення деяких вибухових речовин і газів

Речовина	Хімічна формула	Молярна маса г/моль	Молярна теплота утворення кДж/моль
Амоній нітрат	NH_4NO_3	80	+ 371
Калій нітрат	KNO_3	101	+ 503
Натрій нітрат	$NaNO_3$	85	+ 465
Динітронафталін	$C_{10}H_6(NO_2)_2$	218	- 23,63
Нітрогліцерин	$C_3H_5(ONO_2)_3$	227	+ 394
Нітрогліколь	$C_2H_4(ONO_2)_2$	152	+ 283
Тен	$C_5H_8(ONO_2)_4$	316	+ 516
Тротіл (тринітротолуол)	$C_6H_2(NO_2)_3CH_3$	287	+ 69,3
Динітротолуол	$C_7H_6(NO_2)_2$	182	+ 64,3
Тетрил	$C_6H_2(NO_2)_4NCH_3$	287	- 38,0
Гексоген	$C_3H_6N_3(NO_2)_3$	222	- 88,0
Деревинне борошно	$C_{15}H_{22}O_{10}$	1010	+ 2837
Динітрогліколь	$C_2H_4(ONO_2)_2$	152	+ 235
Меркурій(II) ціанід (гримуча ртуть)	$Hg(CNO)_2$	284,59	- 272
Плюмбій(II) азид (азид свинцю)	$Pb(N_2)_3$	291	- 448
Нітроген(II) оксид	NO	30	- 92
Нітроген(IV) оксид	NO_2	46	- 17
Нітроген(I) оксид	N_2O	34	- 86,4
Карбон(II) оксид	CO	28	+ 109,8
Карбон(IV) оксид	CO_2	44	+ 395
Колоїдна бавовна (піроксилін)	$C_{24}H_{31}O_{11}(ONO_2)_9$	1053	2950
Вода (пара)	H_2O	18	+ 241,5
Вода (рідина)	H_2O	18	+ 286,0
Калію перхлорат	$KClO_4$	138,5	+ 438



Алюміній оксид	Al_2O_3	102	+ 1870,0
Метан	CH_4	16	+ 78,0
Целюлоза	$(C_6H_{10}O_5)_x$	162	+ 839,0

Додаток 2

Залежність теплоємності при постійному об'ємі
продуктів вибуху від температури

Компоненти продуктів вибуху	Коефіцієнти	
	<i>a</i> , Дж/(моль К)	<i>b</i> , Дж/(моль К ²)
Двоатомні гази (CO , N_2 , O_2)	20,10	$18,0 \cdot 10^{-4}$
Триатомні гази (NO_2)	30,20	$18,8 \cdot 10^{-4}$
Чотириатомні гази (NH_3)	41,90	$18,8 \cdot 10^{-4}$
Пара води (H_2O)	16,80	$18,90 \cdot 10^{-4}$
Карбон(IV) оксид (CO_2)	37,70	$24,3 \cdot 10^{-4}$
Карбон (C)	6,23	$66,8 \cdot 10^{-4}$
Алюміній оксид (Al_2O_3)	94,73	$168,14 \cdot 10^{-4}$
Кальцій оксид (CaO)	40,57	$42,252 \cdot 10^{-4}$
Натрій хлорид ($NaCl$)	34,88	$21,88 \cdot 10^{-4}$
Калій хлорид (KCl)	37,47	$74,163 \cdot 10^{-4}$

Додаток 3

Фізико-хімічні величини продуктів вибуху (твердих
компонентів)

Компоненти продуктів вибуху	Густина продуктів вибуху, кг/м ³	Молярна теплота утворення, кДж/моль
CaO	3370	635,10
KCl	1980	436,70
$NaCl$	2165	411,10
Na_2O	2390	418,00
P_2O_5	2390	1507,00
Al_2O_3	3900	1670,20
Na_3PO_4	2536	1924,60
$CaCl_2$	2150	797,44



