

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



В.В. Соболев
І.І. Усик
Р.М. Терещук

ТЕХНОЛОГІЯ ТА БЕЗПЕКА ВИКОНАННЯ ВИБУХОВИХ РОБІТ

ПРАКТИКУМ

Підручник

Дніпропетровськ
НГУ
2014

УДК 622.235 (076.1)

ББК 33.133я 73

С 54

Затверджено вченою радою Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» як підручник для бакалаврів з гірництва та спеціалістів спеціальності 7.05030102 Шахтне і підземне будівництво (протокол № 6 від 01.07.2014).

Рецензенти:

Г.Д. Пчолкін, канд. техн. наук, професор, професор кафедри відкритих гірничих робіт Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет»;

С.В. Борщевський, д-р техн. наук, професор, професор кафедри будівництва шахт і підземних споруд Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет».

Соболев В.В.

С 54 Технологія та безпека виконання вибухових робіт. Практикум : підручник для ВНЗ / В.В. Соболев, І.І. Усик, Р.М. Терещук ; М-во освіти і науки України ; Нац. гірн. ун-т. – Д. : НГУ, 2014. – 176 с.

ISBN 978–966–350–504–6

Наведено приклади розв'язання типових задач з гірничовибухової справи. Такі довідкові дані, як параметри вибухових речовин, засоби підривання, властивості гірських порід і т. ін. подані у таблицях, така форма подання навчального матеріалу допоможе студентам під час самостійної роботи. Дано приклад розрахунку паспорта буропідричних робіт і необхідний графічний матеріал.

Розрахований на студентів вищих навчальних закладів напряму підготовки «Гірництво», які вивчають дисципліни «Технологія та безпека виконання вибухових робіт», «Руйнування гірських порід вибухом», «Вибухові роботи у міських умовах», «Спеціальні підривні роботи», а також на фахівців вибухової справи, інженерів, аспірантів.

УДК 622.235 (076.1)

ББК 33.133я 73

© В.В. Соболев, І.І. Усик, Р.М. Терещук, 2014

ISBN 978–966–350–504–6 © ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2014

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	5
1. КИСНЕВИЙ БАЛАНС ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН.....	6
1.1. Загальні відомості.....	6
1.2. Розрахунок кисневого балансу вибухової речовини.....	7
1.3. Рецептатура промислових вибухових речовин.....	11
1.4. Задачі для самостійної роботи.....	12
2. РОЗРАХУНОК ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИБУХУ.....	17
2.1. Теплота вибуху.....	17
2.2. Температура газів вибуху.....	19
2.3. Об'єм газів вибуху.....	21
2.4. Тиск газів вибуху.....	21
2.5. Задачі для самостійної роботи.....	22
3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДЕТОНАЦІЇ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН.....	25
3.1. Задачі для самостійної роботи.....	27
4. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ УДАРНИХ ХВИЛЬ.....	30
4.1. Ударні хвилі у повітрі.....	30
4.1.1. Задачі для самостійної роботи.....	32
4.2. Визначення тиску в рідині.....	36
4.2.1. Задачі для самостійної роботи.....	41
4.3. Розрахунок ударних хвиль у піску.....	41
4.3.1. Задачі для самостійної роботи.....	44
4.4. Ударні хвилі у твердому середовищі.....	46
4.4.1. Задачі для самостійної роботи.....	50
5. ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ ВІДСТАНЕЙ ПРИ ВИБУХОВИХ РОБОТАХ.....	52
5.1. Сейсмічно безпечні відстані.....	52
5.1.1. Задачі для самостійної роботи.....	56
5.2. Визначення безпечних відстаней під час розльоту окремих шматків породи.....	58
5.2.1. Задачі для самостійної роботи.....	62
5.3. Приклади розрахунку сейсмічної ефективності вибуху.....	63
5.3.1. Задачі для самостійної роботи.....	66
6. РОЗРАХУНОК ЗАРЯДІВ РОЗПУШЕННЯ.....	68
6.1. Визначення параметрів шпурових зарядів.....	68
6.2. Визначення параметрів свердловинних зарядів.....	71
6.3. Задачі для самостійної роботи.....	78
7. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПІДРИВНОЇ МЕРЕЖІ.....	79
7.1. Розрахунок мережі при послідовному з'єднанні ЕД.....	79

7.2. Розрахунок мережі при паралельному з'єднанні ЕД.....	85
7.3. Задачі для самостійної роботи.....	93
8. ПІДРИВНІ РОБОТИ У МІСЬКИХ УМОВАХ.....	96
9. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ І СКЛАДАННЯ ПАСПОРТА БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ.....	109
10. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ПАСПОРТА БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ.....	129
11. СПЕЦІАЛЬНІ ПІДРИВНІ РОБОТИ.....	143
11.1. Вибухове утворення камуфлетних порожнин.....	143
11.2. Розрахунок розташування й величини зарядів при видаленні верх- нього торф'яного покриття боліт висадженням поперечних і повздовжніх траншей.....	145
11.3. Розрахунок розташування й величин зарядів при посадці укосів насипу, що не досягли мінерального дна болота.....	148
11.4. Розрахунок розташування й величин зарядів при витисненні торфу з-під насипів й утворення канал-торфоприймачів.....	150
11.5. Корчування пнів.....	154
11.6. Розрахунок розташування й величин шпурових зарядів (при наяв- ності двох відкритих поверхонь і потужності мерзлого шару від 1 до 2 м)...	156
11.7. Розрахунок розташування й величин малокамерних зарядів (при наявності двох відкритих поверхонь і потужності мерзлого шару більше 2 м).....	158
11.8. Поглиблення дна ріки шпуровим (свердловинним) методом.....	159
11.9. Утворення ополонків.....	161
Додаток.....	163
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	174
ТАБЛИЦІ ОДИНИЦЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН.....	175

ПЕРЕДМОВА

Підвищення науково-теоретичного рівня і глибоке засвоєння основних розділів навчальних програм дисциплін з гірничовибухової справи («Техніка та безпека виконання вибухових робіт», «Спеціальні підривні роботи», «Руйнування гірських порід вибухом», «Вибухові роботи у міських умовах») потребує приділяти більше уваги вирішенню фізичних задач, що реально виникають під час підготовки і проведення підривних робіт.

Мета написання підручника полягає в ознайомленні студентів із найбільш загальними способами та методами вирішення типових задач, завдяки чому формується фізичне мислення студентів та з'являються відповідні практичні уміння і навички. У підручнику зроблена спроба підібрати типові задачі різних видів, зважаючи на специфіку кожного розділу навчальної програми. Для вирішення задач та прикладів рекомендуються формули, які перевірені практикою підривних робіт і наведені в літературних джерелах з гірничовибухової справи. При цьому автори враховують попередню підготовку студентів з таких фундаментальних дисциплін, як фізика, хімія, математика та фізика гірських порід.

Усі задачі містять значний фактичний матеріал і автори надають великого значення максимальному та всебічному використанню його в навчальних і практичних цілях.

Матеріал підручника поданий так, щоб звернути увагу студентів на численні довідкові дані, що наведені в таблицях. Використання цих даних у більшості випадків дає змогу не користуватися додатково іншими подібними підручниками, посібниками та довідниками. Призначення підручника передбачає виконання завдань як із викладачем, так і під час самостійної роботи.

1. КИСНЕВИЙ БАЛАНС ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

1.1. Загальні відомості

Вибух являє собою необоротну хімічну реакцію перетворення вихідної вибухової речовини (ВР) у газоподібні продукти. Напрямок реакції й склад кінцевих продуктів визначають основні параметри вибуху: теплоту, температуру, тиск тощо. Окисли азоту й окис вуглецю, що входять до складу продуктів вибуху (ПВ), як відомо, мають високу токсичність. Вони стають особливо небезпечними в підземних виробках, коли їхня кількість перевищує припустимі норми. Боротьба з отруйними газами в гірничих виробках ведеться протягом багатьох десятиків років, а в даний час у зв'язку з розширенням асортименту застосовуваних ВР і розвитком гірничих робіт стає дуже важливою та актуальною. Неминучі обмеження, наприклад, згідно з умовами вентиляції у підняттяєвих виробках змушують уводити певні норми для ВР відносно кількості утворених під час вибуху отруйних газів.

Ідеальними компонентами вибухового перетворення є найбільш термодинамічно стійкі хімічні з'єднання. Однак у випадках промислового використання ВР спостерігаються відхилення від ідеального складу ПВ із кількох причин. Наприклад, на склад ПВ із негативним кисневим балансом інтенсивно впливає щільність заряду ВР, швидкість загартування ПВ (швидкість теплообміну з навколишнім середовищем), умови, радіус розльоту ПВ, тобто час протікання реакції у зоні хімічного піка й особливості характеру взаємодії між компонентами ПВ, а також хімічний склад і концентрація добавок. Крім цього, властивості гірських порід при веденні підричних робіт дуже помітно впливають на утворення, склад і концентрацію отруйних газів. Причиною відхилення від ідеального складу ПВ є каталітична дія гірських порід – під час вибуху однієї ВР у різних гірських породах були виявлені значні відхилення кількісного складу отруйних газів. Інакше кажучи, гірські породи вступають у хімічну взаємодію з ПВ, виконуючи каталітичну дію на сценарії вторинних реакцій у самих ПВ.

Експерименти, що проводилися в ІГД ім. А.А. Скочинського й у МакНДІ, свідчать про те, що вплив породи, яка оточує заряд ВР, значно сильніше, ніж вплив складу ВР на кількість отруйних газів у ПВ. Коливання сумарної кількості отруйних газів під час вибуху різних ВР в одній гірській породі досягали 220 %, а під час вибуху однієї ВР у різних породах – 1000.

При висадженні зарядів ВР у гірничому масиві в радіусі декількох діаметрів заряду генерується ударна хвиля, що супроводжується появою тріщин, механізм утворення яких досить докладно описаний у відповідній літературі. ПВ

під дією високого тиску проникають не тільки у нещодавно створені, але й у тріщини природного походження, викликаючи їхній розвиток. Оскільки гірські породи мають слабку питому електричну провідність, то дуже важливим для них є процес руйнування, під час якого відбувається поділ поверхонь, що супроводжується поділом різнойменних електричних зарядів. Заряди концентруються на поверхнях тріщини, при цьому в місці розриву виникають електричні поля високої напруженості, що призводить до різко незрівноваженого стану поверхні, високої поверхневої провідності й хімічної активності. На хід хімічної реакції і на стійкість молекул у цілому впливають знак і щільність поверхневих зарядів, а також характер розподілу щільності. Зміни складу компонентів газу, їх концентрацій у міжфазних границях контролюються за всіх інших рівних умов поверхневими зарядами. Тиск газів у тріщині може складати кілька десятків атмосфер, а щільність зарядів на поверхні тріщини може бути досить високою. У результаті цього підвищується кількість актів взаємодії молекул із зарядами (кулонівськими центрами), тобто існує велика ймовірність їх зближення на відстані, що може бути порівняна з міжатомними відстанями в молекулі. Через це можлива дисоціація одних молекул і утворення нових, у тому числі й таких отруйних, як окисли азоту й вуглецю.

1.2. Розрахунок кисневого балансу вибухової речовини

Вибух можна розглядати як адіабатне (без теплообміну продуктів вибуху з навколишнім середовищем) необоротне перетворення. Отже, для нього справедливо правило, згідно з яким ізольована система прагне до максимального значення ентропії (друге начало термодинаміки). В ідеальному випадку це має спричинити утворення термодинамічно найбільш стійких з'єднань, що супроводжуються максимальним виділенням тепла Q_{max} . Абсолютне значення Q_{max} буде тим вищим, чим нижча теплота утворення ВР ($q_{ВР}$) і буде залежати від кількісного вмісту кисню і теплотворної здатності паливних елементів, що містяться в складі ВР.

Забезпеченість складу ВР киснем характеризується величиною кисневого балансу (КБ).

Кисневий баланс являє собою співвідношення між кількістю кисню, що міститься в складі даної ВР, і тією його кількістю, яка необхідна для повного окиснювання всіх паливних компонентів, що входять до складу цієї ВР.

За складом ВР підрозділяються на індивідуальні хімічні сполуки і механічні суміші компонентів, що вступають між собою в реакцію. Тому розрахункові формули при визначенні КБ будуть такі:

для індивідуальних ВР

$$KB = \frac{100A_G}{M}, \% \quad (1.1)$$

де A_G – грам-атомна вага надлишку чи нестачі кисню в складі ВР; M – грам-молекулярна вага даної ВР (знаходять у табл. 1.4),

$$A_G = 16(K_B - K_G), \quad (1.2)$$

де 16 – грам-атомна вага кисню; K_G – необхідне число атомів кисню для повного окиснення атомів вуглецю у вуглекислоту й атомів водню у воду; K_B – число атомів кисню, що міститься в речовині (формулу ВР знаходять у табл. 1.1),

$$K_G = 2C_n + \frac{1}{2}H_m. \quad (1.3)$$

При визначенні грам-атомної ваги надлишку чи нестачі кисню A_G варто враховувати, що для повного окиснювання одного атома вуглецю у вуглекислоту CO_2 потрібно два атоми кисню, для окиснювання одного атома водню у воду – 0,5 атома кисню.

ПРИКЛАД 1.1. Знайти КБ динітронафталіну, що має хімічну формулу $C_{10}N_6(NO_2)_2$ і молекулярну вагу $M=218$.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Визначаємо за формулою (1.3) необхідне число атомів кисню:

$$K_G = 2C_{10} + 0,5H_6 = 2 \cdot 10 + 0,5 \cdot 6 = 23.$$

2. За формулою (1.2) знаходимо грам-атомну вагу надлишку чи нестачі кисню A_G у складі динітронафталіну:

$$A_G = 16(K_B - K_G) = 16(4 - 23) = -304.$$

3. Розраховуємо кисневий баланс, використовуючи формулу (1.1):

$$KB = \frac{(-304 \cdot 100)}{218} = -139,4 \%$$

Таким чином, динітронафталін має негативний КБ.

Якщо ВР містить вуглець, водень, азот і кисень і описується формулою $C_aH_bN_cO_d$, кисневий баланс можна обчислити за формулою:

$$KB = \frac{16[d - (2a + 0,5b)]}{12a + b + 14c + 16d} \cdot 100 \%, \quad (1.4)$$

де a, b, c, d – число атомів вуглецю, водню, азоту і кисню відповідно.

Знаменник дробу у формулі (1.4) визначає молекулярну масу ВР, тобто

$$M = 12a + b + 14c + 16d.$$

Нульовому кисневому балансу відповідає кисневий коефіцієнт α_K , що дорівнює одиниці, тобто

$$\alpha_K = \frac{d}{(2a + 0,5b)} = 1.$$

Відносно 1 кг суміші ВР розрахунок КБ зручно робити за формулою:

$$KB = 1,6[d - (2a + 0,5b)], \%,$$

якщо в сумішевій ВР міститься алюміній, то рівняння для КБ і α_K будуть мати вигляд:

$$KB = 1,6[d - (2a + 0,5b + 1,5e)], \%; \quad (1.5)$$

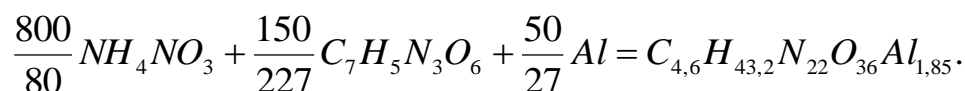
$$\alpha_K = \frac{d}{(2a + 0,5b + 1,5e)},$$

де e – кількість грам-атомів алюмінію.

ПРИКЛАД 1.2. Провести розрахунок КБ амоналу, що складається з 80 % аміачної селітри ($M = 80$), 15 % тротилу ($M = 227$) і алюмінію ($M = 27$).

РОЗВ'ЯЗОК

1. Розраховуємо елементарний склад 1 кг ВР зазначеної рецептури і виписуємо його умовну хімічну формулу:



За формулою (1.7) одержимо:

$$KB = 1,6 \left[36 - \left(2 \cdot 4,6 + \frac{43,2}{2} + 1,5 \cdot 1,85 \right) \right] = 3,5 \, \%.$$

Співвідношення складових вагових частин речовин із негативним і позитивним КБ для одержання ВР із нульовим КБ знаходять за формулою:

$$m_1 = \frac{|-n_2|}{|+n_1|}, \quad (1.6)$$

де m_1 – кількість вагових частин речовини з позитивним КБ ($+n_1$), необхідних для повного окиснення однієї частини речовини з негативним КБ ($-n_2$).

Процентний уміст речовини з негативним і позитивним КБ визначають за формулами:

$$P_2 = \frac{100}{(1 + m_1)}, \%; \quad (1.7)$$

$$P_1 = 100 - P_2, \%. \quad (1.8)$$

ПРИКЛАД 1.3. Визначити процентний уміст аміачної селітри і солярового масла для одержання ігданіту з нульовим кисневим балансом.

РОЗВ'ЯЗОК

1. З табл. 1.2 знаходимо значення КБ, що для солярового масла складає -316% , для аміачної селітри $+20\%$.

2. За формулою (1.6) визначаємо кількість вагових частин аміачної селітри, необхідних для повного окиснення однієї частини солярового масла (під час ділення знак "мінус" не враховується):

$$m_1 = \frac{316}{20} = 15,8.$$

Таким чином, на одну вагову частину солярового масла потрібно 15,8 частин аміачної селітри.

3. За формулою (1.7) визначаємо процентний уміст солярового масла в ігданіті з КБ= 0, тобто

$$P_2 = \frac{100}{(1+15,8)} = 5,95 \%$$

4. Уміст аміачної селітри знаходимо за формулою (1.8):

$$P_1 = 100 - 5,95 = 94,05 \%$$

Для сумішевих ВР при відомих величинах складових частин кисневого балансу

$$КБ = \frac{[P_1(+n_1) + P_2(-n_2)]}{100}, \%, \quad (1.9)$$

де P_1 і P_2 – уміст відповідних компонентів у складі даної ВР, %; $(+n_1)$ й $(-n_2)$ – значення позитивного й негативного кисневих балансів відповідно, %.

ПРИКЛАД 1.4. Визначити КБ амоніту 6ЖВ, що містить 21 % тротилу та 79 % аміачної селітри.

РОЗВ'ЯЗОК

1. З табл. 1.2 знаходимо значення КБ складових частин (для тротилу й аміачної селітри), %:

для тротилу $(-n_2) = -74$, для аміачної селітри $(+n_1) = +20$.

2. За формулою (1.9) визначаємо КБ амоніту 6ЖВ:

$$КБ = \frac{79 \cdot (+20) + 21 \cdot (-74)}{100} = +0,26 \%$$

Таким чином, для амоніту 6ЖВ кисневий баланс буде позитивний і складе $+0,26\%$.

1.3. Рецептатура промислових вибухових речовин

При виробництві промислових ВР звичайно склад підбирається так, щоб у нього був нульовий кисневий баланс. Для виготовлення патронуванних ВР приймається невеликий позитивний КБ для окиснювання матеріалу оболонки патронів. Для підземних робіт ВР не повинні утворювати отруйних газів більше ніж 40 л у перерахуванні на умовний окис вуглецю під час вибуху 1 кг ВР. Якщо утворюються окисли азоту і сірчаний газ, то для перерахування їх до умовного окису вуглецю приймається поправковий коефіцієнт 6,5 і 2,5 відповідно. Для відкритих гірничих робіт, особливо для ВР, застосовуваних в обводнених умовах, вимоги до кисневого балансу не такі жорсткі.

ПРИКЛАД 1.5. Скласти рецептатуру ігданіту з $KB = 0$ на основі аміачної селітри і дизельного палива з $KB = -320$ %.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Уведемо позначення: АС – аміачна селітра, ДП – дизельне паливо.
2. Знайдемо кількість вагових частин АС для окиснення однієї частини ДП:

$$n = \frac{|KB_{ДП}|}{|KB_{АС}|} = \frac{320}{20} = 16.$$

3. Обчислимо вміст ДП у вибуховій речовині:

$$X = \frac{100}{(1+n)} = \frac{100}{17} = 5,9 \text{ \%}.$$

4. Знайдемо відповідно зміст АС:

$$100 - X = 100 - 5,9 = 94,1 \text{ \%}.$$

Таким чином, формула рецептури ігданіту буде мати вигляд:

$$94,1 \text{ \% АС} + 5,9 \text{ \% ДП}.$$

ПРИКЛАД 1.6. Визначити рецептатуру ВР із нульовим КБ на основі аміачної селітри й тротилу.

РОЗВ'ЯЗОК

1. З табл. 1.2 знаходимо для тротилу й АС кисневий баланс, а також відносну молекулярну масу (табл. 1.1): для тротилу $KB = -74$ %, $M = -227$; для АС $KB = +20$ %, $M = 80$.

2. Склад суміші повинен відповідати умові:

$$X(-74\%) + (100 - X) \cdot 20\% = 0,$$

де X – вміст тротилу в суміші, %. Розв'язок, показує, що $X \approx 21$ %.

Отже, вміст АС = 7 %. Такому складу суміші відповідає грамоніт 79/21 і амоніт 6ЖВ (табл. 1.3).

3. Позначимо число молів АС через Y , число молів тротилу через Z .

Тоді зі співвідношення

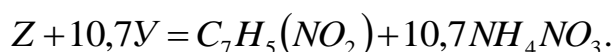
$$\frac{Y \cdot 80}{Z \cdot 227} = \frac{79}{21}$$

одержимо:

$$Y = \frac{79 \cdot Z \cdot 227}{21 \cdot 80} = 10,7Z.$$

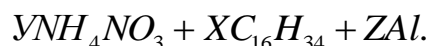
Прийнявши $Z = 1$, одержимо $Y = 10,7$.

Таким чином, молекулярне рівняння грамоніту має вигляд (хімічні формули взяті з табл. 1.1):



ПРИКЛАД 1.7. Визначити молекулярну формулу грануліту АС-8, що має такий склад, %: АС – 89; солярове масло – 3; алюмінієва пудра – 8.
РОЗВ'ЯЗОК

1. Позначивши кількість молів АС через Y , солярового масла – через X , алюмінієвої пудри – через Z , напишемо хімічну формулу у вигляді:



2. Відповідно до вагового складу можна записати таке співвідношення:

$$\frac{Y \cdot 80}{X \cdot 226} = \frac{89}{3}, \quad \frac{Z \cdot 27}{X \cdot 226} = \frac{8}{3}. \text{ Одержимо: } Y = 83,9, Z = 22,4.$$

3. Прийmemo $X = 1$. Тоді молекулярне рівняння грануліту АС-8 буде мати вигляд:



1.4. Задачі для самостійної роботи

1. Визначити КБ аміачної селітри.
2. Визначити КБ тену, що має хімічний склад $C(CH_2ONO)$ і $M=316$.
3. Визначити КБ нітрогрогліколю.
4. Визначити КБ зерногрануліту 30/70, що містить 30 % аміачної селітри і 70 % тротилу.
5. Визначити КБ сплаву ТГ 50/50, що містить 50 % тротилу і 50 % гексогену.
6. Визначити КБ зерногрануліту 79/21.
7. Визначити КБ іфзаніту, що містить 40 % аміачної селітри, 16 % алюмінієвої пудри і 44 % тротилу.

8. Визначити КБ вибухової суміші, що складається з 35 % натрієвої селітри і 65 % нітрогліцерину.
9. Визначити КБ вибухової суміші, що складається із 43 % калієвої селітри і 57 % октогену.
10. Визначити КБ динітронафталіну.
11. Визначити КБ натрієвої селітри.
12. Визначити КБ амоніту нафтового ЗЖВ.
13. Скласти молекулярне рівняння грамоніту 50/50.
14. Визначити хімічну формулу амоніту ПЖВ-20.
15. Визначити хімічну формулу амоніту скельного № 1.
16. Визначити хімічну формулу амоніту АП-5ЖВ.
17. Визначити хімічну формулу амоніту Т-19.
18. Визначити молекулярну формулу іфзаніту, що містить, %: аміачної селітри – 40, тротилу – 44, алюмінієвої пудри – 16.
19. Визначити хімічну формулу грануліту АС-4.
20. Скласти молекулярну формулу угленіту Е-6, що містить, %: нітрогліколю – 14,2, деревного борошна – 2,5, хлористого калію – 7, NaNO_3 – 46,3, NH_4Cl – 29, стеарат кальцію ($\text{C}_{36}\text{H}_{70}\text{O}_4\text{Ca}$) – 1.
21. Визначити хімічну формулу запобіжного амоніту АП-5ЖВ, що містить, %: аміачної селітри – 70, тротилу – 18, кам'яної солі – 12.
22. Визначити молекулярну формулу грамоніту 30/70.
23. Визначити хімічну формулу амоніту сірчаного № 3.
24. Визначити хімічну формулу амоніту 6ЖВ.
25. Визначити хімічну формулу амоніту 10ЖВ.
26. Визначити хімічну формулу амоналу ВА-4.

Таблиця 1.1

Молекулярна вага та хімічні формули деяких вибухових речовин

ВР	Хімічна формула	Молекулярна вага
Азид свинцю	PbN_6	291,3
Азотисто-воднева кислота	HN_3	43
Аміачна селітра	NH_4NO_3	80
Гримуча ртуть	$Hg(ONC)_2$	284,6
Гексоген	$C_3H_6O_6N_6$	222
Дин	$C_4H_8O_8N_4$	240
Динітровтан	$C_2H_4O_4N_2$	120
Динітронафталін	$C_{10}H_6(NO_2)_2$	218
Калієва селітра	KNO_3	101
Деревне борошно	$C_{15}H_{22}O_{10}$	362
Медина	$CH_4O_4N_4$	136
Натрієва селітра	$NaNO_3$	85
Нітрогліцерин	$C_3H_5(ONO_2)_3$	227
Нітрогліколь	$C_2H_4N_2O_6$	196
Нітрогуанідин	$\begin{array}{c} HNC \quad / \quad NH \cdot NO_2 \\ \quad \quad \quad \backslash \\ \quad \quad \quad NH_2 \end{array}$	104
Октоген	$C_4H_8O_8N_8$	296
Парафін	$C_{24}H_{50}$	338,5
Пікрат амонію	$C_6H_2(NO_2)_6NH_4$	246
Пікринова кислота	$C_6H_2(NO_2)_3OH$	229
Солярова олія	$C_{16}H_{34}$	226
Тротил	$C_6H_2(NO_2)_3CH_3$	227
Тетранітрометан	$C(NO_2)_4$	196
Тетрил	$\begin{array}{c} C_6H_2(NO_2)_3N \quad / \quad CH_3 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \backslash \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad NO_2 \end{array}$	287
Тринітробензол	$C_6H_3(NO_2)_3$	213
Тен	$C_5H_8(ONO_2)_4$	316
Еддін	$C_2H_{10}O_6N_4$	186
Една	$C_2H_6O_4N_4$	150

Кисневий баланс і теплота вибуху деяких вибухових речовин

Речовина	Кисневий баланс, %	Теплота вибуху, ккал/кг
Азид свинцю		390
Акватол 65/35	-12,5	767
Акватол М-15	-21	1167
Алюміній	-90	
Алюмотол	-76,2	1260
Амонал скельний № 3	-0,8	360
Амоніт скельний № 1	-0,8	292
Амоніт 6ЖВ	+0,26	1030
Амоніт 7ЖВ	+0,34	995
Амоніт 9ЖВ	+2,74	857
Амоніт 10ЖВ	+1,53	908
Амонал ВА-4	+0,18	1180
Амоніт АП-5ЖВ		907
Амоніт АП-4ЖВ		864
Амонійна селітра		344
Амотол 80/20		1000
Аміачна селітра	+20	340
Гексоген	-22	1285 – 1380
Гранулотол	-74	975
Грануліт АС-8	+0,3	1242
Грануліт АС-4	+0,4	1080
Грануліт М	+0,1	920
Грамонал А-8	-0,2	1285
Гримуча ртуть		414 – 129
Динітронафталін	-139	700
Динітробензол		870
Дина		1250
Димний порох		665
Зерногрануліт 30/70	-45,9	950
Зерногрануліт 50/50	27,5	985
Зерногрануліт 79/21	0	967
Калієва селітра	-21,6	1440
Деревне борошно	-137	
Медина		1440
Нітрогліцерин	+3,5	1475 – 1560
Нітрогліколь	0	1565 – 1700
Нітродігліколь	-40,8	1100
Натрієва селітра	+47	
Нітрогуанідин		720
Оксиліквіти		1600 – 2000
Октоген		1290
Пікрат амонію		800
Пікринова кислота		1050
Парафін	-346	
Солярова олія	-316	
Тротил	-74	1010
Тротил/гексоген 50/50	-48	1146
Тетрил	-47,4	1163 – 1185
Тен	-10	1400 – 1420

Склад амонітів (%)

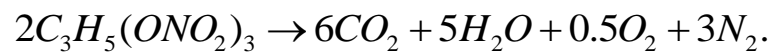
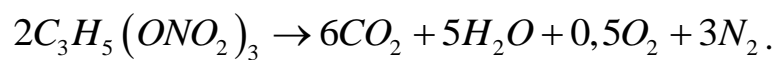
Компоненти ВР	АП-5ЖВ	Сірчаний № 1ЖВ	Нафтовий № 3ЖВ	ПЖВ-20	Т-19	6ЖВ	7ЖВ	9ЖВ	10ЖВ	Скельний № 1	Амонал скельний № 3	Амонал ВА-4	Угленіт Е-6
Нітроєфіри	–	5	9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	14
Аміачна селітра	70	52	52	64	61	79	81,5	87	85	66	72	80,5	–
Тротил	18	11	7	16	19	21	16	5	8	5	5	15	–
Хлористий натрій, хлористий калій	12	–	30	20	20	–	–	–	–	–	–	–	30
Деревне борошно	–	1,5	–	–	–	–	2,5	8	7	–	–	–	2,5
Хлористий амоній	–	30	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Алюмінієва пудра	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5	8	4,5	–
Гексоген	–	–	–	–	–	–	–	–	–	24	15	–	–
Харчова сода (понад 100%)	–	0,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,2
Стеарат кальцію	–	–	1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,0
Колоїдна бавовна	–	–	0,15	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,2
Натрієва селітра	–	–	0,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	46

2. РОЗРАХУНОК ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИБУХУ

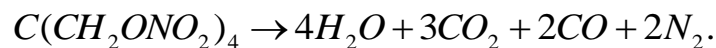
Теплота, об'єм, температура й тиск газів під час вибуху зарядів ВР залежать від складу утворюваних продуктів вибуху і їх кількості. Склад продуктів вибуху й реакції перетворення значною мірою визначаються їх кисневим балансом.

З погляду побудови реакцій вибухового перетворення вибухові речовини поділяються на три групи.

1. ВР з кількістю кисню, що достатня для повного окиснювання паливних елементів. ВР цієї групи мають нульовий чи позитивний КБ. Наприклад, реакція розкладання нітрогліцерину:

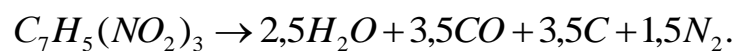


2. ВР з кількістю кисню, що достатня для повного газоутворення. Кисень, що входить до складу ВР, спочатку окиснює водень у воду, вуглець – в окис вуглецю, а частина кисню, що залишилася, утворює з окисом вуглецю вуглекислий газ. Наприклад, реакція розкладання тена:



Під час вибуху ВР цієї групи утворюється елементарний водень, метан та інші вуглеводні, однак для цього потрібні ускладнені розрахунки.

3. ВР з кількістю кисню, що недостатня для повного газоутворення. У цьому випадку водень окиснюється у воду, а частина вуглецю – в окис вуглецю і виділяється вільний вуглець. Наприклад, реакція розкладання тротилу:



Теоретичні й експериментальні дослідження показують, що під час вибуху таких ВР утворюються також CO_2 , H_2 , CH_4 , NH_3 , вуглець та інші сполучення.

2.1. Теплота вибуху

Теплота вибуху $Q_{ВИБ}$ – це кількість тепла, що виділяється при вибуховому розкладанні одного моля чи одного кілограма ВР. У розрахунках теплоти вибухового перетворення приймають стандартні умови: $T=18\text{ }^\circ\text{C}$, $P=1,1 \cdot 10^5\text{ Па}$. Обчислення теплоти вибуху засновано на законі Геса (рис. 2.1), згідно з яким тепловий ефект реакції не залежить від ходу реакції, а тільки від початкового й кінцевого станів системи. У цьому випадку теплота вибуху $Q_{ВИБ}$ дорівнює різниці між теплотою утворення продуктів вибуху $Q_{ПВ}$ і теплотою утворення вибухової речовини $Q_{ВР}$.

Першому початковому стану відповідають вільні елементи, з яких складається ВР, другому – сама ВР, третьому – продукти вибуху.

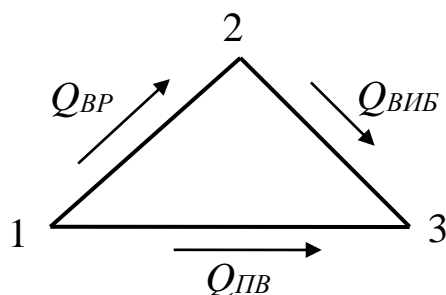


Рис. 2.1. Схематичне зображення закону Геса

Реакція може проходити двома напрямками.

1. З вільних елементів утворюється ВР. Ця реакція характеризується позитивним чи негативним тепловим ефектом; ВР вибухає й виділяється теплота вибуху Q_{VIB} .

2. З вільних елементів утворюються продукти вибуху і виділяється теплота їхнього утворення $Q_{ПВ}$.

Таким чином,

$$Q_{VP} + Q_{VIB} = Q_{ПВ}, \quad (2.1)$$

звідси (2.1) можна знайти і теплоту вибуху

$$Q_{VIB} = Q_{ПВ} - Q_{VP}. \quad (2.2)$$

Отже, для розрахунку теплоти вибуху необхідно знати рівняння вибухового перетворення ВР. Оскільки вибух відбувається практично при незмінному об'ємі, теплоту вибуху Q_{VIB} треба розраховувати при постійному об'ємі, тобто необхідно знати теплоутворення при постійному об'ємі Q_V . Якщо є дані відносно теплоти утворення при постійному тиску Q_P , то розв'язання здійснюється за формулою (2.2), якщо ж дані відповідають теплоті утворення при постійному тиску, то у (2.2) слід зробити поправку на роботу, яка виконується продуктами вибуху під час їх розширення:

$$Q_V = Q_P + AP(V_1 - V_0), \quad (2.3)$$

де P – кінцевий тиск ПВ; V_0 – початковий об'єм ПВ; V_1 – кінцевий об'єм ПВ; A – механічний еквівалент тепла, $A = 427$ кгс·м/ккал.

Рівняння (2.3) можна перетворити, підставивши числові значення A , P , V_0 і Q_P . Під час розширення ПВ до $1,01 \cdot 10^5$ Па і температури до $+18$ °С, нехтуючи величиною V_0 через її малість у порівнянні з V_1 , одержимо числове значення для другого члена правої частини рівняння (2.3):

$$AP(V_1 - V_0) = 0,58n,$$

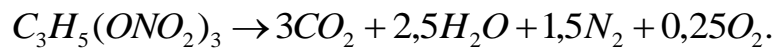
де n – число молів газів, що утворюються під час вибуху 1 кг ВР (22,42 л – об'єм 1 моля газів за нормальних умов). Після перетворень рівняння (2.3) буде мати вигляд:

$$Q_V = Q_P + 0,58n. \quad (2.4)$$

ПРИКЛАД 2.1. Визначити теплоту вибуху нітрогліцерину.

РОЗВ'ЯЗОК

1. З табл. 2.1 знаходимо реакцію вибухового перетворення:



2. З табл. 1.2 знаходимо теплоту утворення Q_{BP} :

$$Q_{BP} = 1475 \text{ ккал/кг} \quad \text{або} \quad 351 \text{ кДж/моль.}$$

3. Обчислимо теплоту утворення продуктів вибуху:

$$Q_{ПВ} = Q_{CO_2} + Q_{H_2O} = 3 \cdot 1662 + 2,5 \cdot 1012 = 4986 + 2530 = 7516 \text{ ккал/кг,}$$

де $Q_{CO_2} = 1662$ ккал/кг, $Q_{H_2O} = 1012$ ккал/кг.

4. Знайдемо теплоту вибуху нітрогліцерину:

$$Q_{ВИБ} = Q_{ПВ} - Q_{BP} = 7516 - 1475 = 6041 \text{ ккал/кг.}$$

Отримана величина характеризує теплоту вибуху при постійному об'ємі. При постійному тиску теплота вибуху буде розраховуватися за рівнянням (2.4), але залежно від температури навколишнього середовища числовий коефіцієнт n у рівнянні буде різним, наприклад:

$$\text{при } T = 15^\circ\text{C} \quad Q_V = Q_P + 0,572n,$$

$$\text{при } T = 25^\circ\text{C} \quad Q_V = Q_P + 0,592n.$$

2.2. Температура газів вибуху

Температура газів вибуху обчислюється за формулою:

$$t = \frac{Q_{ВИБ}}{C_V}, \quad ^\circ\text{C}, \quad (2.5)$$

де $Q_{ВИБ}$ – теплота вибуху ВР, Дж/моль; C_V – середня теплоємність усіх продуктів вибуху при постійному об'ємі в інтервалі від 0 до T °С середовища, Дж/моль·°С.

Значення теплоємності залежно від температури визначається за формулою:

$$C_V = a + bt, \quad (2.6)$$

де a і b – коефіцієнти, що знайдені дослідним шляхом.

Вирішивши рівняння (2.5) і (2.6), одержимо:

$$t = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4Q_{\text{ВИБ}}b}}{2b}. \quad (2.7)$$

Теплоємності газів залежно від температури визначаються за формулами:
для двоатомних газів

$$C_V = 20,1 + 18,8 \cdot 10^{-4}t, \quad (2.8)$$

для чотирьохатомних газів

$$C_V = 41,9 + 18,8 \cdot 10^{-4}t, \quad (2.9)$$

для пари води

$$C_V = 16,76 + 90 \cdot 10^{-4}t, \quad (2.10)$$

для вуглекислого газу

$$C_V = 37,17 + 24,3 \cdot 10^{-4}t, \quad (2.11)$$

для твердих продуктів задають $C_V = 26,8$.

При визначенні теплоємності суміші газів за наведеними формулами враховується пайова участь кожного зі складових і виконується їх почленне додавання для визначення сумарних величин Σa та Σb . Таким чином, формула (2.7) набуває вигляду:

$$t = \frac{-\Sigma a + \sqrt{(\Sigma a)^2 + 4(\Sigma b)Q_{\text{ВИБ}} \cdot 1000}}{2\Sigma b}. \quad (2.12)$$

ПРИКЛАД 2.2. Обчислити температуру вибуху нітрогліцерину.

РОЗВ'ЯЗОК

1. З табл. 1.2 знаходимо теплоту утворення нітрогліцерину:

$$Q_{\text{ВИБ}} = 1500 \text{ ккал/кг або } 357 \text{ кДж/моль.}$$

2. Визначаємо теплоємність усіх продуктів вибуху (реакція розкладу наведена у табл. 2.1) з урахуванням формул (2.8) – (2.11):

– для 3CO_2 :

$$3(37,7 + 24,3 \cdot 10^{-4}t) = 113 + 72,9 \cdot 10^{-4}t,$$

– для $2,5\text{H}_2\text{O}$:

$$2,5(16,76 + 90 \cdot 10^{-4}t) = 41,9 + 225 \cdot 10^{-4}t;$$

$$\Sigma a = 113 + 41,9 = 154,9;$$

$$\Sigma b = (72,9 + 225) \cdot 10^{-4}t = 297,9 \cdot 10^{-4}t.$$

Таким чином,

$$C_V = 154,9 + 297,9 \cdot 10^{-4}t.$$

3. Підставляючи знайдені значення в (2.12), одержимо:

$$t = \frac{-154,9 + \sqrt{154,9^2 + 4 \cdot 297,9 \cdot 10^{-4} \cdot 357 \cdot 1000}}{2 \cdot 297,9 \cdot 10^{-4}} = 4100 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

2.3. Об'єм газів вибуху

Питомий об'єм газів, що утворюються під час вибуху, визначають на підставі закону Авогадро, вважаючи, що температура відповідає 273 К, а тиск – $1,01 \cdot 10^5$ Па. При цьому грам-молекулярний об'єм різних займистих газів буде складати 22,42 л ($22,42 \cdot 10^3$ м³).

Питомий об'єм газів V_0 під час вибуху 1 кг ВР знаходять за формулою:

$$V_0 = \frac{22,42(n_1 + n_2 + \dots + n_n) \cdot 1000}{m_1 M_1 + m_2 M_2 + \dots + m_n M_n}, \text{ л/кг}, \quad (2.13)$$

де $n_1 \dots n_n$ – кількість грам-молекул газоподібних ПВ (табл. 2.1); $M_1 \dots M_n$ – молекулярна вага складових частин (табл. 1.2). У формулі (2.13) знаменник дроби є молекулярною вагою ВР.

ПРИКЛАД 2.3. Визначити об'єм продуктів газу під час вибуху 1 кг нітрогліцерину.

РОЗВ'ЯЗОК

1. З табл. 2.1 знаходимо реакцію розкладу (див. приклад 1, с. 19).

2. Об'єм газів розраховуємо за формулою (2.13):

– при пароподібному стані води

$$V_0 = \frac{22,42(12 + 10 + 6 + 1) \cdot 1000}{4 \cdot 227} = 716 \text{ л/кг};$$

– при рідкій фазі води

$$V_0 = \frac{22,42(12 + 6 + 1) \cdot 1000}{4 \cdot 227} = 469 \text{ л/кг}.$$

2.4. Тиск газів вибуху

Тиск газів, що виникає під час вибуху, визначається законом Бойля – Маріотта й Гей – Люссака:

$$P = \frac{P_0 V_0 T}{273 V_K}, \quad (2.14)$$

де P_0 – атмосферний тиск газів при температурі 0 °С, що дорівнює $1,01 \cdot 10^5$ Па; V_0 – об'єм газів вибуху при 0 °С і тиску P_0 , м³; T – температура вибуху, рахуючи від абсолютного нуля, К; V_K – об'єм зарядної камери, м³.

Формула дійсна для ідеальних газів. На практиці велику роль відіграє щільність заряджання ВР (приблизно 0,5 – 1,0 т/м³). При цьому у розрахунках варто зважати на власний об'єм молекул (коволіум) продуктів вибуху. Коволіум приймаємо $\alpha=0,001V_0$.

З урахуванням цього формула (2.14) має вигляд:

$$P = \frac{P_0 V_0 T}{273(V - \alpha)}$$

При щільності заряджання більше 1 т/м³ необхідно задавати $\alpha=0,006V_0$.

Замінивши об'єм зарядної камери V_k на щільність заряджання ВР ($\Delta=M/V_k$), одержимо формулу при $M = 1$ (одична маса):

$$P = \frac{P_0 V_0 T \Delta}{273(1 - \alpha \Delta)} \quad (2.15)$$

ПРИКЛАД 4. Визначити тиск газів під час вибуху нітрогліцерину, 1 кг якого утворює 0,716 м³ газів при температурі 5053 К. Щільність заряджання 0,8 і 1,2 т/м³.