Типорозмір бурового інструменту

Спосіб буріння	Шнековий	Пневмоударний	Шарошковий
Коефіцієнт міцності, f	2 ÷ 10	10 ÷ 20	12 ÷ 20
Діаметр робочого інструменту, d_d	125, 160, 200	105; 125; 150; 160; 200	76,0; 98,4; 112; 146; 165,1; 190,5; 215,9; 222,3; 244,5; 250,8; 269,0; 320,0; 400

Показники відносної працездатності вибухових речовин

Вибухова речовина	k_{BP}	Вибухова речовин	k_{BP}
Акватор ГЛТ-20	0,80	Грамоніт 79/21	0,85
Акватор 65/35	1,00	Грануліт АС-8	0,89
Акватор МГ	1,00	Грануліт М	1,13
Алюмотол	0,83	Грануліт НМ	1,00
Амонал	0,90	Грануліт НМ ПМ	0,85
Амоніт БЖВ	1,00	Гранулотол	0,85
Амоніт скельний №1	0,81	Ігданіт	1,20
Гелекс Р	0,85	Іфзаніт Т-20	1,20
Грамонал А-8	0,80	Іфзаніт Т-60	1,10
Грамонал А-45	0,79	Іфзаніт Т-80	1,08
Грамонал А-50	1,08	Карбатол 15Т	1,42
Грамоніт 30/70-В	1,26	Карбатол ГЛ-10В	0,79
Грамоніт 50/50-В	1,01	Україніт – Д, ПМ	0,85



Щільність заряджання вибухових речовин

Вибухова речовина	Щільність за-ряджання, Δ , кг/м ³	Вибухова речовин	Щільність за-ряджання, Δ , кг/м ³
Акватол ГЛТ	1400	Грануліт КС	950
Акватол 65/35	1200÷1300	Грануліт АС-8	800÷850
Акватол МГ	1250÷1300	Грануліт М	800÷850
Алюмотол	950÷1000	Грануліт НМ	950
Амонал	850÷1100	Грануліт НМ ПМ	950
Амоніт 6ЖВ	1000÷1200	Гранулотол	950÷1000
Амоніт скельний №1	1000÷1300	Ігданіт	900
Грамонал А-8	950÷1200	Іфзаніт Т-20	1200÷1300
Грамонал А-45	900÷1100	Іфзаніт Т-60	1200÷1350
Грамонал А-50	900÷950	Іфзаніт Т-80	1300÷1400
Грамоніт 30/70-В	950÷1000	Карбатол 15Т	950
Грамоніт 50/50-В	900÷950	Карбатол ГЛ-10В	1400÷1600
Грамоніт 79/21	850÷900	Україніт – Д, ПМ	1450÷1500
Гелекс Р80	1200÷1300	Гелекс Р120	1250÷1380
Гелекс Р100	1250÷1380	Гелекс Р140	1320÷1400



Додаток 7

Питомі витрати для зарядів викидання та розпушування

Коефіцієнт міцності породи, f	Категорія міцності порід за шкалою “Союзвзрывпрома”	Питома витрата ВР q , кг/м ³ ,	
		заряд нормального викиду	заряд розпушування
0,3	I	0,85	-
0,5	II	0,95	-
0,5	III	1,00	-
0,6	IV	1,05	-
0,8...1	V	1,05	0,27
1,5...2	VI	1,05	0,27
3...4	VII	1,35	0,32
5...6	VIII	1,35	0,32
5...6	IX	1,50	0,38
5...6	X	1,50	0,38
8...10	XI	1,80	0,45
8...10	XII	1,95	0,50
12...14	XIII	2,10	0,50
12...14	XIV	2,40	0,55
16...20	XV	2,55	0,55
16...20	XVI	2,70	0,60

Додаток 8

Коефіцієнти розпушення та зближення свердловин

Коефіцієнт міцності за Протодяконовим	Коефіцієнт розпушення, K_p	Коефіцієнт зближення свердловин, m
6...10	1,05	1,10...1,0
11...14	1,10	1,0...0,95
15...18	1,20	0,95...0,85
19 та >	1,30	0,85...0,80