РОЗВ'ЯЗОК

1. За формулою (2.15) знаходимо величину тиску. При щільності заряджання 0,8 г/м³ чи 0,8 г/см³ треба вибрати $\alpha=0,001$:

$$P = \frac{1,01 \cdot 10^5 \cdot 0,716 \cdot 5053 \cdot 0,8 \cdot 10^3}{273(1 - 0,716 \cdot 0,001 \cdot 0,8 \cdot 10^3)} = 2,5 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

При щільності заряджання 1,2 т/м³ чи 1,2 г/см³ – $\alpha=0,0006$:

$$P = \frac{1,01 \cdot 10^5 \cdot 0,716 \cdot 5053 \cdot 1,2 \cdot 10^3}{273(1 - 0,716 \cdot 0,0006 \cdot 1,2 \cdot 10^3)} = 3,3 \cdot 10^9 \text{ Па.}$$

2.5. Задачі для самостійної роботи

1. Розрахувати склад суміші, теплоту вибуху ($Q_{ВИВ}$), об'єм ПВ (V_0) і температуру ПВ ($T_{ВИВ}$) сумішей із $KB = X$ (табл. 2.2), що складаються з окисника й пального. Для окисника використовувати NH_4NO_3 , N_2O_4 , $KClO_4$, для пального – $C_7H_5N_3O_6$, $C_6H_5NO_2$. Брати будь-яку комбінацію окисника й пального (табл. 2.3).

2. Визначити теплоту ($Q_{ВИВ}$), температуру (t) та об'єм газів (V_0), що утворюються під час вибуху ВР (табл. 2.3).

Таблиця 2.1

Характеристика вибухових перетворень

Речовина	Реакція розкладу	Об'єм газів, л/кг	Температура вибуху, С°
Аміачна селітра	$2\text{NH}_4\text{NO}_3=4\text{H}_2\text{O}+2\text{N}_2+\text{O}_2$	980	1950
Амоніт 6ЖВ	$9,88\text{NH}_4\text{NO}_3+0,925\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_6\text{N}_3=$ $=6,48\text{CO}_2+22,07\text{H}_2\text{O}+11,26\text{N}_2+0,08\text{O}_2$	895	2960
Гексоген	$\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6=3\text{H}_2\text{O}+3\text{CO}+3\text{N}_2$	890	3800
Динітронафталін	$\text{C}_{10}\text{H}_6(\text{NO}_2)_2=\text{CO}+3\text{H}_2\text{O}+\text{N}_2+9\text{C}$	750	2500
Колоїдна бавовна	$\text{C}_{22,5}\text{H}_{28,8}\text{O}_{36,1}\text{N}_{8,7}=14,4\text{H}_2\text{O}+$ $+0,8\text{C}+21,7\text{CO}+4,35\text{N}_2$	936	260
Нітрогліцерин	$4\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3=12\text{CO}_2+10\text{H}_2\text{O}+6\text{N}_2+\text{O}_2$	715	4100
Нітрогліколь	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{ONO}_2)_2=2\text{CO}_2+2\text{H}_2\text{O}+\text{N}_2$	738	4200
Тротил	$2\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3=7\text{CO}+5\text{H}_2\text{O}+3\text{N}_2+7\text{C}$	750	2950
Тен	$\text{C}_5\text{H}_8(\text{ONO}_2)_4=3\text{CO}_2+4\text{H}_2\text{O}+2\text{CO}+2\text{N}_2$	790	4000
Тетрил	$2\text{C}_6\text{H}_6(\text{NO}_2)_4\text{CH}_3\text{N}=6\text{CO}+5\text{H}_2\text{O}+\text{N}_2+9\text{C}$	740	3900

Таблиця 2.2

Значення кисневого балансу за варіантами задач

№ варіанта	КБ	№ варіанта	КБ	№ варіанта	КБ	№ варіанта	КБ
1	0	3	+2	5	+4	7	+6
2	+1	4	+3	6	+5	8	+7
9	+8	14	+13	19	-4	24	-9
10	+9	15	+14	20	-5	25	-10
11	+10	16	-1	21	-6	26	-11
12	+11	17	-2	22	-7	27	-12
13	+12	18	-3	23	-8	28	-13

Деякі фізичні параметри, що визначають вибухову дію ВР

№ варіанта	ВР	Щільність заряджання, ρ_z , г/см ³	t , °С	V_0 , л/кг	$Q_{\text{виб}}$, ккал/кг
1	Нітрогліколь	0,9			
2	Аміачна селітра	0,7			
3	Гексоген	1			
4	Тен	1		790	
5	Тетрил	1,2			
6	Амоніт 6ЖВ	0,8			
7	Тротил	0,85			1000
8	Тротил	0,9			–
9	Тротил	0,95			–
10	Тротил	1,05			–
11	Тротил	1,2			–
12	Гексоген	1,05		890	
13	Гексоген	1,1		–	
14	Гексоген	1,2		–	
15	Гексоген	1,3		–	
16	Тетрил	0,8	–		
17	Тетрил	0,9	3900		
18	Тетрил	1,0	–		
19	Тетрил	1,1	–		
20	Тетрил	1,2	–		
21	Тетрил	1,5	–		1185
22	Зерногрануліт 30/70	0,7			
23	Зерногрануліт 30/70	0,8			
24	Зерногрануліт 30/70	0,65			
25	Амоніт 7ЖВ	0,7			
26	Амоніт 7ЖВ	0,75			

3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДЕТОНАЦІЇ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

У відомій класичній гідродинамічній теорії детонації газів, створення якої пов'язується з іменами Міхельсона, Чепмена й Жуге, запропоновано модель, відповідно до якої детонаційна хвиля є ударною хвилею з дуже малим часом хімічного перетворення у фронті. Якщо ударна хвиля поширюється в інертному середовищі, то безпосередньо за її фронтом швидкість потоку речовини менша за швидкість поширення збуджень. У випадку ударної хвилі без зовнішньої підтримки збудження за фронтом виникає розрідження, і тому такі хвилі загасають.

Для пояснення сталості швидкості детонації як ударної хвилі необхідно припустити, що швидкість ПВ за її фронтом більша або дорівнює швидкості звуку. Відповідно до гіпотези Чепмена й Жуге швидкість відтоку ПВ дорівнює швидкості звуку.

Процес одномірної детонації, що поширюється з постійною швидкістю D , можна вважати стаціонарним, розглядаючи його в системі координат, що рухається з тією ж швидкістю. У цій системі вибухова речовина входить у фронт хвилі, розкладається й виходить із зони реакції зі швидкістю, що зменшена на величину U , яка дорівнює швидкості газоподібних ПВ. Детонація – процес надзвукового поширення фронту хімічного перетворення речовини, який може протікати без усякої взаємодії з навколишнім середовищем.

У випадку одномірного потоку виберемо формули, що описують закони збереження

маси

$$\rho_0 D = \rho_1 (D - U), \quad (3.1)$$

імпульсу

$$\rho_0 D^2 + P_0 = \rho_1 (D - U)^2 + P_1, \quad (3.2)$$

енергії

$$E_0 + \frac{1}{2} D^2 + P_0 V_0 = Q + E_1 + \frac{1}{2} (D - U)^2 + P_1 V_1, \quad (3.3)$$

рівняння стану

$$P = P(V_1; E_1) \quad (3.4)$$

та умову Чепмена – Жуге

$$D = C + U \quad (3.5)$$

й утворюють систему рівнянь, з якої визначається як D , так і стан реагуючої вибухової речовини.

У рівняннях (3.1) – (3.5) уведено такі позначення: $\rho = 1/V$ – густина ВР до і після вибуху, що відповідає індексам "0" та "1"; P_0 і P_1 – тиск (кінцевий тиск P_1 відповідає умові Чепмена – Жуге); Q – теплота реакції; E_0 і E_1 – питомі внутрішні енергії.

Перш ніж знайти D , відзначимо, що при $P_1 \gg P_0$ та $E_1 \gg E_0$ і після складання рівнянь (3.1) і (3.2) одержимо:

$$P_1 = \rho_0 D U.$$

Сума рівнянь (3.1), (3.2) і (3.3) дає

$$Q + E_1 = 0,5 P_1 (V_0 - V_1).$$

Тиск детонаційної хвилі в точці Чепмена – Жуге розраховується за формулою:

$$P = \frac{\rho_0 D^2}{k+1}, \quad (3.6)$$

де k – показник політропи ПВ. Тут швидкість детонації виражена в м/с, а густина – у кг/м³.

Густину ПВ у детонаційній хвилі визначають за формулою:

$$\rho_1 = \frac{4}{3} \rho_0, \quad (3.7)$$

Масову швидкість руху продуктів вибуху в точці Чепмена – Жуге розраховують за рівнянням:

$$U = \frac{D}{k+1}, \text{ м/с.} \quad (3.8)$$

Формула швидкості детонації, яка виражена через показник політропи k ($k = C_p/C_v$ – відношення питомих теплоємностей при постійних P і V відповідно) і теплоту вибуху $Q_{\text{ВИБ}}$ при постійному об'ємі (кДж/кг), має вигляд:

$$D = 31,56 \sqrt{2(k^2 - 1) Q_{\text{ВИБ}}}.$$

Вона отримана для газів, тому дає різко завищені результати для твердих ВР. Варто підкреслити, що тут мається на увазі не звичайний ізобарно-ізотермічний (тобто визначений при постійних P і T), а ізобарно-ізохоричний тепловий ефект. Ці дві величини є істотно різними і рівні між собою тільки у виняткових випадках, коли в результаті протікання реакції при постійному тиску вдається підтримувати постійними водночас V і T . Таким чином, під тепловим ефектом реакції завжди буде матися на увазі саме ізобарно-ізохоричний ефект. Для наближеної оцінки швидкості детонації можна скористатися формулою:

$$D_H = D_{\text{ET}} \sqrt{\frac{Q_H}{Q_{\text{ET}}}}, \quad D_H = D_{\text{ET}} \sqrt{\frac{Q_H}{Q_{\text{ET}}}}, \quad (3.9)$$

де D_H і D_{ET} – швидкості детонації нової й еталонної ВР відповідно; Q_H і Q_{ET} – теплота вибуху нової й еталонної ВР.

Як еталонну ВР приймемо амоніт 6ЖВ (або грамоніт 79/21), що має теплоту вибуху 4315,7 кДж/кг і швидкість детонації 3600 м/с при щільності заряджання 1000 кг/м³.

Швидкість детонації (м/с) при інших щільностях заряджання визначається за формулою:

$$D = D_{ET} + 3500(\rho_0 - 1). \quad (3.10)$$

ПРИКЛАД 3.1. Визначити параметри детонації акватолу 65/35 при щільності заряду 1,45 г/см³, що має теплоту вибуху 3854,8 кДж/кг.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Визначимо, яку швидкість детонації мав би амоніт 6ЖВ при щільності заряду 1,45 г/см³. Скористаємося виразом (3.10) і отримаємо:

$$D = 3600 + 3500 \cdot 0,45 = 5200 \text{ м/с.}$$

2. За формулою (3.9) визначимо швидкість детонації акватолу:

$$D_H = 5200 \sqrt{\frac{3854,8}{4315,7}} = 4650 \text{ м/с.}$$

3. З формули (3.7) знайдемо густину ПВ:

$$\rho_1 = \frac{4}{3} \cdot 1,45 = 1,93 \text{ г/см}^3.$$

4. Швидкість руху ПВ при $k = 3,28$ (значення k можна знайти з табл. 3.1) знаходимо із виразу (3.8):

$$U = \frac{4650}{(1 + 3,28)} = 1090 \text{ м/с.}$$

5. Тиск у детонаційній хвилі знаходимо з виразу (3.6), тобто:

$$P = \frac{1450 \cdot 4650^2}{9,8(1 + 3,28)} = 74,7 \cdot 10^7 \text{ кг/м}^2 = 74,7 \cdot 10^8 \text{ Па.}$$

3.1. Задачі для самостійної роботи

Визначити параметри детонації D_H , ρ_1 , U , P вибухової речовини при заданих щільності заряджання ρ_0 , теплоті вибуху $Q_{ВИБ}$, діаметрі заряду (табл. 3.2).

Деякі фізико-технічні параметри ВР

Вибухова речовина	Діаметр заряду, мм	Густина заряду, г/см ³	Показник політропи k	Швидкість детонації, м/с
Амоніт ПЖВ-20	40	1	2,05	3820
Амоніт ПЖВ-20	40	1,34	3,9	1800
Амоніт ПЖВ-20	60	0,9	3	4150
Амоніт ПЖВ-20	100	1,7	3,9	5500
Амоніт 6ЖВ	60	1	1,88	4340
Зерногрануліт 80/20	100	1	1,8	4300
Амоніт 6ЖВ	25	1	2,88	3130
Амоніт ВА-4	100	0,92	1,6	4600
Амоніт 10ЖВ	100	0,74	1,9	4600
Тротил	100	1	2,8	5000
Тротил	100	0,8	3,13	4340
Тротил	100	1,36	3,3	6200
Тротил	100	1,59	3,2	6910
Тротил	100	1,45	3,3	6500
Гексоген	100	1,4	3,18	7530
Гексаніт 3	40	1,34	4,0	4860
Гексамон 1	40	0,87	1,58	3560
Гексамон 1	40	1,34	3,5	5350
Грануліт АС-8	100	1,0	1,6	4100
Амоніт скельний № 1	100	0,95	1,8	5110
Акваніт № 3	100	1,5	2,9	4600
Тротил	100	1,62	–	7000
Тротил	100	1,7	–	7860
Дина	100	1,67	–	8000
Дина	100	1,48	–	7400
Нітрогліцерин	100	1,6	–	7650
Нітрогліколь	100	1,5	–	7400
Метилнітрат	100	1,21	–	6750
Нітрометан	100	1,14	–	6300
Гексоген	100	1,8	–	8850
Тен	100	1,77	–	8600
Тен	100	1,0	–	5700
Тен	100	1,25	–	6720
Тен	100	1,66	–	8160
Пікринова кислота	100	1,0	–	5320
Пікринова кислота	100	1,25	–	5930
Пікринова кислота	100	1,66	–	7300

Якщо в умовах задачі та у табл. 3.2 не надані значення показника політропи k , то треба приймати $k = 3$.

Таблиця 3.2

Варіанти задач

№ варіанта	Вибухова речовина	ρ_0 , г/см ³	$Q_{\text{ввб}}$, кДж/кг	Діаметр заряду, мм
1	Алюмотол	1	5279	
2	Грамонал А-45	0,9	5720	
3	Грамоніт 30/70	0,87	3440	
4	Ігданіт	0,8	3770	
5	Скельний амоніт № 1	1,4	5415	
6	Скельний амоніт № 1	1,2	5415	
7	Скельний амоніт № 1	0,95	5415	
8	Детоніт М	1,1	5790	
9	Амоніт АП-5ЖВ	1	3800	
10	Угленіт Е-6	1,1	2680	
11	Аміачна селітра	0,9	1425	
12	Амоніт 6ЖВ	1,0	4326	25
13	Амоніт 6ЖВ	1	4326	60
14	Амоніт 9ЖВ	1	3600	
15	Амоніт 10ЖВ	0,74	3814	100
16	Амоніт ПЖВ-20	0,9	3446	60
17	Амоніт ПЖВ-20	1	3446	40
18	Амоніт ПЖВ-20	1,34	3446	40
19	Амоніт ПЖВ-20	1,7	3446	100
20	Зерногрануліт 80/20	1	4062	100
21	Амоніт 6ЖВ	1	4326	25
22	Амоніт ВА-4	0,92	4956	100
23	Тротил	0,8	3455	100
24	Тротил	1	3455	100
25	Тротил	1,36	3455	100
26	Тротил	1,45	3455	100
27	Тротил	1,59	3455	100
28	Аміачна селітра	0,95	1425	
29	Аміачна селітра	0,8	1425	
30	Гексоген	1,4	5700	100

4. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ УДАРНИХ ХВИЛЬ

Під час проведення підривних робіт ураження людей, що знаходяться в небезпечній зоні, а також механізмів та інженерних споруд може бути наслідком дії як сейсмічних, так і повітряних ударних хвиль (УХ).

Однак уражуюча дія вибуху більшою мірою зобов'язана ударним хвилям. Якщо хвиля досить велика за розмірами фронту, як це буває під час ядерних вибухів, то при надлишковому тиску лише 0,35 атмосфери обвалюються будинки, при декількох сотих атмосфери – руйнуються віконні рами. Не заподіюють помітних ушкоджень тільки хвилі зі стрибком тиску в декілька тисячних атмосфери.

Дія ударної хвилі на людину залежить від умов, у яких перебуває людина відносно хвилі. Тому для захисту від ударних хвиль дуже важливо вміти розраховувати їх силу заздалегідь.

4.1. Ударні хвилі у повітрі

Надлишковий тиск на фронті ударної хвилі знаходять з таких виразів:

– під час вибуху наземного заряду ВР:

$$P_{HAZ} = 10^5 \left[\frac{1,06q^{2/3}}{R} + \frac{4,3q^{2/3}}{R^2} + \frac{14q}{R^3} \right], \text{ Па} \quad (4.1)$$

– під час вибуху заряду над поверхнею землі (у повітрі):

$$P_{ПОВ} = 10^5 \left[\frac{0,84q^{1/3}}{R} + \frac{2,7q^{2/3}}{R^2} + \frac{7q}{R^3} \right], \text{ Па} \quad (4.2)$$

Величина питомого імпульсу фази стиску відкритого заряду ВР розраховується за формулами:

– під час вибуху наземного заряду:

$$I_{HAZ} = \frac{54q^{2/3}}{R}, \text{ кгс}\cdot\text{с}/\text{м}^2; \quad (4.3)$$

– під час вибуху заряду над поверхнею землі:

$$I_{ПОВ} = \frac{35q^{2/3}}{R}, \text{ кгс}\cdot\text{с}/\text{м}^2. \quad (4.4)$$

Надлишковий тиск на перешкоді при відбитті повітряної УХ можна знайти з виразу:

$$P_{ВІД} = \left(2P_{ПОВ} + \frac{6P_{ПОВ}^2}{P_{ПОВ} + 7P_0} \right), \text{ Па}, \quad (4.5)$$

де q – маса заряду ВР, кг; R – відстань від заряду до фронту ударної хвилі, м; P_0 – атмосферний тиск, $1,01 \cdot 10^5$ Па.

Якщо фронт УХ відбивається від перешкоди під кутом, то залежно від його величини значення імпульсу може бути розраховане

– при $0^\circ \leq \varphi \leq 45^\circ$:

$$I_0 = \frac{54q^{2/3}(1 + \cos\varphi)}{R}, \text{ кгс}\cdot\text{с}/\text{м}^2; \quad (4.6)$$

– при $45^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$:

$$I_0 = \frac{54q^{2/3}(1 + \cos^2\varphi)}{R}, \text{ кгс}\cdot\text{с}/\text{м}^2. \quad (4.7)$$

Час дії фази стиску знаходять за формулою:

$$t_{\text{СТ.НАЗ}} = 1,7\sqrt[6]{q} \cdot \sqrt{R} \cdot 10^{-3}, \text{ с.} \quad (4.8)$$

ПРИКЛАД 4.1. Визначити параметри ударної хвилі наземного вибуху заряду тротилу масою 1 кг на відстані 2 м. На якій відстані від заряду гексогену масою 5 кг буде реєструватися той самий надлишковий тиск і той самий питомий імпульс ударної хвилі?

РОЗВ'ЯЗОК

1. За формулою (4.1) розраховуємо величину надлишкового тиску на фронті УХ під час вибуху заряду тротилу:

$$P_{\text{НАЗ}} \cdot 10^5 \left(\frac{1,06}{2} + \frac{4,3}{4} + \frac{14}{8} \right) = 3,355 \cdot 10^5, \text{ Па.}$$

2. Імпульс фази стиску визначаємо за формулою (4.3):

$$I_{\text{НАЗ}} = \frac{54 \cdot 1^{2/3}}{2} = 27, \text{ кгс}\cdot\text{с}/\text{м}^2.$$

3. Час дії фази стиску знаходимо з виразу (4.8):

$$t_{\text{СТ.НАЗ}} = 1,7\sqrt[6]{1} \cdot \sqrt{2} \cdot 10^{-3} = 2,5 \cdot 10^{-3}, \text{ с.}$$

4. Тротилевий еквівалент заряду гексогену масою $q = 5$ кг обчислюємо відповідно до такої рівності:

$$q_{\text{ЕКВ}} = \frac{q_1 Q_{\text{BP}}}{1000} = q_2, \quad (4.9)$$

де Q_{BP} – теплота вибуху заряду ВР (табл. 1.1); 1000 – теплота вибуху 1 кг заряду тротилу, тобто

$$q_2 = \frac{5 \cdot 1300}{1000} = 6,5 \text{ кг.}$$

5. Згідно з узагальненим геометричним законом подібності запишемо

$$\left(\frac{q_1}{q_2}\right)^{1/3} = \frac{R_1}{R_2}, \quad (4.10)$$

де R_2 – шукана відстань, м; R_1 – відстань, за допомогою якої розраховується надлишковий тиск ПВ заряду тротилу; q_1 – вага заряду тротилу, кг; q_2 – тротилловий еквівалент заряду гексогену. Тиск величиною $3,355 \cdot 10^8$ Па, що створюють ПВ заряду тротилу, при підриванні заряду гексогену масою 5 кг (що аналогічно вибуху заряду тротилу масою 6,5 кг), буде реєструватися на відстані:

$$R_2 = 2 \left(\frac{6,5}{1}\right)^{1/3} = 3,7 \text{ м.}$$

6. Величина питомого імпульсу відповідно до узагальненого геометричного закону подібності, а при використанні величини маси еквівалентного заряду – відповідно до енергетичного закону подібності визначається з такого співвідношення:

$$\frac{q_1^{2/3}}{R_1} = \frac{q_2^{2/3}}{R_2} = I_1 = I_2,$$

де I_2 – питомий імпульс ударної хвилі, що за умовою задачі на відстані від заряду гексогену R_2 буде дорівнювати питомому імпульсу УХ заряду тротилу I_{HA3} і при масі заряду гексогену 5 кг (тротилловий еквівалент – 6,5 кг) буде реєструватися на відстані, що розраховується так:

$$R_2 = R_1 \left(\frac{q_2}{q_1}\right)^{2/3} = 2 \left(\frac{6,5}{1}\right)^{2/3} = 7 \text{ м.}$$

4.1.1. Задачі для самостійної роботи

1. Визначити параметри УХ повітряного вибуху заряду тротилу масою 2,5 кг на висоті 2 м з відбиттям від поверхні ґрунту при нормальному падінні хвилі на ґрунт (безпосередньо під зарядом ВР). Треба користуватися формулами (4.2), (4.4) – (4.7).

2. Визначити параметри УХ повітряного вибуху заряду тротилу масою 10 кг на висоті 6 м при відбитті від поверхні ґрунту в точці А (рис. 4.1) і знайти відстань R до точки N , у якій тиск на фронт буде дорівнювати тиску в атмосфері повітря.

3. Визначити параметри діючої на ґрунт УХ під час вибуху заряду тротилу масою 5 кг на висоті 3 м у точці проєкції заряду ВР на поверхню ґрунту (точка 0) на відстанях 2, 4, 6, 10 і 50 м від точки 0 (рис. 4.2).

Ударна хвиля може падати на перешкоду під кутом від 0 до 90° . До значення $\varphi=20^\circ$ тиск при відбитті майже дорівнює тиску $P_{ВД}$. При подальшому збільшенні кута φ тиск швидко падає. Однак в області регулярного відбиття при $P_{ПОВ} \leq 3$ кгс/см² тиск у відбитій хвилі можна знайти з виразу:

$$R_\varphi = \frac{H}{\sqrt[3]{q}} \cdot \frac{1}{\cos \varphi}, \quad (4.11)$$

де H – висота розміщення заряду ВР над поверхнею ґрунту; φ – кут падіння фронту хвилі.

Варто пам'ятати, що закони пружності справедливі лише для дуже слабких УХ: $P_{ПОВ} \rightarrow 0$; $P_{ВД} = 2P_{ПОВ}$. Навпаки, якщо $P_{ПОВ} \gg P_0$, то $P_{ВД} = 8P_{ПОВ}$.

Надлишковий тиск у головній УХ в області $\varphi^* \leq \varphi \leq 90^\circ$ визначається так:

$$P_{НАДЛ} = P_{НАЗ} (1 + \cos \varphi),$$

де φ^* – критичний кут, за якого спостерігається виникнення фронту головної УХ; $P_{НАЗ}$ – надлишковий тиск під час наземного вибуху (4.1) з урахуванням умови (4.11). Залежно від кута падіння УХ імпульс при відбитті визначається з формул (4.6) і (4.7).

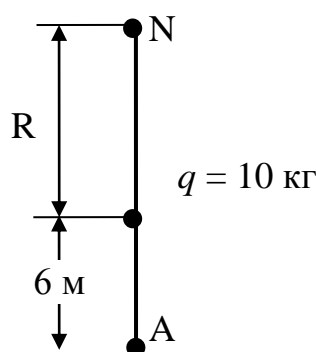


Рис. 4.1. Розрахункова схема до задачі № 2

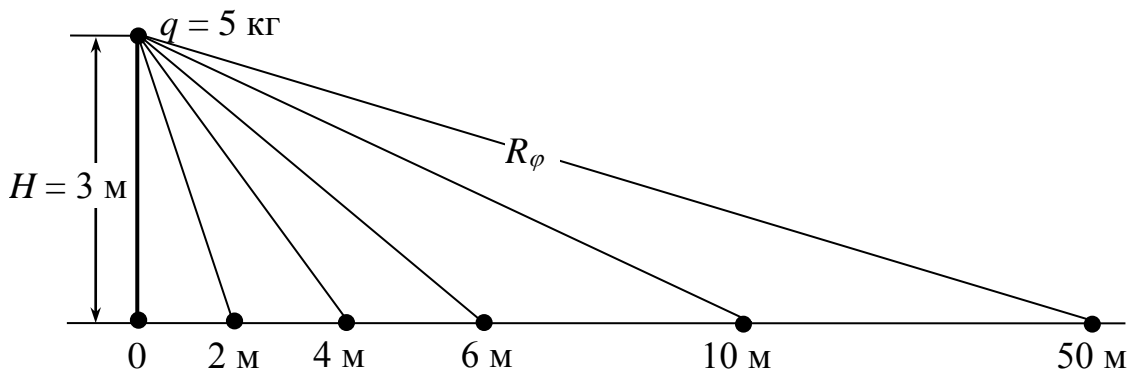


Рис. 4.2. Розрахункова схема до задачі № 3

4. Визначити радіус каверни під час вибуху заряду гексогену масою 4 кг у водонасичених і неводонасичених ґрунтах.

Радіус утвореної каверни r_K , як показує досвід, зв'язаний з масою заряду q співвідношенням:

$$r_K = Kq^{1/3},$$

де K – коефіцієнт, що залежить від властивостей ґрунту. Для ґрунтів з великим вмістом води (15 – 20 % і більше) $K = 0,6 – 0,7$. Для неводонасичених ґрунтів $K=0,4 – 0,5$. Радіус осушеної зони (під час вибухів у водонасичених ґрунтах) r_{00} на 20 – 30 % перевищує радіус каверни r_K , тобто

$$r_{00} = (1,2 – 1,3)Kq^{1/3}.$$

При розв'язанні задачі не слід забувати про використання виразів (4.9) і (4.10), тобто пам'ятати про узагальнений геометричний закон подібності. Q_{BP} гексогену знаходять з табл. 1.1.

5. Визначити тиск та імпульс хвилі стиску під час вибухів заряду ігданіта масою 15 кг на відстані 10 м у піщаних ґрунтах із вмістом газоподібного компонента $\alpha=0,005$ і $\alpha=0,04$ та у неводонасиченому ґрунті з $\omega=8 – 10$ % у суглинному і лесоподібному (табл. 4.1).

У ґрунтах будь-якого типу максимальний тиск хвилі та питомий імпульс фази стиску визначаються відповідно до законів подоби:

$$P = K_1 \left(\frac{\sqrt[3]{q}}{R} \right)^{\mu_1}; \quad (4.12)$$

$$I = K_2 \sqrt[3]{q} \left(\frac{\sqrt[3]{q}}{R} \right)^{\mu_2}. \quad (4.13)$$

Формули (4.12) і (4.13) справедливі для вибухів повного камуфлету, коли на поверхні ґрунту відсутні будь-які зміни. Це відповідає глибині закладення заряду $H \geq \sqrt[3]{q}$. Формули (4.12) і (4.13) не дають помітних відхилень від результатів експерименту і при $H \geq (0,5 – 0,6)q^{1/3}$. Подальше зменшення глибини приводить до викиду ґрунту.

6. Заряд амоніта ($Q_{ВИБ} = 850$ ккал/кг) масою 12 кг підривають у ґрунті на межі двох шарів: водонасичений пісок з $\alpha=0,001$ і глинистий ґрунт з $\omega = 15$ %. Визначити параметри хвилі стиску в обох шарах на відстані 2,5 і 10 м (рис. 4.3).

Значення K і μ для ряду ґрунтів

Характеристика ґрунту	K_1	μ_1	K_2	μ_2
Водонасичений пісок (α)				
0	600	1,05	800	1,05
0,005	450	1,5	750	1,1
0,01	250	2	450	1,25
0,04	45	2,5	400	1,4
Неводонасичений пісок (ω , %)				
8-10	7,5	3	320	1,5
3-6	2,8	3,3	320	1,5
2-4	3,5	3,3	320	1,5
5-7	6	3,2	360	1,5
10-12	8	3	400	1,5
Суглинний	8	3	400	1,5
Глинистий ($\omega=15$ %)	18	2,8	450	1,4
Лесоподібний	4,5	2,8	500	1,65

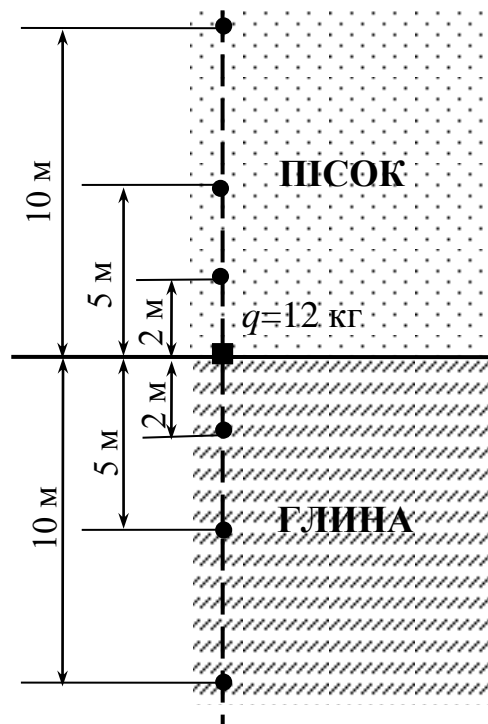


Рис. 4.3. Розрахункова схема до задачі № 6

При розв'язанні задачі необхідно користуватися формулами (4.9), (4.10), (4.12) і (4.13).

7. На якій відстані від поверхні перешкоди **В** варто розмістити заряд гексогену масою 5 кг, щоб надлишковий тиск на стінці **В** перевищував у шість разів надлишковий тиск на ділянці **А** (рис. 4.4).

8. На рис. 4.5 показано розміщення зарядів ВР: тротилу масою 6 кг на відстані 10 м від вершини кута і гексогену на відстані 16 м від кута. Необхідно знайти масу заряду гексогену за умови, що надлишковий тиск на фронті УХ під час вибуху тротилу і гексогену в точці, що відповідає вершині кута, однаковий за величиною.

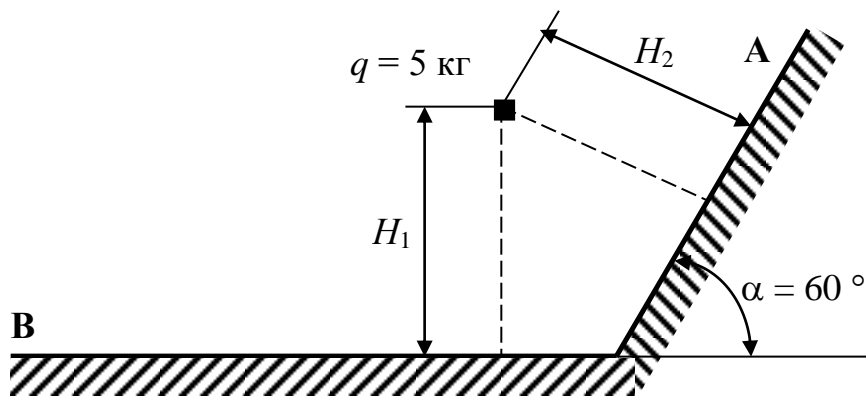


Рис. 4.4. Розрахункова схема до задачі № 7

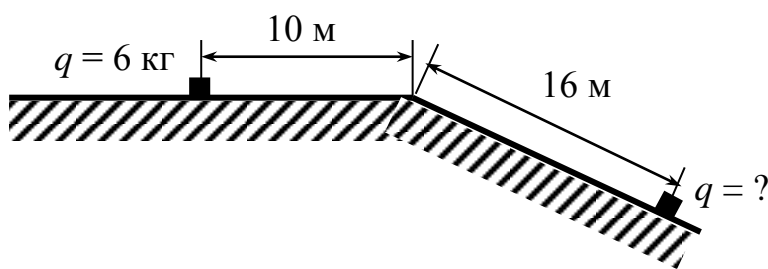


Рис. 4.5. Розрахункова схема до задачі № 8

4.2. Визначення тиску в рідині

Параметри ударної хвилі на відстанях від 10 до 900 r_3 (r_3 – радіус заряду) у воді можна оцінити за формулою Коула:

$$P(t) = P_m e^{-t/\theta}, \quad (4.14)$$

де θ – час, протягом якого тиск падає в e разів; P_m – максимальний тиск на фронті ударної хвилі, Па.

Радіус заряду визначається за формулою:

$$r_3 = \left(\frac{3q}{4\pi\rho_0} \right)^{1/3}, \text{ м}, \quad (4.15)$$

де q – вага заряду (тротилу або заряду іншої ВР у тротиловому еквіваленті), кг;
 ρ_0 – початкова густина ВР, кг/м³.

Вагу заряду в тротиловому еквіваленті знаходять за формулою (4.9).

Величину θ називають постійною часу експонентного зменшення тиску і визначають за формулою:

$$\theta = \frac{1,2 \cdot 10^{-4} \cdot H^{0,16}}{q^{0,28}}, \text{ с}, \quad (4.16)$$

де H – відстань від заряду до точки спостереження, м.

Максимальний тиск на фронті ударної хвилі визначається з такого виразу:

$$P_m = \frac{10\rho_0 D^2}{(k+1)}, \text{ Па} \quad (4.17)$$

де D – швидкість детонації заряду ВР для відповідної густини заряду ρ_0 , м/с (ρ_0 і D знаходять з табл. 4.2); k – показник політропи ПВ (табл. 3.1).

При відбитті від твердої стінки величина питомого імпульсу УХ може бути знайдена з формули:

$$I = \frac{9300q^{1/3}}{H}, \text{ Па}\cdot\text{с}. \quad (4.18)$$

ПРИКЛАД 4.2. Заряд гексогену густиною 1,6 г/см³ і вагою 10 кг підривають під водою. Побудувати графічні залежності $\theta=f(H)$, $P=f(t)$ з огляду на те, що параметри УХ необхідно знати в точках, що відповідають відстаням від заряду (у метрах): 1,2, 2, 5, 10, 20, 50 і 100.

РОЗВ'ЯЗОК

1. З табл. 4.2 знаходимо швидкість детонації гексогену:

$$D = 8130 \text{ м/с}.$$

2. За формулою (4.9) розраховуємо вагу заряду в тротиловому еквіваленті, використовуючи дані табл. 1.2:

$$q_{ЕКВ} = \frac{10 \cdot 1290}{1000} = 12,9 \text{ кг}.$$

3. Радіус заряду визначаємо за формулою (4.15), тобто

$$r_3 = \left(\frac{3 \cdot 12,9}{4 \cdot 3,14 \cdot 1600} \right) = 0,12 \text{ м}.$$

Таким чином, параметри УХ за умови $(H=2) > (r_3=10 \cdot 0,12)$ можуть бути без суттєвих похибок знайдені за допомогою залежностей (4.14), (4.16) і (4.18).

4. За формулою (4.16) знаходимо значення θ для заданих глибин:

$$\theta = \frac{1/2 \cdot 10^{-4}}{12,9^{0,28}} \cdot H^{0,16} = 58,6 \cdot 10^{-6} \cdot H^{0,16}.$$

При $H = 1,2$ м	$\theta = 60 \cdot 10^6$ с
$H = 2$ м	$\theta = 65 \cdot 10^6$ с
$H = 5$ м	$\theta = 75 \cdot 10^6$ с
$H = 10$ м	$\theta = 85 \cdot 10^6$ с
$H = 15$ м	$\theta = 90 \cdot 10^6$ с
$H = 20$ м	$\theta = 95 \cdot 10^6$ с
$H = 50$ м	$\theta = 110 \cdot 10^6$ с
$H = 100$ м	$\theta = 122 \cdot 10^6$ с

5. Будемо залежність постійної часу від відстані в діапазоні $(10 - 900)r_3$. Як видно з графіка (рис. 4.6), $\theta = f(H)$ зі збільшенням H , починаючи приблизно із 100 – 150 м, θ можна прийняти постійним, тобто $\theta \approx 130$ мкс, що в подальших розрахунках значних похибок не внесе. Падіння тиску P практично до нуля відбувається за час $(10 \dots 15)\theta$. У розрахунках приймемо $t = 120$. Таким чином, розрахунок тиску за формулою (4.14) проводимо з урахуванням того, що t знаходиться в межах від нуля до 1600...2000 мкс.

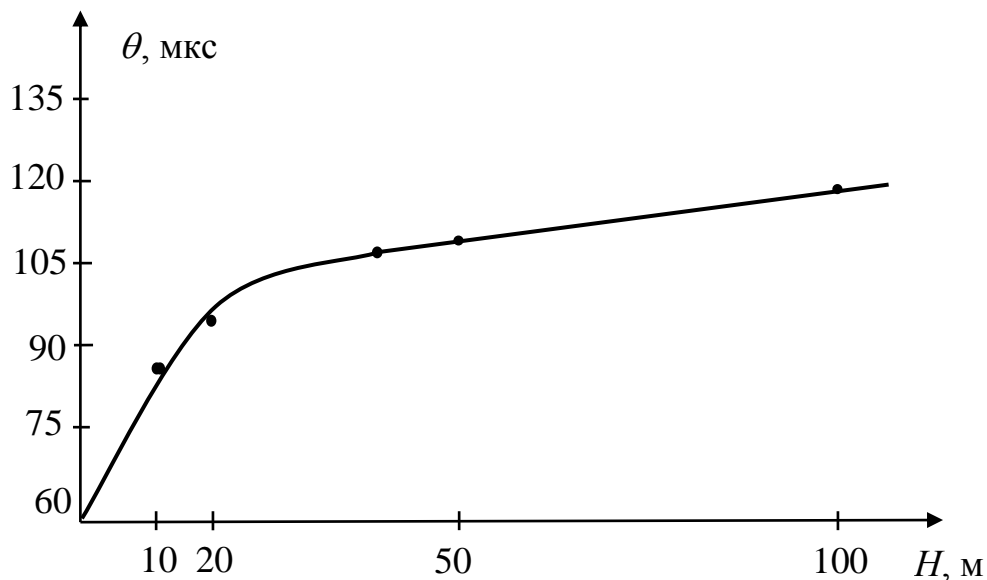


Рис. 4.6. Залежність θ від H

6. Задаючись значеннями t , знаходимо величину тиску на фронті УХ, використовуючи формули (4.14) і (4.17), для визначення максимального тиску P_m . З табл. 4.2 знаходимо відповідне значення політропи: $k = 3,06$.

Розраховуємо максимальний тиск

$$P_m = \frac{10 \cdot 1600 \cdot 8130^2}{4,06 \cdot 9,8} = 2,65 \cdot 10^{10}, \text{ Па,}$$

де $9,8$ – величина прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Тиск на фронті ударної хвилі знаходимо в такий спосіб:

$$P = \frac{265000 \cdot 10^5}{e^{t/130}}, \text{ Па.}$$

При $t_0 = 0$ м	$P = 2,65 \cdot 10^{10}$ Па
$t_1 = 100$ м	$P = 1,23 \cdot 10^{10}$ Па
$t_2 = 500$ м	$P = 5,7 \cdot 10^8$ Па
$t_3 = 1000$ м	$P = 1,2 \cdot 10^7$ Па
$t_4 = 1600$ м	$P = 1,2 \cdot 10^5$ Па
$t_5 = 2000$ м	$P = 5,5 \cdot 10^3$ Па

7. Будемо графік залежності $P = f(t)$ (рис. 4.7).