Порівняльна класифікація гірських порід

Група порід за БНіП	Коефіцієнт міцності порід за шкалою Протодьяконова	Категорії тріщинуватості за класифікацією міжгалузевої комісії	Класи порід за трудностю подрібнення вибухом (висаджування)
I	0,3		
II	0,5		
III	0,6		
IV	0,8...1,0 1,5...2,0	I дрібноблочні	I малої труднощі висаджування
V	3,0...4,0	II середньоблочні	II середньої труднощі висаджування
VI	4,0...6,0	II середньоблочні	II середньої труднощі висаджування
VII	7,0...8,0	III крупноблочні	III трудно- висаджуванні
VIII	9,0...10,0	III крупноблочні	III трудно- висаджуванні
IX	11,0...14,0	IV надто крупноблочні	IV дуже трудно- висаджуванні
X	15,0...18,0	IV надто крупноблочні	IV дуже трудно- висаджуванні
XI	19,0...20,0	V надзвичайно крупноблочні	V надзвичайно трудновисаджуванні

Класифікація масивів порід за тріщинуватістю і вмістом крупних кусків
Міжвідомчої комісії з підривної справи та рекомендовані діаметри свердловин

Категорія порід за тріщинуватістю	Ступінь тріщинуватості (блочності) масиву	Питома тріщинуватість, м-1	Середній розмір окремостей, м	Вміст (%) у масиві окремостей розміром крупніше			Рекомендований діаметр свердловин, мм
				0,3 м	0,7 м	1,0 м	
I	Надзвичайно тріщинуваті (дрібноблочні)	> 10	< 0,1	< 10	0	0	250 ÷ 400
II	Сильно тріщинуваті (середньоблочні)	2 ÷ 10	0,1 ÷ 0,5	10 ÷ 70	< 30	< 5	250 ÷ 320
III	Середньо тріщинуваті (крупноблочні)	1 ÷ 2	0,5 ÷ 1,0	70 ÷ 100	30 ÷ 80	5 ÷ 40	200 ÷ 250
IV	Мало тріщинуваті (надто крупноблочні)	0,65 ÷ 1,0	1,0 ÷ 1,5	100	80 ÷ 90	40 ÷ 80	150 ÷ 200
V	Практично монолітні (надзвичайно крупноблочні)	< 0,65	> 1,5	100	100	100	100 ÷ 150



Література

1. Шевцов М. Р., Таранов П. Я., Левіт В. В., Гудзь О. Г. Руйнування гірських порід вибухом: Підручник для вузів. – 4-е видання перероб. і доп. Донецьк, 2003. 248 с.
2. Сименович Г. А., Меліхов В. П. Руйнування гірських порід вибухом. Навч. посібник, Дніпропетровськ : ДНГУ, 2003. 116 с.
3. Единые правила безопасности при взрывных работах. Киев : Норматив, 1992. 172с.
4. Справочник взрывника. Под редакцией Б. Н. Кутузова. М.: Недра, 1988. 511 с.
5. Таранов П. Я., Гудзь А. Г. Разрушение горных пород взрывом. М.: Недра, 1976. 254 с.
6. Суханов А. Ф., Кутузов Б. Н. Разрушение горных пород взрывом. М. : Недра, 1983. 344 с.
7. Справочник по взрывным работам. / М. Ф. Друкований, Л. В. Дубнов, Э. О. Миндели и др. М. : Недра, 1986. 631 с.
8. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. М. : Недра, 1972. 520 с.
9. Физика взрыва. / Под ред. К. П. Станюковича. – М. : Наука, 1975. 704 с.
10. Кутузов Б. Н. Взрывное и механическое разрушение горных пород. М. : Недра, 1973. 312 с.
11. Авдеев Ф. А., Барон В. Л., Бейман И. Л. Производство массовых взрывов. М. : Недра, 1977. 312 с.