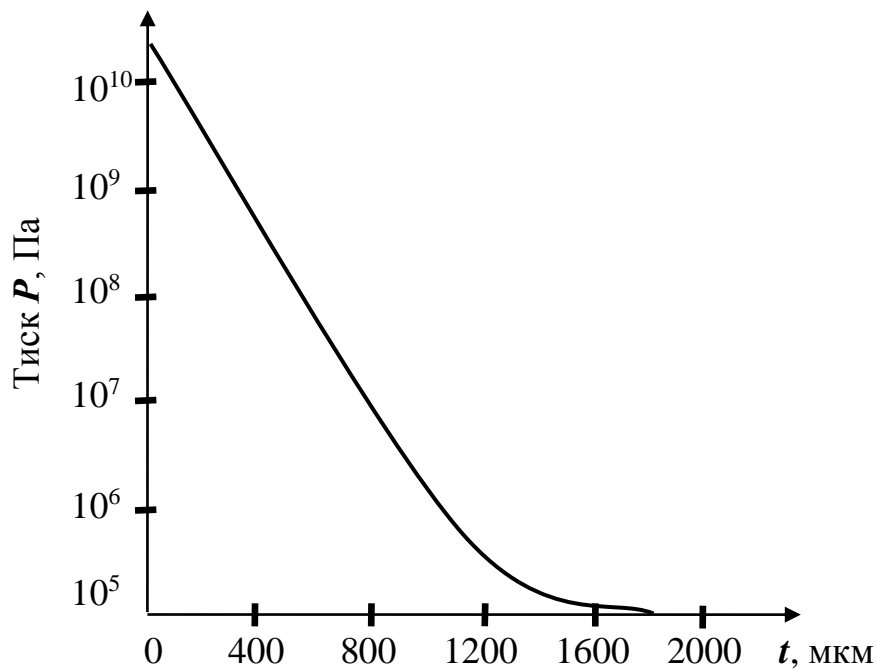


Рис. 4.7. Графік функції $P=f(t)$

Залежність параметрів детонації від густини ВР

Назва ВР, густина, ρ_0 , г/см ³	Швидкість детонації D , м/с	Максимальний тиск, $P_m \cdot 10^8$, Па	Показник політропи, k	Густина ρ_1 , г/см ³
ТРОТИЛ				
1,59	6910	178	3,3	2,08
1,45	6500	142	3,3	1,89
1,36	6200	122	3,27	1,77
1,00	5000	66	2,8	1,36
0,80	4340	36	3,13	1,09
ЛИТИЙ ТНТ				
1,62	6980	183	3,3	2,11
ГЕКСОГЕН				
1,72	8460	308	3,0	2,29
1,60	8130	260	3,06	2,12
1,46	7600	208	3,05	1,92
1,44	7530	195	3,18	1,89
1,29	7000	164	2,85	1,74
1,10	6180	120	2,52	1,54
0,95	5800	95	2,37	1,35
0,70	4650	47	2,2	1,02
ТРОТИЛ/ГЕКСОГЕН (ТГ 50/50)				
1,68	7850	248	2,96	2,25
ТГ 36/64				
1,68	7830	257	3,0	2,24
1,40	6930	161	3,17	1,84
1,71	8000	266	3,13	2,25
ТЕТРИЛ				
1,68	7500	235	3,0	2,24
1,36	6680	140	3,3	1,77
ДИНА				
1,64	7800	266	2,76	2,23
1,36	7000	156	3,26	1,78
0,95	5080	66	3,85	1,20
АМОНІТ 6ЖВ				
1,00	1900	85	1,88	–
1,45	6700	105	3,55	–
1,70	5850	123	3,52	–

ПРИКЛАД 4.3. Визначити параметри УХ у воді на відстані $H = 10$ м від точки вибуху заряду тротилу масою $q = 10$ кг. Знайти величину тиску на фронті УХ, питомий імпульс стиску, питому енергію УХ, а також радіус зони вибуху, небезпечної для риб, якщо мінімальна вражаюча дія тиску на фронті хвилі складає $P_B = 10^6$ Па.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Знайдемо величину тиску на фронті ударної хвилі за формулою:

$$P_1 = 533 \left(\frac{\sqrt[3]{q}}{H} \right)^{1,13} = 117 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

2. Визначимо питомий імпульс фази стиску:

$$I = 930 \frac{q^{2/3}}{H} = 428 \text{ кгс·см/см}^2.$$

3. Обчислимо питому енергію УХ:

$$E_B = 1000 \sqrt[3]{q} \left(\frac{\sqrt[3]{q}}{H} \right)^{2,1} = 10 \text{ кгс·см/см}^2.$$

4. Знайдемо радіус зони враження:

$$R = \left(\frac{533q^{0,376}}{P_{II}} \right)^{0,885} = 73 \text{ м.}$$

4.2.1. Задачі для самостійної роботи

Побудувати графіки функцій $\theta=f(H)$, $P=f(t)$ для заряду ВР вагою q , розміщеного на глибині H_0 . Знайти радіус зони вибуху R , небезпечної для риб, і визначити тиск P_1 на фронті УХ на відстанях H_0, H_1, H_2, H_3, H_4 (числові значення величин наведені в табл. 4.3).

4.3. Розрахунок ударних хвиль у піску

Якщо у ролі передавального середовища використовують пісок, то максимальний тиск на фронті плоскої УХ визначають за формулою:

$$P_m = A \left(\frac{q}{R} \right)^\beta, \quad (4.19)$$

де A і β – постійні величини; R – відстань від заряду, м.

Час спаду тиску за фронтом УХ обчислюють за формулою:

$$\theta = (a + bR) \cdot 10^{-3} \sqrt{q}. \quad (4.20)$$

Значення коефіцієнтів a і b наведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.3

Числові дані за варіантами задач

№ п/п	Вага заряду q , кг	Відстані, м					Тип ВР	Густина, $г/см^3$
		H_0	H_1	H_2	H_3	H_4		
1	2	10	8	6	4	2	Тротил	1,59
2	4	84	64	44	24	4	Гексоген	1,72
3	10	77	66	55	33	11	Гексоген	1,46
4	15	100	80	60	40	10	Гексоген	1,10
5	12	80	60	40	20	10	Тротил	1,36
6	10	64	–	32	16	8	Тротил	1,00
7	8	36	25	18	9	3	ТГ 36/64	1,68
8	2	16	10	5	–	–	ТГ 36/64	1,40
9	3	58	48	38	28	8	ТГ 50/50	1,68
10	13	90	70	50	30	10	Тетрил	1,68
11	11	85	65	45	25	5	Тетрил	1,36
12	7	42	–	–	20	2	Амоніт 6ЖВ	1,00
13	6	36	27	18	–	1	Дина	1,36
14	16	120	100	–	–	2	ТГ 50/50	1,68
15	5	45	20	10	2	1	Тротил	1,45
16	9	80	40	20	1	0	Гексоген	1,29
17	8	30	20	10	5	2	Тротил	1,59
18	7	25	15	7	4	1	Тротил	1,45
19	6	20	15	7	3	0,5	Тротил	1,36
20	5	19	17	11	5	1	Тротил	1,00
21	3	21	11	6	3	1	Литий ТНТ	1,62
22	6	40	20	10	5	0,1	ТГ 50/50	1,68
23	48	100	80	50	10	1	ТГ 50/50	1,68
24	48	100	80	50	10	1	ТГ 36/64	1,71
25	13	30	15	7	3	0,4	ТГ 36/64	1,40
26	9	25	12	6	3	1,5	Гексоген	1,72
27	2	10	5	2,5	1	0,3	Гексоген	1,60
28	120	200	100	50	25	5	Гексоген	1,72

Таблиця 4.4

Чисельні значення коефіцієнтів, що входять у формули (4.19) і (4.20)

Вологість піску, %	a	b	A	β
2 – 4	18,2	0,44	15	1,4
5 – 7	–	–	21	1,3
10 – 12	–	–	28	1,1
15 – 17	6	6	19	1,25
17 – 20	6	2,2	10	1,4

ПРИКЛАД 4.4. Заряд ВР із тротилу вагою 10 кг розміщений у піску, що має вологість $\eta=3$ %. Визначити максимальний тиск P_m , час спаду тиску θ на відстані $R=45$ м. Побудувати графіки функцій $\theta=f(H)$, $P_m=f(t)$.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Максимальний тиск знаходимо за формулою (4.19), а значення коефіцієнтів – за табл. 4.4:

$$P_m = \frac{15 \cdot 10^{1,4}}{R^{1,4}}.$$

При $R_1 = 1$ м	$P_m = 377 \cdot 10^5$ Па
$R_2 = 5$ м	$P_m = 40 \cdot 10^5$ Па
$R_3 = 10$ м	$P_m = 15 \cdot 10^5$ Па
$R_4 = 25$ м	$P_m = 4 \cdot 10^5$ Па
$R_5 = 45$ м	$P_m = 1,8 \cdot 10^5$ Па

2. Будуємо графік функції $P=f(t)$ (рис. 4.8).

3. Час спаду тиску знаходимо за формулою (4.20) (значення коефіцієнтів a і b наведені в табл. 4.4):

$$\theta = \frac{18,2 + 0,44R}{143}, \text{ с.}$$

Підставляємо числові значення R і знаходимо відповідні значення θ .

При $R_1 = 1$ м	$\theta = 0,13$ с
$R_2 = 5$ м	$\theta = 0,14$ с
$R_3 = 10$ м	$\theta = 0,15$ с
$R_4 = 25$ м	$\theta = 0,20$ с
$R_5 = 45$ м	$\theta = 0,26$ с

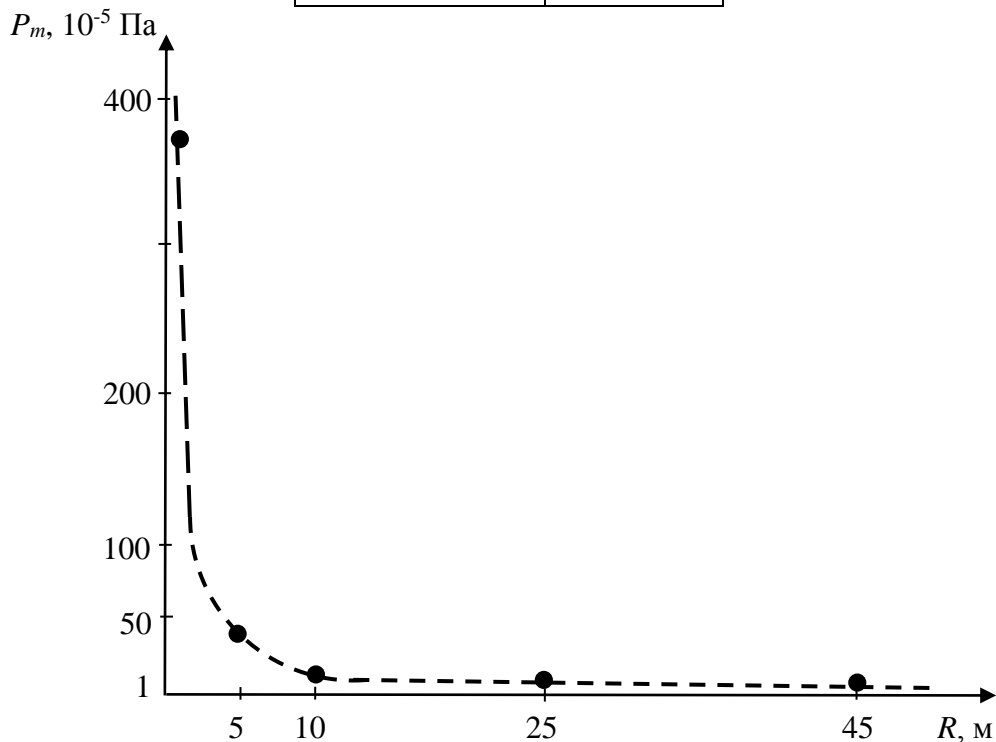


Рис. 4.8. Графік функції $P=f(t)$

Будуємо графік функції $\theta = f(R)$ на підставі отриманих числових значень θ і R (рис. 4.9).

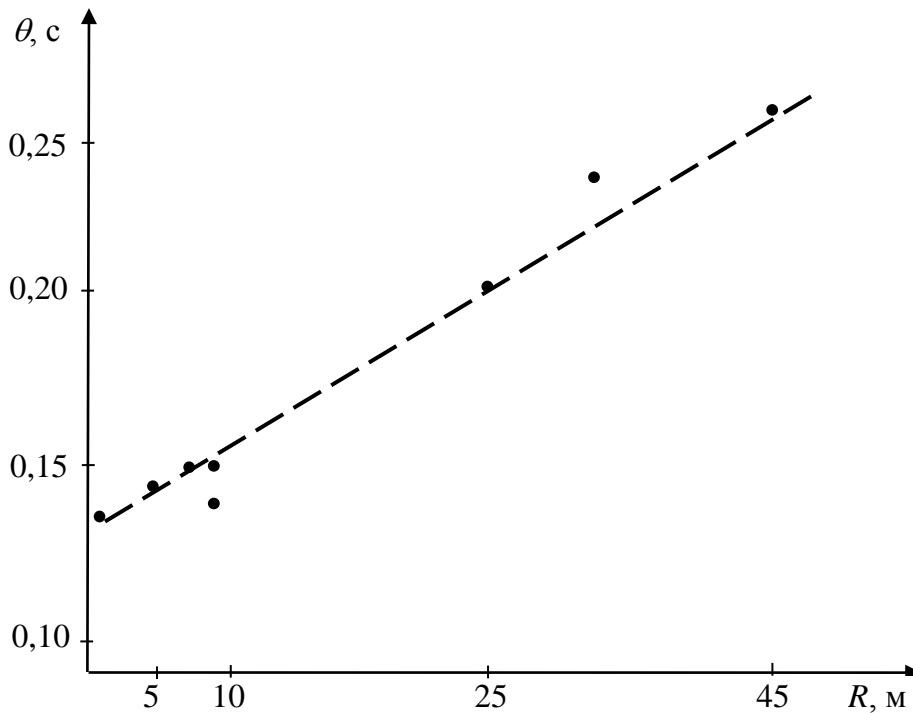


Рис. 4.9. Графік функції $\theta = f(R)$

4.3.1. Задачі для самостійної роботи

1. Заряд ВР вагою q розташований у піску, що має вологість η . Визначити максимальний тиск P_m , час і характер спаду тиску θ на відстані R . Побудувати функції $P_m = f(t)$ і $\theta = f(R)$. У табл. 4.5 наведені варіанти задач.

2. Заряд амоніту масою M підривають у ґрунті на границі двох шарів: водонасичений пісок і глинистий ґрунт із характеристикою α і ω . Визначити параметри хвилі стиску в обох шарах на відстанях R_1, R_2, R_3, R_4 (рис. 4.3). У табл. 4.6 наведені варіанти задач з відповідними числовими значеннями літерних позначень, що входять в умову задачі. Як вихідні дані для ВР використати амоніт 6ЖВ.

Числові параметри за варіантами задач

№ варіанта	ВР		Вага, кг	Контрольні відстані, м				Вологість, %
	Найменування	Густина, г/см ³		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	
1	Тротил	1,59	0,5	0,8	1,5	2	3	2
2	Тротил	1,36	3	1	1,2	1,8	4	5
3	Тротил	1,00	6	1	2	4	6	10
4	ТГ 36/64	1,68	8	2	8	15	25	15
5	ТГ 36/64	1,40	7	1	6	11	17	18
6	ТГ 50/50	1,68	5	1	5	10	15	7
7	Тетрил	1,68	10	2	12	24	36	16
8	Тетрил	1,68	8	3	5	8	15	20
9	Гексоген	1,29	25	5	15	25	40	4
10	Гексоген	1,72	12	2	10	16	50	6
11	Гексоген	1,72	8	1	7	14	24	20
12	Гексоген	1,60	7	2	4	10	16	18
13	Гексоген	1,46	9	1	4	6	12	5
14	Гексоген	1,44	5	1	2	3	4	2
15	Гексоген	1,29	4	1	2	3	4	3
16	Гексоген	1,10	3	1	2	3	4	4
17	Тетрил	1,68	1	0,2	0,5	0,8	1,2	8
18	Тетрил	1,36	10	2	4	6	8	7
19	Дина	1,64	6	1	2	4	8	15
20	Дина	1,36	24	3	6	12	24	17
21	Дина	0,95	50	2	8	20	30	2
22	Тротил	1,59	300	5	20	50	100	9
23	Тротил	1,45	60	4	20	40	60	11
24	Тротил	1,36	30	1	12	19	35	16
25	Тротил	1,00	4	1	2	3	4	19
26	Тротил	0,80	1000	10	90	100	400	6
27	ТГ 36/64	1,68	250	6	20	50	100	3
28	ТГ 36/64	1,40	8	1	2	4	8	4
29	ТГ 36/64	1,71	15	2	6	12	24	17
30	ТГ 50/50	1,68	9	2	3	5	9	12
31	Амоніт 6ЖВ	1,00	10	1	2	4	8	5
32	Амоніт 6ЖВ	1,45	8	1	3	6	12	4
33	Амоніт 6ЖВ	1,00	34	2	6	18	36	2
34	Амоніт 6ЖВ	1,45	25	2	4	7	13	10
35	Амоніт 6ЖВ	1,00	27	1	3	5	7	2
36	Амоніт 6ЖВ	1,45	8	1	3	6	12	17
37	Амоніт 6ЖВ	1,00	10	1	2	4	8	14
38	Амоніт 6ЖВ	1,00	21	2	4	7	13	6

Числові дані до задач

№ варіанта	M , кг	α , %	ω , %	R_1 , м	R_2 , м	R_3 , м	R_4 , м
1	9	0	8	1	3	5	7
2	10	0,01	8	1	3	5	7
3	11	0,04	8	1	3	5	7
4	12	0,005	8	1	3	5	7
5	13	0,005	6	1	3	5	7
6	14	0	6	1	3	5	7
7	15	0,01	6	1	3	5	7
8	16	0,04	6	1	3	5	7
9	17	0,005	4	1	3	5	7
10	18	0	4	1	3	5	7
11	19	0,01	7	2	4	6	8
12	20	0,01	7	2	4	6	8
13	21	0,04	7	2	4	6	8
14	22	0,005	7	2	4	6	8
15	23	0	7,95	1	2	3	9
16	22	0,01	12	2	3	6	8
17	25	0,04	12	2	4	6	8
18	24	0,005	12	2	4	6	8
19	23	0	12	2	4	6	8
20	22	0,01	12	2	4	6	8
21	21	0,04	12	2	4	6	8
22	20	0	2	1	3	5	7
23	19	0,01	3	1	3	5	7
24	18	0,04	4	1	3	5	7
25	17	0,005	5	2	4	8	16
26	16	0	6	2	4	8	16
27	15	0,01	7	1	2	3	4
28	10	0,04	12	2	5	8	15

4.4. Ударні хвилі у твердому середовищі

Дослідження поведінки мінералів і гірських порід під час динамічного стиску та їх кінцевих станів є одним із джерел інформації, необхідної в прогнозуванні, розробці раціонального пошуку й розвідці родовищ корисних копалин (РКК). У зв'язку з цим виникає необхідність у створенні як експериментальних, так і теоретичних методів моделювання природних ударних перетворень.

Використання законів збереження енергії, маси, імпульсу дає можливість визначити параметри ударного стиску, якщо відомі рівняння стану досліджуваної речовини і матеріалу ударника:

$$\Delta E = 0,5(V_0 - V_M)(P_M + P_0),$$

$$\rho(D_y - u) = D_y \rho_0,$$

$$P_M = P_0 + \rho D_y u, \quad (4.21)$$

де ΔE – питома внутрішня енергія ударного стиску; V_0 – початковий об'єм речовини; V_M – об'єм речовини при максимальному тиску; P_M – максимальний тиск; P_0 – початковий тиск (10^5 Па); ρ_0 – початкова густина речовини; ρ – густина речовини при тиску P_M ; D_y – швидкість УХ у речовині; u – масова швидкість частинок речовини за фронтом УХ.

Для опису експериментальних результатів зручно користатися зв'язком D_y і u , вважаючи, що $P_0 = 0$, тобто нехтуючи величиною P_0 :

$$D_y = a + \lambda u, \quad (4.22)$$

де a – швидкість пружної хвилі в досліджуваному зразку; λ – коефіцієнт (значення коефіцієнта надані в табл. 4.7).

У тому випадку, коли заряд ВР знаходиться в контакті з досліджуваною речовиною, тиск залежно від орієнтації детонаційного фронту стосовно границі контакту "ВР – середовище" буде визначатися таким чином:

– при нормальному падінні фронту детонаційної хвилі (рис. 4.10, а):

$$P_M = \frac{64}{27} \cdot \frac{\rho_{BP} D_{BP}^2}{k+1}, \quad (4.23)$$

де ρ_{BP} та D_{BP} – початкова густина й швидкість детонації ВР відповідно; k – показник політропи (табл. 4.2);

– при ковзанні детонаційного фронту вздовж границі "ВР – середовище" (рис. 4.10, б):

$$P_M = \frac{37}{27} \cdot \frac{\rho_{BP} D_{BP}^2}{k+1}. \quad (4.24)$$

З формул (4.23) і (4.24) знаходиться тиски в досліджуваному середовищі. Визначення швидкості УХ D_y і швидкості частинок за фронтом УХ u у досліджуваному середовищі зручно розглянути на прикладі задачі.

ПРИКЛАД 4.5. Визначити швидкість УХ у мармурі під час вибуху заряду тротилу густиною $1,45 \text{ г/см}^3$, якщо детонаційна хвиля падає нормально до поверхні зразка мармуру.

РОЗВ'ЯЗОК

1. З табл. 4.2 знаходимо величину максимального тиску, що виникає на фронті детонаційної хвилі:

$$P_M = 142 \cdot 10^8 \text{ Па.}$$

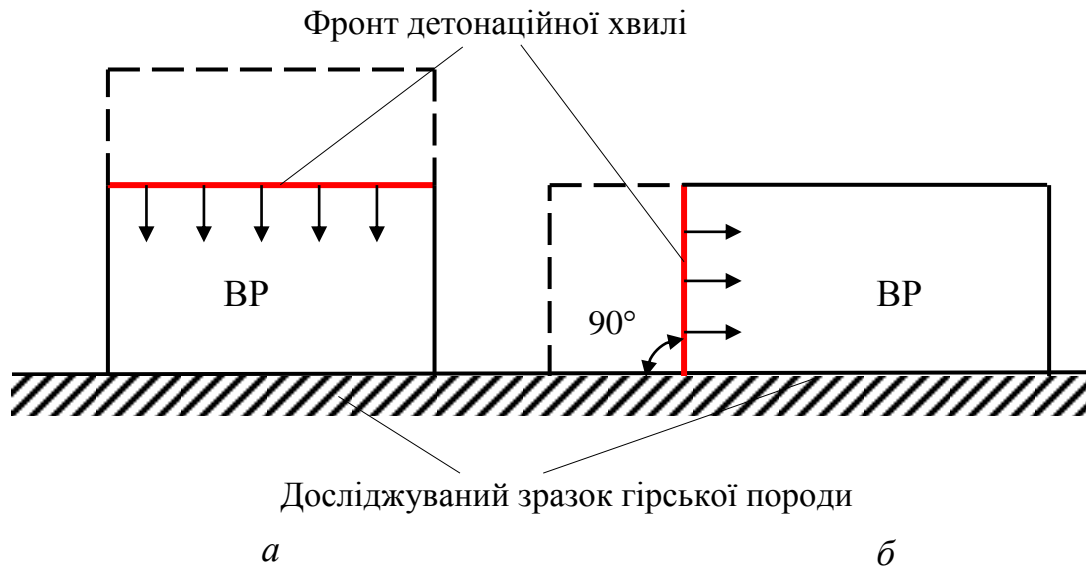


Рис. 4.10. Схема положень фронту детонаційної хвилі щодо поверхні досліджуваного зразка

2. Оскільки $P_M = (\rho_{BP} D_{BP}^2) / (k+1)$, то з (4.23) для визначення P_M досить помножити P_m на $64/27$ тобто

$$P_M = P_m \cdot \frac{64}{27} = 337 \cdot 10^8 \text{ Па.}$$

3. Оскільки на межі "ВР – мрамур" виникає тиск $337 \cdot 10^8$ Па, то з табл. 4.7 знаходимо відповідні для даної величини тиску значення a , λ і ρ_0 :

$$\rho_0 = 2700 \text{ кг/м}^3, a = 4010 \text{ м/с}, \lambda = 1,3.$$

4. Тиск P_M виникає на межі розділу. З урахуванням P_M можна визначити з формули (4.21) величину D_y (також із виразу (4.22)):

$$P_M = \rho_0 D_y \frac{D_y - a}{\lambda}. \quad (4.25)$$

Звідси легко знайти D_y , підставивши замість літерних значень числові дані, знайдені в табл. 4.7:

$$D_y = \frac{a}{2} + \left[\left(\frac{a}{2} \right)^2 + \frac{P_M \lambda}{2} \right]^{1/2} = \frac{4010}{2} + \left[\left(\frac{4010}{2} \right)^2 + \frac{337 \cdot 1,3 \cdot 10^8}{2700} \right]^{1/2} = 6,5 \text{ км/с.}$$

На рис. 4.11 показана схема ударного навантаження досліджуваного середовища. Металева пластина-ударник, яку розігнано до швидкості V , робить удар по досліджуваному середовищу. В результаті зіткнення ударна хвиля утворюється як у самій пластині, так і в досліджуваному середовищі. Для визначення тиску зручно користатися графічним методом (рис. 4.12). Для досліджуваного зразка і самого ударника необхідна побудова залежностей $P=f(u)$. З

виразу (4.25) знаходимо залежність масової швидкості від тиску, задаючись якимись його значеннями, наприклад, 10^8 , 10^9 , 10^{10} Па тощо:

$$u = -\frac{a}{2\lambda} + \left[\left(\frac{a}{2\lambda} \right)^2 + \frac{P_M}{\rho_0 \lambda} \right]^{1/2}.$$

Потім у координатах (P, u) будуються ударні адіабати пластини і досліджуваних матеріалів. Точки перетину ударної адіабати ударника з досліджуваними середовищами дають шукані значення тиску й масової швидкості. Точка перетину ударної адіабати ударника з віссю абсцис відповідає швидкості пластини-ударника. Графічне визначення тиску є зручним, якщо відомі чисельні значення величин a , λ і ρ_0 .

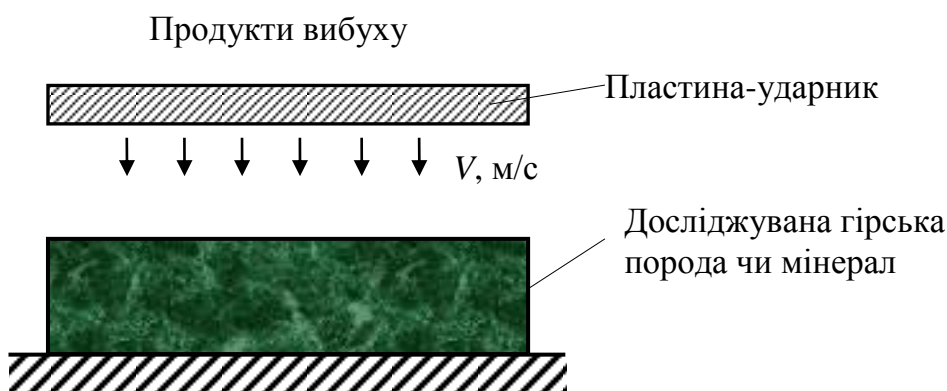


Рис. 4.11. Схема ударного навантаження досліджуваного середовища (V – швидкість переміщення пластини-ударника, розігнаної продуктами вибуху)

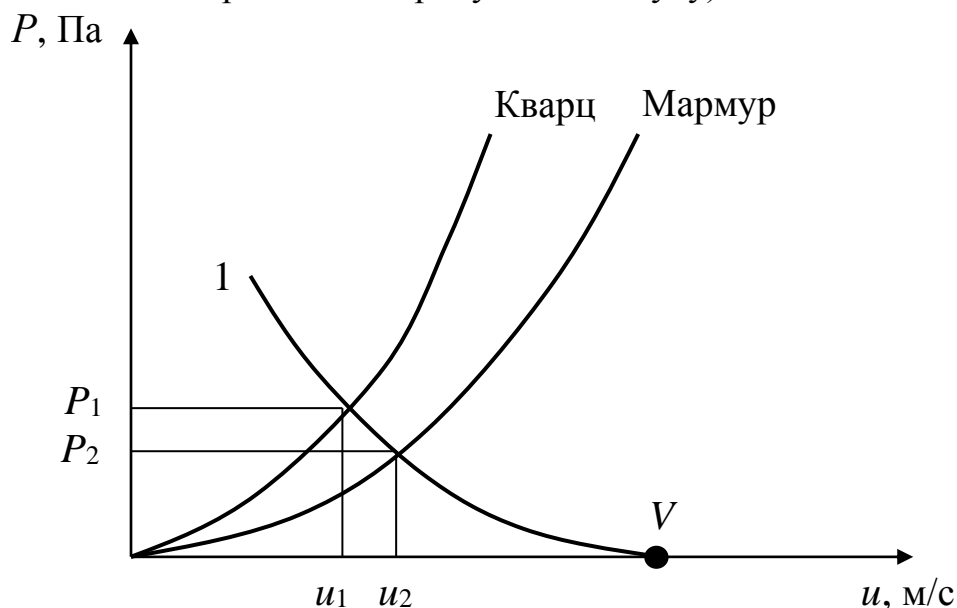


Рис. 4.12. Розрахунок тиску на границі зіткнення "ударник – досліджуване середовище"

Ударна адиабата у формі $D_y = a + \lambda u$ і значення коефіцієнтів λ і a

Речовина	Початкова густина ρ_0 , г/см ³	a , м/с	λ	Межа тисків, де справедливі коефіцієнти λ і a , Па·10 ⁸
Кварц	2,65	3710	1,24	39 – 185
		3680	2,12	57 – 147
		5561	0,14	147 – 391
		1739	1,70	391 – 730
Мармур	2,70	3390	2	51 – 149
		4010	1,3	159 – 518
Пісок	1,66	500	2,41	1 – 50
Піщаник сухий	–	1920	1,4	–
Піщаник мокрий	–	2580	1,42	–
Вода	1,0	1500	2,0	–
Сталь (0,2% С)	7,85	4000	1,58	1000 – 4100
Графіт	2,2	4057	1,763	31 – 480
Вибухові речовини				
Тротил	1,614	2390	2,05	–
Гексоген	1,8	2870	1,61	–
Тротил	1,63	2570	1,88	–
ТГ 40/60	1,7	2950	1,58	–
Тен	1,67	2830	1,91	–

4.4.1. Задачі для самостійної роботи

Визначити швидкість УХ, масову швидкість частинок за фронтом і тиск у досліджуваному середовищі при вибуху заряду ВР густиною ρ_0 за умови орієнтованого падіння фронту детонаційної хвилі на межі розділу "ВР – досліджуване середовище". Варіанти задач наведені в табл. 4.8.

Числові дані за варіантами задач

№ п/п	ВР	Густина ВР, г/см ³	Кут падіння детонаційної хвилі, град	Досліджуване середовище
1	2	3	4	5
1	Тротил	1,59	0	Кварц
2	Тротил	1,45	0	Кварц
3	Тротил	1,36	0	Кварц
4	Тротил	1,0	90	Кварц
5	Тротил	0,8	90	Кварц
6	Тротил	1,59	90	Мармур
7	Тротил	1,45	0	Мармур
8	Тротил	1,36	90	Мармур
9	Тротил	1,0	90	Мармур

Продовження табл. 4.8

1	2	3	4	5
10	Тротил	0,8	0	Мармур
11	Тротил	1,59	0	Пісок
12	Тротил	1,59	90	Пісок
13	Тротил	1,45	0	Пісок
14	Тротил	1,45	90	Пісок
15	Тротил	1,36	0	Пісок
16	Тротил	1,36	90	Пісок
17	Гексоген	1,72	0	Кварц
18	Гексоген	1,60	0	Кварц
19	Гексоген	1,46	0	Кварц
20	Гексоген	1,44	0	Кварц
21	Гексоген	1,29	0	Кварц
22	Гексоген	1,10	0	Кварц
23	Гексоген	0,95	0	Кварц
24	Гексоген	0,70	0	Кварц
25	Гексоген	1,72	90	Вода
26	Гексоген	1,60	90	Вода
27	Гексоген	1,46	90	Вода
28	Гексоген	1,44	90	Вода
29	Гексоген	1,29	90	Вода
30	ТГ 36/64	1,68	0	Вода

При розв'язанні задач треба користуватися також і даними табл. 3.1 і 4.2.

5. ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ ВІДСТАНЕЙ ПРИ ВИБУХОВИХ РОБОТАХ

5.1. Сейсмічно безпечні відстані

Сейсмічна безпека будівель та споруд під час вибухів припускає відсутність ушкоджень, що порушують їх нормальне функціонування (ймовірність появи легких ушкоджень складає близько 0,1). Визначення відстаней, на яких коливання ґрунту, що викликані однократним вибухом зосередженого заряду ВР, стають безпечними для будівель та споруд, здійснюється за формулою:

$$r_c = K_r K_c d \sqrt[3]{q}, \text{ м}, \quad (5.1)$$

де r_c – відстань від місця вибуху до будинку, що охороняється, м; K_r – коефіцієнт, що залежить від властивостей ґрунту в основі будівлі (значення K_r наведені в табл. 5.1); K_c – коефіцієнт, що залежить від типу будівлі й характеру забудови (значення K_c наведені в табл. 5.2); d – коефіцієнт, що залежить від умов висадження (значення наведені в табл. 5.3); q – маса заряду, кг.

Таблиця 5.1

Значення коефіцієнта K_r

Тип ґрунту	Ґрунт в основі споруди, що охороняється	K_r
1	Скельні породи щільні, непорушені	3
2	Скельні породи порушені; неглибокий шар м'яких ґрунтів на скельній основі	5
3	Зневоднені піщані й глинисті ґрунти глибиною більше 10 м	10
4	Ґрунтові обводнені ґрунти й ґрунти з високим рівнем ґрунтових вод	15
5	Водонасичені ґрунти	20

При висадженні на відстані менше 100 м від будівель або споруд сейсмічна дія вибуху має локальний характер і тому гранично-припустима маса заряду, яку визначають за допомогою формули (5.1), виходить заниженою. За необхідності допускається збільшення цієї маси.

Таблиця 5.2

Значення коефіцієнта K_c

Тип будівель	Будівлі та споруди, характер забудови	K_c
1	Одиночні будівлі та споруди виробничого призначення із залізобетонним чи металевим каркасом	1
2	Одиночні двоповерхові цегельні будівлі	1,5
3	Невеликі житлові селища	2

Значення коефіцієнта d

№ п/п	Умови висадження	d
1	Камуфлетний вибух і вибух на розпушення	1
2	Вибух на викид	0,8
3	Вибух незаглибленого заряду	0,5

При розміщенні заряду у воді чи водонасиченому ґрунті значення коефіцієнта треба збільшити у 1,5 – 2 рази. Під час вибуху зовнішніх зарядів на поверхні землі сейсмічна дія не враховується.

При одночасному (без затримки) висадженні групи з N зарядів ВР загальною масою Q у тих випадках, коли відстані від об'єкта, що охороняється, до найближчого і до найбільш віддаленого зарядів розрізняються не більше ніж на 20 %, безпечну відстань визначають за формулою:

$$r_c = N^{1/6} K_A K_C \alpha \sqrt[3]{Q}, \text{ м.} \quad (5.2)$$

При неодноразовому висадженні N зарядів ВР загальною масою Q із часом уповільнення між вибухами кожного заряду не менше 20 мс визначення безпечних відстаней проводиться за формулою:

$$r_c = \frac{(K_T K_3 \alpha \sqrt[3]{Q})}{\sqrt[4]{N}}, \text{ м.}$$

Розрахунок радіуса сейсмонебезпечної зони ґрунтується на значенні припустимих швидкостей коливання для будівель, що дорівнює 10 см/с. На основі залежності швидкості коливань споруди від величини $q^{1/3}/r_c$ можливе використання формули:

$$r_c = K_T K_3 \alpha \left(\frac{10}{V_C} \right)^{2/3} \sqrt[3]{Q},$$

де V_C – припустима швидкість коливань споруд.

Залежно від величини показника дії вибуху змінюються значення коефіцієнта α (табл. 5.4).

Зміни значення коефіцієнта α від величини показника дії вибуху n

n	α	n	α	n	α
0,5	1,2	1,7	0,86	2,4	0,76
1,0	1,0	1,8	0,84	2,5	0,75
1,1	0,98	1,9	0,82	2,6	0,74
1,2	0,96	2,0	0,80	2,7	0,73
1,3	0,94	2,1	0,79	2,8	0,72
1,4	0,92	2,2	0,78	2,9	0,71
1,5	0,90	2,3	0,77	3,0	0,70
1,6	0,88	–	–	–	–

Формула (5.4.) дозволяє приблизно оцінювати сейсмічну небезпеку вибухів для старих будівель і споруд, якщо для них відомі припустимі величини швидкостей коливань. Орієнтовні значення припустимих швидкостей для деяких споруд наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Припустимі швидкості коливань для деяких споруд

Тип споруди	Припустимі швидкості коливань, см/с (V_c)	
	багатократні вибухи	один вибух
Великопанельні житлові будинки, старі будівлі, архітектурні пам'ятники	1	3
Житлові та громадські будівлі всіх типів, крім великопанельних, адміністративно-побутові та промислові будівлі	3	5
Проммайданчики, високі труби, залізничні тунелі, транспортні естакади	5	10
Одноповерхові каркасні промислові будівлі, металеві й залізобетонні споруди, гідротехнічні тунелі	10	20
Укоси уступів на кар'єрах у малозв'язних породах або за наявності несприятливо орієнтованої тріщинуватості	30	50
Укоси уступів у міцних породах	50	100

При висадженні посекційно груп зарядів ВР залежно від часу уповільнення між чергами дотримуються таких правил:

– при часі уповільнення (τ) між вибухами більше 1 с розрахунок здійснюється за формулою (5.1) для черги з найбільшою масою зарядів, що підриваються водночас;

– при короткоуповільненому висадженні (КУВ) припустима маса зарядів ВР Q_C у кожній серії уповільнення визначається формулою:

$$Q_C = \frac{2Q_M}{3},$$

де Q_M – максимально припустима маса зарядів при миттєвому висадженні, кг.

Загальна маса зарядів при КУВ:

$$Q_{КВ} = \frac{2}{3} Q_M \sqrt{m},$$

де m – число серій уповільнення при інтервалі уповільнень не менше 50 мс.

За даними експериментальних досліджень (В.В. Бойко) визначалися коефіцієнти пропорційності й показник ступеня загасання, що входять у рівняння, які функціонально поєднують швидкість коливань V_c з наведеною масою заряду ВР. Отримані для різних регіонів території України кореляційні залежності

швидкості коливань від наведеної маси заряду ВР паралельно ($V_{C||}$) і перпендикулярно тріщинам ($V_{C\perp}$) мають вигляд:

$$V_{C||} = A \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{r_C} \right)^\gamma,$$

$$V_{C\perp} = B \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{r_C} \right)^\beta,$$

де A, B – коефіцієнти (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Значення коефіцієнтів A, B, γ і β

Тип породи	Область України	A	γ	B	β
Граніти УЩ	Хмельницька	1200	2,1	200	1,4
	Рівненська	1250	2,8	180	1,8
	Житомирська	1300	2,1	160	1,4
Вапнякові масиви	Івано-Франківська	1050	1,5	350	1,48
	Чернівецька	1100	1,48	480	1,32

ПРИКЛАД 5.1. При висадженні щільних гранітів використовуються камерні заряди вагою $q=4$ м. Визначити сейсмобезпечну відстань до будинку контори кар'єру, якщо одночасно вибухає 12 камерних зарядів розпушення, які розташовані в один ряд паралельно фундаменту будинку. Показник дії вибуху $n=0,5$.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Складаємо принципову схему розташування камерних зарядів і будинку (рис. 5.1).

2. Визначаємо загальну вагу камерних зарядів:

$$Q = qN = 4 \cdot 12 = 48 \text{ т.}$$

3. Для даних умов висадження знаходимо значення K_r, K_z , і α (з табл. 5.1, 5.2, 5.3):

$$K_r = 5, \quad K_z = 1, \quad \alpha = 1,2.$$

4. За формулою (5.2) визначаємо сейсмобезпечну відстань:

$$r_C = 5 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot \sqrt[5]{12} \cdot \sqrt[3]{48000} = 327 \text{ м.}$$

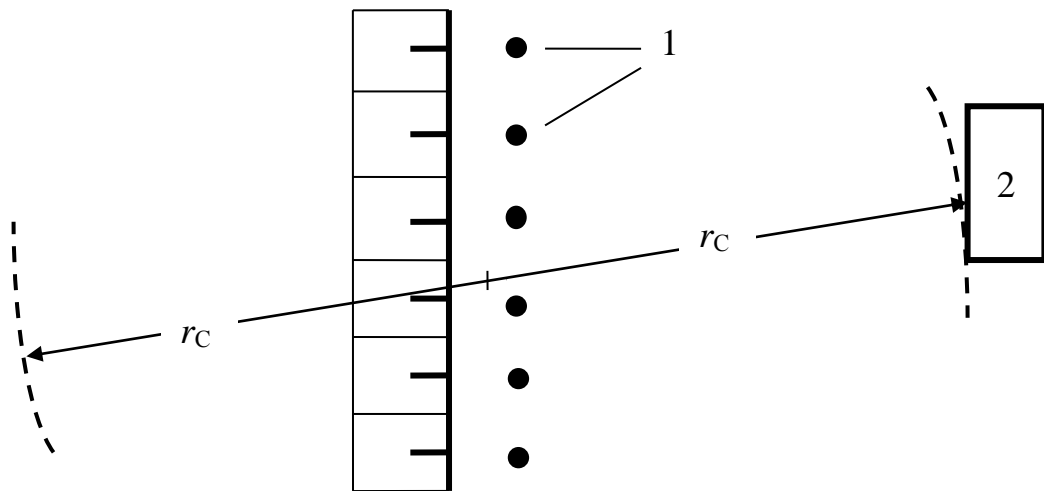


Рис. 5.1. Схема розташування зарядів і об'єкта: 1 – заряд ВР; 2 – об'єкт

ПРИКЛАД 5.2. Підривні роботи проводяться в глинистих ґрунтах методом свердловинних зарядів поблизу будівель і споруд на відстані 800 м. Маса заряду, що миттєво підривається, $Q = 400$ т, показник дії вибуху $n = 2$. Визначити, чи знаходяться цегельні будівлі і споруди на сейсмобезпечній відстані від місця вибуху.

РОЗВ'ЯЗОК

1. З табл. 5.1, 5.2 і 5.4 знаходимо значення коефіцієнтів K_r , K_z , α :

$$K_r = 10,$$

$$K_z = 1,5,$$

$$\alpha = 0,8.$$

2. За формулою (5.1) знаходимо сейсмобезпечну відстань:

$$r_c = 10 \cdot 1,5 \cdot 0,8^3 \sqrt{400000} = 885 \text{ м.}$$

5.1.1. Задачі для самостійної роботи

Визначити припустимі швидкості коливань і сейсмобезпечні відстані, якщо відомо, що маса ВР, яка підривається, складає Q , показник дії вибуху n . Інші дані наведені в табл. 5.7.

Показники й числові дані до задач

№ п/п	Маса ВР Q, т	Показник дії вибуху, n	K _з	K _г	Область України
1	5	0,5	1	3	Хмельницька
2	6	0,6	1	5	
3	7	0,7	1	10	
4	8	0,8	1	15	
5	9	0,9	1	20	
6	70	1,0	1,5	3	
7	60	2,0	1,5	5	
8	50	3,0	1,5	10	
9	40	1,0	1,5	15	
10	30	1,0	1,5	20	
11	12	1,2	2,0	3	Рівненська
12	13	1,5	2,0	3	
13	14	2,0	2,0	3	
14	15	2,5	2,0	3	
15	16	3,0	2,0	3	
16	24	0,8	1	5	
17	25	0,9	1	5	
18	26	1,0	1,5	5	
19	24	1,1	1	5	
20	24	1,2	1	10	
21	24	1,3	1	15	
22	24	1,4	1	20	
23	110	1,8	1	3	Житомирська
24	100	1,8	1	3	
25	190	1,8	1	3	
26	180	1,8	1	3	
27	170	1,8	1	3	
28	170	1,8	2	3	
29	170	1,8	2	3	Житомирська
30	170	1,8	2	10	
31	170	1,8	2	20	
32	150	1,5	1,5	15	
33	133	3,0	1,5	3	
34	133	2,9	1	5	
35	133	2,8	1	10	
36	140	2	2	10	
37	6	2	1	5	Івано-Франківська
38	6	2	2	10	
39	6	2	2	15	
40	6	2	2	20	
41	10	1	1	3	
42	12	1,3	1,5	5	
43	12	1,4	1,5	5	
44	3	1,5	2	10	
45	3	1,6	2	15	
46	4	1	1	20	
47	40	1,5	1,5	3	Чернівецька
48	40	1	2	5	
49	35	2	1	10	
50	30	2,5	1	15	

5.2. Визначення безпечних відстаней під час розльоту окремих шматків породи

Безпечні відстані й небезпечні зони при підричних роботах визначаються відповідно до «Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення».

Відстань, що безпечна для людей під час розльоту окремих шматків породи при висадженні свердловинних зарядів, розрахованих на розпушення (дроблення), визначається за формулою:

$$r_{\text{РОЗЛ}} = 1250\eta \frac{d_C}{a} \sqrt{\frac{f}{1 + \eta_{\text{ЗАБ}}}}, \text{ м}, \quad (5.3)$$

де η – коефіцієнт заповнення свердловини вибуховою речовиною; $\eta_{\text{ЗАБ}}$ – коефіцієнт заповнення свердловини забійкою; f – коефіцієнт міцності порід за шкалою М.М. Протодьяконова; d – діаметр свердловини, м; a – відстань між свердловинами в ряді чи між рядами, м.

Коефіцієнт η чисельно дорівнює відношенню довжини заряду ВР у свердловині l_3 (м) до глибини пробуреної свердловини L_C (м), тобто

$$\eta = \frac{l_3}{L_C}.$$

Коефіцієнт $\eta_{\text{ЗАБ}}$ чисельно дорівнює відношенню довжини забійки $l_{\text{ЗАБ}}$ (м) до довжини вільної від заряду верхньої частини свердловини l_H (м):

$$\eta_{\text{ЗАБ}} = \frac{l_{\text{ЗАБ}}}{l_H}.$$

Коефіцієнт міцності порід визначається за формулою:

$$f = \frac{\sigma_{\text{СТ}}}{100},$$

де $\sigma_{\text{СТ}}$ – межа міцності порід на одноосьовий стиск, кгс/см².

При висадженні серії свердловинних зарядів однакового діаметра зі змінними параметрами a , η , $\eta_{\text{ЗАБ}}$ розрахунок за формулою (5.3) має здійснюватися за найменшими значеннями a , $\eta_{\text{ЗАБ}}$ і найбільшим η з усіх наявних у даній серії.

Якщо ділянка масиву, що підривається, складається з порід різної міцності, потрібно в розрахунку $r_{\text{РОЗЛ}}$ набувати максимального значення f . При висадженні паралельно зближених (кущів, пучків) свердловинних зарядів діаметром d розраховується їх еквівалентний діаметр:

$$d_e = d\sqrt{N_C},$$

де N_C – кількість паралельно зближених свердловин у куші.

При визначенні безпечних відстаней розрахунок $r_{РОЗЛ}$ необхідно проводити з певним запасом, набуваючи мінімально можливих значень параметрів a , $\eta_{ЗАБ}$ і η .

При виконанні вибухів на косогорах, а також в умовах перевищення верхньої відмітки ділянки, що підривається, над ділянками границі небезпечної зони більш ніж на 30 м розміри небезпечної зони $r_{РОЗЛ}$ у напрямку вниз по схилу повинні бути збільшені й розрахунок безпечних відстаней за розльотом окремих шматків породи має бути зроблений за формулою:

$$R_{РОЗЛ} = r_{РОЗЛ} K_p, \text{ м}, \quad (5.4)$$

де $R_{РОЗЛ}$ – безпечна відстань під час розльоту окремих шматків породи у напрямку уклону косогору чи місцевості, що розташована нижче 30 м, рахуючи від верхньої відмітки ділянки, що підривається; K_p – коефіцієнт, що враховує особливості рельєфу місцевості.

При висадженні на косогорі коефіцієнт K_p визначається за формулою:

$$K_p = 1 + tg\beta, \quad (5.5)$$

де β – кут нахилу косогору до горизонту, град. У тих випадках, коли замість кута β відоме перевищення місця вибуху над межею небезпечної зони, розрахунок коефіцієнта буде за такою формулою:

$$K_p = 0,5 \left(\sqrt{1 + \frac{4H}{\eta_{РОЗЛ}}} \right), \quad (5.6)$$

де H – перевищення верхньої відмітки ділянки, що підривається, над ділянкою межі небезпечної зони, м.

Розрахункове значення небезпечної відстані округляється у більшу сторону до значення, що кратне 50 м. При цьому безпечна відстань не повинна бути менше мінімальних відстаней, зазначених у табл. 5.8.

ПРИКЛАД 5.3. Визначити безпечну відстань під час розльоту окремих шматків породи при висадженні на косогорі з кутом нахилу до горизонту $\beta=30^\circ$, радіус небезпечної зони $r_{РОЗЛ}=250$ м.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Коефіцієнт, що враховує рельєф місцевості, визначаємо за формулою (5.5):

$$K_p = 1 + tg30.$$

2. Безпечну відстань розраховуємо за формулою (5.4):

$$R_{РОЗЛ} = 250 \cdot (1 + 0,58) = 394 \text{ м.}$$

Знайдене значення безпечної відстані задаємо таким, що дорівнює 400 м.

ПРИКЛАД 5.4. Визначити безпечну відстань під час розльоту шматків породи під час вибуху серії свердловинних зарядів розпушення в умовах перевищення верхньої відмітки ділянки, що підривається, над межею небезпечної зони на $H=50$ м. Розрахункове значення радіуса небезпечної зони $r_{РОЗЛ}=200$ м. Визначити коефіцієнт, що враховує рельєф місцевості.

РОЗВ'ЯЗОК

1. За формулою (5.6) знаходимо коефіцієнт K_p :

$$K_p = 0,5 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 50}{200}} \right) = 1,21.$$

2. Розрахункову безпечну відстань під час розльоту окремих шматків породи визначимо за формулою (5.4), тобто

$$R_{РОЗЛ} = 200 \cdot 1,21 = 248 \text{ м.}$$

Безпечна відстань буде остаточно дорівнювати 250 м.

Відстань, безпечна під час розльоту окремих шматків породи при висадженні на скидання й викид, визначимо за табл. 5.9 залежно від показника дії вибуху n і величини лінії найменшого опору (ЛНО) W_y . Далі знаходимо радіус небезпечної зони під час розльоту шматків.

З усіх значень ЛНО W вибираємо максимальне. Потім за формулою

$$W_y = \frac{5}{7} W, \text{ м,} \quad (5.7)$$

знаходимо умовне значення W_y , що дорівнює ЛНО умовного заряду нормального викиду, $n = 1$, тобто у випадку, коли радіус воронки викиду дорівнює її глибині.

Примітка. Під час проведення вибухів на косогорах зі схилом місцевості понад 30° і при перевищенні місця вибуху над навколишньою місцевістю понад 30 м, радіус небезпечної зони знаходять за формулами (5.4) – (5.6).

Таблиця 5.8

Мінімально допустимі безпечні відстані для людей

Види та методи підривних робіт	Мінімально допустимі величини радіусів небезпечних зон, м
1	2
I. Підривання на відкритих роботах: 1) метод зовнішніх зарядів, у тому числі кумулятивних;	300 за проектом

1	2
2) метод шпурових зарядів;	200 ¹
3) метод котлових шпурів;	200 ¹
4) метод малокамерних зарядів (рукавів);	200 ¹
5) метод свердловинних зарядів;	не менше 200 ²
6) метод котлових свердловин	не менше 300
7) метод камерних зарядів	не менше 300
II. Дроблення валунів зарядами в підкопах	400
III. Корчування пнів	200
IV. Прокладання захисних смуг у ґрунті при боротьбі з лісовими пожежами	50
V. Підривання при посадці насипів на болотах	100
VI. Днопоглиблювальні роботи:	
1) без крижаного покриття на поверхні водного басейну:	
а) у разі вибуху в нескельних ґрунтах;	100
б) у разі вибуху в скельних ґрунтах:	
– шпурових зарядів,	50
– накладних зарядів менше ніж 100 кг,	200
– накладних зарядів більше ніж 100 кг;	300
2) у разі крижаного покриття незалежно від властивостей ґрунтів, на яких проводиться вибух	200
VII. Льодохідні роботи:	
1) дроблення крижаного покриття товщиною менше ніж 1 м;	100
2) дроблення льоду товщиною 1 – 2 м;	200
3) руйнування заторів;	200
4) підривні роботи по шусі;	50
5) дроблення льоду товщиною більше ніж 2 м і заторів зарядами вагою більше ніж 300 кг	300
VIII. Підривні роботи з металом:	
1) на відкритих полігонах;	за проектом
2) у бронях;	30
3) на території заводських майданчиків;	за проектом ³
4) у гарячих масивах;	30
5) штампування виробів	25
IX. Валка будинків і споруд	100
X. Дроблення фундаментів	200
XI. Прострілювання шпурів для утворення котлових зарядів	50
XII. Прострілювання свердловин для утворення котлових зарядів	100
XIII. Торпедування та перфорації нафтових, газових і артезіанських свердловин	50
XIV. Вибухи для сейсмічної розвідки:	
1) у шурфах і на земній поверхні	100
2) у свердловинах	30
XV. Підривні роботи на будмайданчику	за проектом ³

¹ У разі вибухів на косогорах у напрямку вниз по схилу величину радіуса небезпечної зони визначають з урахуванням кута косогорності.

² Радіус небезпечної зони зазначений для випадку вибуху зарядів із забійкою.

³ В проекті треба визначити заходи для забезпечення безпеки людей.

ПРИКЛАД 5.5. Вибухові роботи виконуються методом малих камерних зарядів. Значення ЛНО заряду розпушення в серії складає 4 м. Роботи ведуться на косогорі з нахилом 45°. Визначити безпечну відстань для людей і механізмів, $n = 1$.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Визначаємо W_y при $W = 4$ м за формулою (5.7):

$$W_y = \frac{5 \cdot 4}{7} = 2,86 \text{ м.}$$

2. З табл. 5.9 знаходимо значення $r_{РОЗЛ}$ для людей і механізмів:

– для людей $r_{РОЗЛ} = 300$ м;

– для механізмів $r_{РОЗЛ} = 200$ м.

3. За формулою (5.5) знаходимо коефіцієнт, що враховує особливості рельєфу, тобто нахил у 45°:

$$K_p = 1 + tg45 = 1 + 1 = 2.$$

4. За формулою (5.4) знаходимо безпечну відстань:

– для людей $R_{РОЗЛ} = 300 \cdot 2 = 600$ м;

– для механізмів $R_{РОЗЛ} = 200 \cdot 2 = 400$ м.

Таблиця 5.9

Радіус небезпечної зони $r_{РОЗЛ}$

W_y , м	Значення n							
	для людей				для механізмів			
	1	1,5	2	2,5 – 3	1	1,5	2	2,5 – 3
1,5	200	300	350	400	100	150	250	300
2	200	400	500	600	100	200	350	400
4	300	500	700	800	150	250	500	550
6	300	600	800	1000	150	300	550	650
8	400	600	800	1000	200	300	600	700
10	500	700	900	1000	250	400	600	700
12	500	700	900	1200	250	400	700	800
15	600	800	1000	1200	300	400	700	800
20	700	800	1200	1500	350	400	800	1000
25	800	1000	1500	1800	400	500	900	1000
30	800	1000	1700	2000	400	500	1000	1200

5.2.1. Задачі для самостійної роботи

Визначити $r_{РОЗЛ}$ при висадженні породи на кар'єрі для таких параметрів серії свердловинних зарядів розпушення: f , висота уступу H , d_c , кількість рядів свердловин N . Параметри сітки свердловин: відстань між свердловинами в ряді a_1 , відстань між рядами a_2 , довжина заряду l_3 , глибина свердловини заповнюється до устя забійкою $l_{ЗАБ} = l_H$, $\eta_{ЗАБ} = 1$.

Варіанти завдання наведені в табл. 5.10.

Числові дані задач за варіантами

№ варіанта	f	$H, \text{ м}$	$d_c, \text{ м}$	$a_1, \text{ м}$	$l_3, \text{ м}$	$a_2, \text{ м}$	$l_{ЗАБ}, \text{ м}$	η
1	5	8	0,15	4	6	5	3	0,5
2	6	8	0,15	4	7	5	3,5	0,51
3	7	9	0,12	4	7	5	3	0,52
4	8	9	0,17	4	7	5	3,5	0,53
5	9	9	0,18	4	7	5	3	0,54
6	10	9	0,19	4	7	5	3,5	0,55
7	11	9	0,2	4	7	5	3	0,56
8	12	9	0,21	4	7	5	3,5	0,57
9	13	9	0,22	4	7	5	3	0,58
10	14	10	0,23	3,5	7	4	4	0,59
11	15	10	0,24	3,5	7	4	4	0,63
12	16	10	0,25	3,5	7	4	4	0,59
13	15	10	0,26	3,5	7	4	4	0,58
14	16	10	0,27	3,5	7	4	4	0,57
15	17	10	0,28	3,5	7	4	4	0,58
16	18	10	0,29	3,5	7	4	4	0,57
17	17	8	0,28	3	6	3	4	0,56
18	16	8	0,27	3	6	3	4	0,55
19	15	8	0,26	3	6	3	4	0,54
20	14	8	0,25	3	6	3	4	0,53
21	13	8	0,24	3	6	3	4	0,52
22	12	12	0,20	4	7	5	4	0,6
23	11	12	0,2	4	7	4	4,5	0,6
24	10	12	0,2	3,5	7,5	3,5	4,5	0,6
25	10	12	0,2	4,5	8	4,5	5	0,6
26	10	12	0,2	5,5	8,5	5	3,5	0,6
27	10	12	0,2	5	8	5	3	0,6
28	10	12	0,2	5	7	4	3,5	0,56
29	5	15	0,25	5	9	5	5	0,6
30	5	15	0,25	5	9	5	5	0,55
31	5	15	0,25	5,5	10	5,5	5,5	0,55
32	5	20	0,3	6	12	6	7	0,5
33	5	20	0,3	6	11	6	7	0,65
34	5	20	0,3	6	10	6	8	0,65

5.3. Приклади розрахунку сейсмічної ефективності вибуху

ПРИКЛАД 5.6. Визначити оптимальну з економічної точки зору величину одиничного заряду і відстань між такими зарядами в групі. Використовується литий тротил умовною вартістю $Z = 80000$ грн/кг, вартість вибу-

хової свердловини $Y = 25 \cdot 10^5$ грн. Амплітуда коливань зростає з масою заряду за законом

$$A = Kq^l,$$

де K – коефіцієнт, що визначається умовами порушення й реєстрації сигналу; $l=1...3$.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Відповідно до виразу оптимальна маса заряду ВР

$$q = \frac{Y}{Z(l-1)}$$

після підстановки числових значень складе $q=32$ кг.

2. Оптимальну відстань L_0 між такими зарядами знаходять за формулою:

$$L_0 = 3\sqrt[3]{q} = 3 \cdot 32^{1/3} = 3,14 \text{ м.} \quad (5.8)$$

ПРИКЛАД 5.7. Під час вибуху заряду масою $q_1=1$ кг реєструється хвиля, максимум спектра якої відповідає частоті $f_{m_1}=55$ Гц. На якій частоті буде мати місце спектр цієї ж хвилі під час вибуху заряду масою $q_1=30$ кг; $l_1=4,5$.

РОЗВ'ЯЗОК

1. За даними О.М. Іванчука, частота f_{m_1} , що відповідає максимуму спектра, підкоряється закону

$$f_m = Kq^{1/l}, \quad (5.9)$$

де $l_1=3...6$. На підставі залежності (5.9) маємо для зарядів із масами q_1 і q_2 :

$$\frac{f_{m_1}}{q_1^{1/l_1}} = \frac{f_{m_2}}{q_2^{1/l_2}}. \quad (5.10)$$

2. Зі співвідношення (5.10) знаходимо величину частоти:

$$f_{m_2} = f_{m_1} \left(\frac{q_2}{q_1} \right)^{1/l_1} = 55 \left(\frac{30}{1} \right)^{0,22} = 116 \text{ Гц.}$$

ПРИКЛАД 5.8. У районі досліджень для одержання необхідної інформації під час робіт ГСЗ підривали заряди масою $q_1=2000$ кг в одній свердловині (камуфлетний вибух). Визначити оптимальну масу одиничного заряду q_{opt} , кількість зарядів m_2 і відстані між ними L_0 , що необхідні для досягнення такого ж ефекту.

Вартість 1 кг ВР $Z=6 \cdot 10^4$ грн, вартість свердловини $Y=5 \cdot 10^6$ грн, характер залежності амплітуди коливань від маси заряду:

$$A \sim \sqrt[3]{q},$$

характер залежності амплітуди від числа зарядів:

$$A \sim m^{0,85}.$$

УМОВИ:

A – буріння додаткових свердловин не викликає простою партії;

B – вартість однієї години простою партії $X=6 \cdot 10^6$ грн (час буріння однієї свердловини $\tau_B=40$ хв).

РОЗВ'ЯЗОК (за варіантом А)

1. Оптимальну масу одиничного заряду визначають за формулою:

$$q_{\text{опт}} = \frac{Y + \tau X}{Z \left(\frac{l}{b} - 1 \right)}, \quad (5.11)$$

де τ – час затримки робіт (у даному випадку $\tau = 0$); $b = 1$ (амплітуда коливань зростає пропорційно кількості зарядів у групі); $l = 2$; $Z = 6 \cdot 10^4$ грн, $Y = 5 \cdot 10^6$ грн. Підставляючи числові значення у (5.11), одержимо:

$$q_{\text{опт}} = \frac{5 \cdot 10^6 + 0}{6 \cdot 10^4 \left(\frac{2}{1} - 1 \right)} = 83 \text{ кг.}$$

2. Кількість зарядів можна визначити з формули:

$$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{m_2}{m_1} \right)^{0,85} \cdot \left(\frac{q_2}{q_1} \right)^{\frac{1}{3}} = \beta,$$

де $m_1=1$, m_2 – кількість зарядів; $q_2=83$ кг; $q_1=2000$ кг – маса зарядів як одиничного, так і в групі кожного окремо ($q_{\text{опт}}$); $b = 1$; $l = 2$.

Оскільки за умовою задачі $A_1 = A_2$ або $\beta = 1$, то

$$m_2 = m_1 \left(\frac{q_{\text{опт}}}{q_1} \right)^{\frac{3}{2}} = 5 \text{ шт.} \quad (5.12)$$

3. Відстань між зарядами визначаємо з виразу (5.8):

$$L_0 = 3 \cdot 83^{1/3} = 13 \text{ м.}$$

РОЗВ'ЯЗОК (за варіантом В)

1. Оптимальну масу одиничного заряду визначаємо за формулою (5.11):

$$q_{\text{опт}} = \frac{5 \cdot 10^6 + \frac{2 \cdot 6 \cdot 10^6}{3}}{6 \cdot 10^4 \left(\frac{2}{1} - 1 \right)} = 150 \text{ кг.}$$

2. Кількість зарядів визначаємо з формули (5.12):

$$m_2 = \frac{1}{\left(\frac{150}{2000} \right)^{1/2}} = 4 \text{ шт.}$$

3. Відстань між зарядами:

$$L_0 = 3 \cdot 150^{1/3} = 15,7 \text{ м.}$$

Таким чином, порівнюючи два варіанти, доходимо висновку: більш економічний – варіант А.

Параметри	Варіант А	Варіант В
$q_{\text{опт}}$	83 кг	150 кг
m_2	5 шт.	4 шт.
L_0	13 м	15,7 м

5.3.1. Задачі для самостійної роботи

У табл. 5.11 подані вихідні дані для задач за умовами прикладів 5.8 і 5.9. Треба звернути увагу на те, що в таблиці наведені значення часу затримки робіт з буріння, тобто τ , хв (задача за прикладом 5.9).

Таблиця 5.11

Числові дані до задач за прикладами 5.8 і 5.9

№ варіанта	Приклад 5.8				Приклад 5.9					
	f_m , Гц	q_2 , кг	l_1	q_1 , кг	q_1 , кг	$X \cdot 10^4$, грн	$Z \cdot 10^6$, грн	$Y \cdot 10^6$, грн	τ , мин	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	30	10	3	1	1000	5	5	4	2	1
2	31	11	3,1	2	1100	5,1	5,1	5	2	2
3	32	12	3,2	3	1200	5	5,2	4	2	3
4	33	13	3,2	4	1300	5	5,3	4,2	2	1
5	34	14	3,3	5	1400	5	5,4	4,4	2	2
6	35	15	3,5	6	1500	6	4,9	5	3	3
7	35	15	3,6	7	1600	6,1	5,5	5,1	3	1
8	40	16	3,7	8	1700	6,2	5,6	5,2	3	2
9	41	17	3,8	9	1800	6,3	5,7	5,3	3	3
10	45	18	3,9	10	1900	6,5	5,8	5,3	3	1
11	45	19	4,0	10	2000	6,5	5,9	5,4	3	2
12	50	20	4,2	10	2000	6,5	6,0	5,5	4	3
13	55	20	5,0	10	2000	6,4	5,9	5,4	4	1

Продовження табл. 5.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
14	45	20	5,1	10	2000	6,3	5,8	5,3	4	2
15	40	20	5,2	10	2000	6,2	4,9	5,2	4	3
16	30	20	5,3	10	1900	6,1	5,0	5,1	4	1
17	60	20	5,4	10	1800	6,0	5,1	5,0	5	2
18	70	20	5,5	10	1800	5,5	5,2	4,5	5	3
19	80	30	6	20	1700	5	5	5	5	1
20	70	40	6	15	1600	6	6	6	5	2
21	60	45	5	15	1500	6	4	5	4	3
22	50	44	4	15	1400	4	4	4	4	1
23	40	43	3	10	1300	5	5	4	4	2
24	30	42	4	12	1200	5	5	4	2	3
25	30	43	5	10	1100	5,2	5,1	4,2	3	2
26	20	44	6	14	1100	5,5	5,5	5,1	2	3
27	25	45	5	15	1000	5,3	5,4	5,3	3	3
28	25	45	4	10	1200	6	6	5	4	2
29	30	20	4,1	12	1300	5,1	5,1	5,2	5,2	3
30	30	30	3	3	1400	5,0	5,0	4,0	6	2

6. РОЗРАХУНОК ЗАРЯДІВ РОЗПУШЕННЯ

Розпушення гірських порід здійснюється шпуровими, свердловинними, котловими, камерними, малокамерними, зовнішніми й комбінованими зарядами. Кожен з методів висадження має свої параметри і розраховується з використанням емпіричних формул. У прикладах наведені розрахунки параметрів шпурових і свердловинних зарядів розпушення.

6.1. Визначення параметрів шпурових зарядів

Вага заряду при уступній відбійці (рис. 6.1) розраховується за формулою:

$$Q_{ш} = q a_{ш} W_{п} H, \text{ кг}, \quad (6.1)$$

де q – питомі витрати ВР для зарядів розпушення, кг/м^3 ; $a_{ш}$ – відстань між шпурами в ряді, м; $W_{п}$ – лінія опору по підшві уступу, м; H – висота уступу, що підривається, м.

Величина $W_{п}$ визначається за формулою:

$$W_{п} = 0,87 \left(\frac{q_{ш}}{q m} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (6.2)$$

де $q_{ш}$ – місткість ВР у 1 м шпуру, кг/м (табл. 6.1); $m = 0,9 - 1,6$ – відносна відстань між шпурами:

- при вогневому висадженні $m = 1,2 - 1,6$ м;
- при миттєвому висадженні $m = 0,9 - 1,5$ м;
- при короткоуповільненому $m = 1,0 - 1,5$ м.

Верхня межа значень m відповідає слабким, а нижня – міцним скельним породам. Висота уступу при цьому дорівнює $3,6 - 4,5$ м.

Визначаємо деякі формули:

– відстані між шпурами в ряді:

$$a_{ш} = m W_{п}, \text{ м}; \quad (6.3)$$

– відстані між рядами шпурів:

$$b_{ш} = 0,85 W_{п}, \text{ м}; \quad (6.4)$$

– довжини шпуру

$$l_{ш} = H + l_{пер}, \text{ м}, \quad (6.5)$$

де $l_{пер}$ – довжина перебудування. При розрахунках значення $l_{пер}$:

- для міцних порід $l_{пер} = 10d_3$;
- для порід середньої міцності $l_{пер} = 6d_3$;
- для неміцних порід $l_{пер} = 3d_3$.

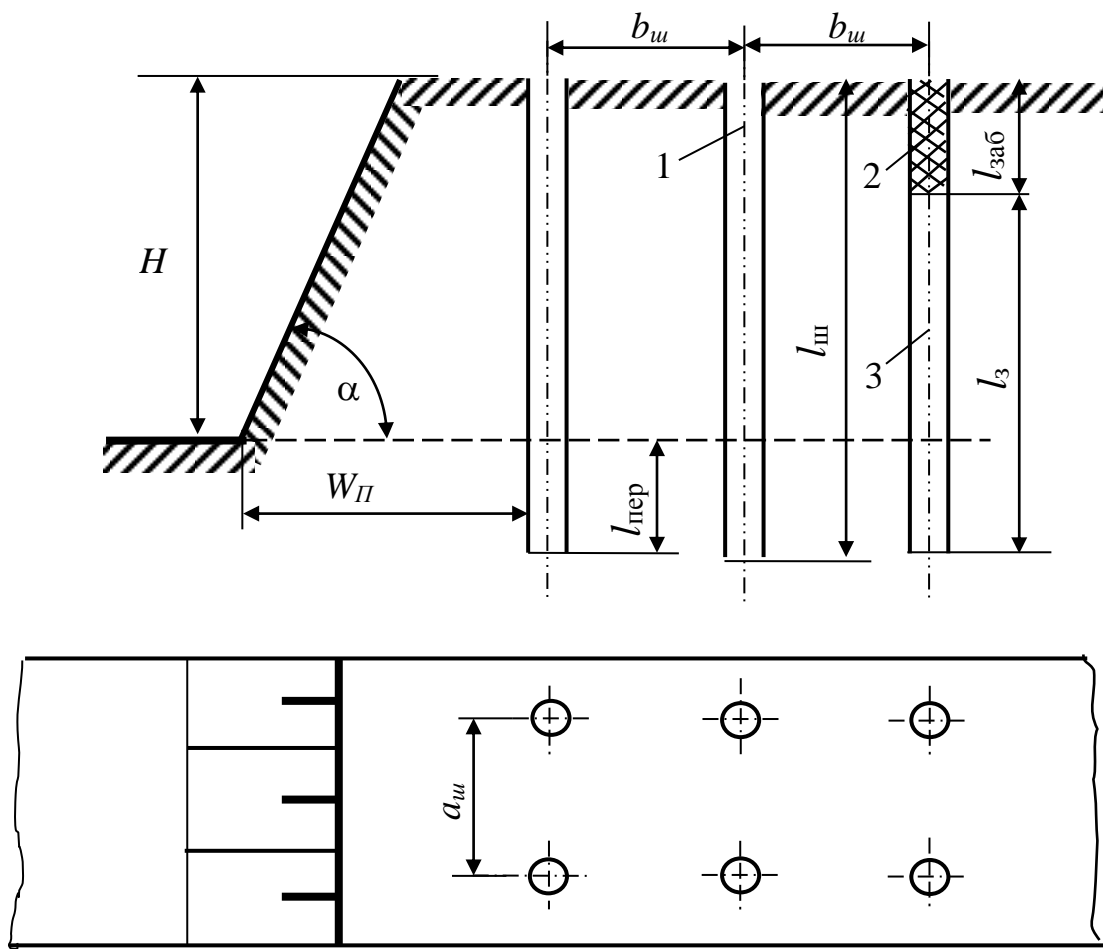


Рис. 6.1. Розташування шпурових зарядів ВР при уступній відбійці:
1 – шпур; 2 – забійка; 3 – заряд вибухової речовини

З урахуванням виразу (6.3) формула (6.1) перетворюється до вигляду:

$$Q_{ш} = qmW_{II}^2H, \text{ кг.} \quad (6.6)$$

Запишемо далі формули для визначення:

– заряду в шпурі

$$l_з = \frac{Q_{ш}}{q_{ш}}, \text{ м;} \quad (6.7)$$

– довжини шпуру

$$l_{ш} = l_з + l_{заб}, \text{ м;} \quad (6.8)$$

– об'єму породи, що припадає на один шпур у першому ряді

$$V_{ш}^1 = a_{ш}W_{II}H, \text{ м}^3, \quad (6.9)$$

та в усіх рядах, крім першого,

$$V_{ш} = a_{ш}b_{ш}H, \text{ м}^3. \quad (6.10)$$

ПРИКЛАД 6.1. Уступ висотою $H=3$ м рихлять висадженням шпурових зарядів діаметром $d_3 = 40$ мм. Визначити вагу шпурового заряду при щільності заряджання $\rho_3 = 0,9$ кг/дм³, $m = 0,9$ і питомих витратах амоніту бЖВ на розпушення $q = 0,5$ кг/м³. Висадження шпурів миттєве, електричним способом.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Знаходимо місткість одного шпуру діаметром 0,04 м при щільності заряджання $\rho_3=900$ кг/м³ (табл. 6.1):

$$q_{ш} = 1,13 \text{ кг/м.}$$

2. За формулою (6.2) визначаємо величину лінії опору по підшві:

$$W_{II} = 0,87 \left(\frac{1,13}{0,5 \cdot 0,9} \right)^{\frac{1}{2}} = 1,38 \text{ м,}$$

приймаємо $W_{II}=1,4$ м.

3. За формулою (6.3) знаходимо відстань між зарядами в одному ряді:

$$a_{ш} = 0,9 \cdot 1,4 = 1,26 \text{ м.}$$

4. У рівняння (6.1) підставляємо числові значення і знаходимо вагу шпурового заряду:

$$Q_{ш} = 0,5 \cdot 1,26 \cdot 1,4 \cdot 3 = 2,65 \text{ кг.}$$

ПРИКЛАД 6.2. Визначити довжину шпуру й величину лінії опору по підшві при висадженні міцних скельних порід, якщо відомо, що відносна відстань між зарядами $m=1$, висота уступу $H=2,5$ м, $Q_{ш} = 3$ кг, $d_3 = 46$ мм, $q=0,6$ кг/м³.

РОЗВ'ЯЗОК

1. За формулою (6.5) визначаємо довжину шпурів, задаючи для скельних порід $l_{пер}=10d_3$,

$$l_{ш} = 2,5 + 10 \cdot 0,046 = 2,96 \text{ м,}$$

тобто $l_{ш}=3$ м.

2. За формулами (6.6), (6.3) і за умовою задачі визначаємо відстань між шпурами в ряді й лінію опору по підшві уступу W_{II} :

$$W_{II} = \left(\frac{3}{0,6 \cdot 1,3} \right)^{\frac{1}{2}} = 1,29 \text{ м,}$$

задаємо $W_{II}=1,3$ м.

3. Відстань між зарядами знаходимо за формулою (6.3):

$$a_{ш} = 1 \cdot 1,3 = 1,3 \text{ м.}$$

ПРИКЛАД 6.3. Вага шпурового заряду 2,8 кг. Визначити довжину шпуру, якщо місткість 1 м шпуру $q_{ш} = 1,2$ кг/м, а довжина забійки складає 0,75 м.

РОЗВ'ЯЗОК

1. За формулою (6.7) визначаємо довжину заряду в шпурі:

$$l_3 = 2,8/1,24 = 2,25 \text{ м.}$$

2. Знаходимо довжину шпуру з рівняння (6.8):

$$l_{ш} = 2,25 + 0,75 = 3 \text{ м.}$$

ПРИКЛАД 6.4. Визначити кількість шпурів і витрати ВР для висадження $V_{ЗАГ} = 420 \text{ м}^3$ скельних порід при висоті уступу 2,8 м. Відстань між шпурами в ряді 1,5 м, $W_{П} = 1,4$ м, $q = 0,6 \text{ кг/м}^3$, кількість рядів $m = 4$.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Визначимо за формулою (6.9) об'єм породи, що припадає на один шпур у першому ряді (рис. 6.1):

$$V_{ш}^1 = 1,5 \cdot 1,4 \cdot 2,8 = 5,9 \text{ м}^3.$$

2. Відстань між рядами зарядів розраховуємо за формулою (6.4):

$$b_{ш} = 0,85 \cdot 1,4 = 1,2 \text{ м.}$$

3. За рівнянням (6.10) визначаємо об'єм породи, що припадає на один шпур у всіх рядах, крім першого:

$$V_{ш} = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 2,8 = 5 \text{ м}^3.$$

4. Знаходимо об'єм породи, що підривається одиночними шпурами в чотирьох рядах:

$$V_{С.Ш} = V_{ш}^1 + V_{ш} m_{р-1} = 5,9 + 3 \cdot 5 = 20,9 \text{ м}^3,$$

де $m_{р-1}$ – кількість рядів без урахування першого.

5. Визначимо кількість шпурів в одному ряді:

$$V_{ш.р} = \frac{V_{ЗАГ}}{V_{С.Ш}} = \frac{420}{20,9} = 20 \text{ шт.}$$

6. Знаходимо загальну кількість шпурів:

$$N_{ш} = m_{р} n_{ш.р} = 4 \cdot 20 = 80 \text{ шт.}$$

7. Визначаємо загальні витрати ВР:

$$Q_{ЗАГ} = q V_{ЗАГ} = 0,6 \cdot 420 = 252 \text{ кг.}$$

6.2. Визначення параметрів свердловинних зарядів

Вага свердловинного заряду розпушення (рис. 6.2) визначається за формулою (6.1), тобто

$$Q_{ш} = qa_c HW_{п}, \text{ кг}, \quad (6.11)$$

де a_c – відстань між свердловинами, м.

Величина лінії опору по підшві розраховується за рівнянням:

$$W_{п} = 0,87 \left(\frac{P}{mq} \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ кг}, \quad (6.12)$$

де P – місткість 1 м свердловини, кг (табл. 6.2).

Інші параметри свердловинних зарядів визначаються за формулами (6.3), (6.4), (6.5).

Відносна відстань m між свердловинними зарядами вказується в умові задачі.

Об'єм породи, що підривається однією свердловиною, розраховується за формулою:

$$V = a_c W_{п} H, \text{ м}^3.$$

Вихід породи з 1 м свердловини визначають так:

$$V_c = \frac{a_c W_{п} H}{L_c}, \text{ м}^3/\text{м},$$

де L_c – довжина свердловини.

Відстань від верхньої брівки уступу до центру свердловини першого ряду обчислюється за формулою:

$$C = W_p - H \operatorname{ctg} \alpha, \text{ м},$$

де α – кут укосу уступу, град; $C \geq 3$ м.

При використанні ВР із потужністю, що відрізняється від потужності штатної ВР, враховується при визначенні розрахункових величин питомих витрат застосовуваних ВР q_p , тобто:

$$q_p = q K_{п}, \text{ кг/м}^3,$$

де q – питомі витрати штатної ВР, кг/м³; $K_{п}$ – перерахунковий коефіцієнт, що залежить від відносної потужності ВР (табл. 6.3).

Вага свердловинного заряду відносно місткості розраховується за формулою:

$$Q = (L_c - l_{зАБ})P = (L_c - 20d_c)P, \text{ кг}.$$

Діаметр свердловини визначають так:

$$d_c = \frac{W_p}{25 \sqrt{\frac{\rho_3}{P}}}, \text{ м},$$

де ρ_3 – щільність заряджання, кг/дм³.

Питомі витрати ВР знаходять із рівняння:

$$q = \frac{Q}{a_c} W_{II} H, \text{ кг/м}^3.$$

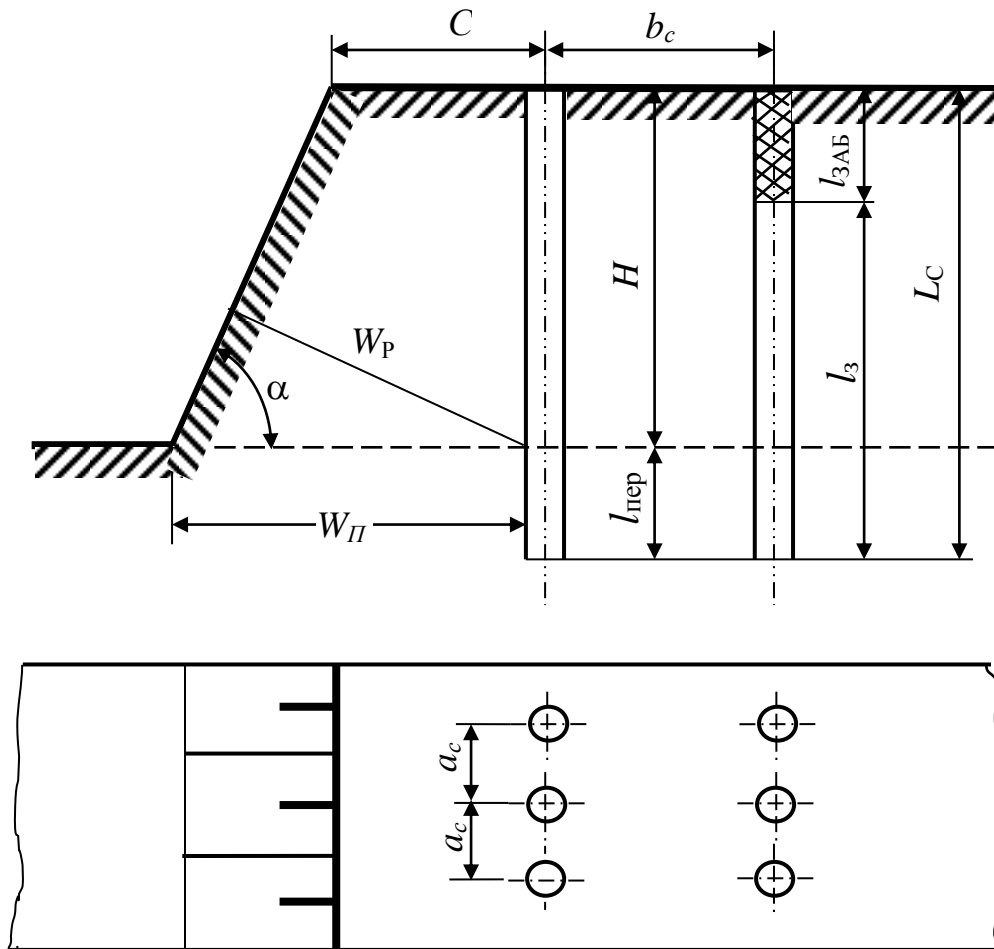


Рис. 6.2. Розташування свердловинних зарядів при уступній відбійці

Місткість 1 м свердловини за ВР для заданої щільності розраховується за формулою:

$$P = 0,785 d_c^2 \rho_z, \text{ кг/м.} \quad (6.13)$$

ПРИКЛАД 6.5. Визначити вагу свердловинного заряду при висадженні уступу вапняку $H = 10$ м, якщо відомо, що питомі витрати $q = 0,4$ кг/м³, щільність заряджання $\rho_z = 0,9$ кг/дм³, діаметр свердловин $d_c = 150$ мм. Відносна відстань між свердловинами $m = 1,4$ м.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Знаходимо місткість 1 м свердловини відносно ВР для заданої щільності за формулою (6.13):

$$P = 0,785 \cdot 0,15^2 \cdot 900 = 15,9 \text{ кг.}$$

2. За формулою (6.12) визначаємо величину лінії опору відносно підосви:

$$W_{II} = 0,87 \sqrt{\frac{P}{mq}} = 0,87 \left(\frac{15,9}{1,4 \cdot 0,4} \right)^{\frac{1}{2}} = 4,6 \text{ м.}$$

3. Знаходимо відстань між зарядами:

$$a_c = mW_{II} = 1,4 \cdot 4,6 = 6,4 \text{ м.}$$

4. Вагу свердловинного заряду визначаємо за формулою (6.11):

$$Q = qa_c W_{II} H = 0,4 \cdot 6,4 \cdot 4,6 \cdot 10 = 117 \text{ кг.}$$

ПРИКЛАД 6.6. Для висадження гранітних уступів висотою 14 м використовуються свердловини місткістю $P=11,3$ кг/м при $\rho_3=1$ кг/дм³. Визначити довжину й вагу свердловинного заряду.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Знаходимо в табл. 6.2 діаметр свердловини для $P = 11,3$ кг/м при $\rho_3=1$ кг/дм³:

$$d_C = 120 \text{ мм.}$$

2. За формулою (6.5) визначаємо довжину свердловини:

$$L_C = H + l_{\text{пер}} = H + 10d_C = 14 + 10 \cdot 0,12 = 15,2 \text{ м.}$$

3. Знаходимо довжину свердловинного заряду за формулою (6.8) при $l_{3AB}=20d_C$:

$$l_{3AB} = L_C - l_{3AB} = 15,2 - 20 \cdot 0,12 = 12,8 \text{ м.}$$

4. Визначаємо вагу заряду ($Q - Pl_3$):

$$Q = 11,3 \cdot 12,8 = 145 \text{ кг.}$$

Таблиця 6.1

Місткість 1 м шпuru залежно від щільності заряджання

Діаметр шпuru, мм	Щільність заряджання ρ_3 , кг/дм ³						
	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1
Місткість $q_{ш}$, кг/м							
27	0,46	0,49	0,52	0,54	0,57	0,6	0,63
28	0,5	0,53	0,56	0,59	0,62	0,65	0,68
29	0,53	0,57	0,6	0,62	0,64	0,7	0,73
30	0,57	0,61	0,64	0,68	0,71	0,75	0,78
31	0,61	0,64	0,68	0,72	0,76	0,79	0,83
32	0,64	0,68	0,72	0,76	0,8	0,84	0,88
33	0,68	0,74	0,76	0,82	0,86	0,9	0,94

Діаметр шпуру, мм	Щільність заряджання ρ_z , кг/дм ³						
	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1
Місткість $q_{ш}$, кг/м							
34	0,73	0,76	0,82	0,86	0,91	0,96	1
35	0,77	0,82	0,86	0,92	0,97	1,02	1,06
36	0,82	0,87	0,92	0,97	1,02	1,07	1,12
37	0,86	0,91	0,97	1,02	1,07	1,12	1,18
38	0,9	0,96	1,02	1,08	1,13	1,18	1,24
39	0,95	1,01	1,07	1,13	1,18	1,25	1,32
40	1	1,06	1,13	1,19	1,26	1,32	1,38
41	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,38	1,45
42	1,1	1,17	1,24	1,32	1,38	1,45	1,52
43	1,16	1,23	1,3	1,38	1,45	1,52	1,59
44	1,22	1,29	1,37	1,44	1,52	1,59	1,67
45	1,28	1,35	1,43	1,51	1,59	1,66	1,74
46	1,33	1,41	1,49	1,58	1,66	1,74	1,82
47	1,39	1,47	1,56	1,64	1,73	1,82	1,86
48	1,45	1,54	1,63	1,72	1,81	1,88	1,99
49	1,51	1,6	1,7	1,79	1,88	1,94	2,07
50	1,57	1,67	1,76	1,86	1,96	2,06	2,18
51	1,63	1,73	1,83	1,93	2,04	2,15	2,25
52	1,69	1,79	1,9	2,06	2,12	2,23	2,33
53	1,76	1,87	1,98	2,09	2,2	2,32	2,43
54	1,83	1,94	2,06	2,18	2,29	2,41	2,52
55	1,9	2,02	2,13	2,26	2,38	2,49	2,61
56	1,97	2,09	2,21	2,23	2,46	2,58	2,7
57	2,04	2,16	2,29	2,42	2,55	2,68	2,8
58	2,11	2,25	2,38	2,52	2,64	2,77	2,9
59	2,18	2,33	2,46	2,6	2,73	2,86	3
60	2,26	2,4	2,54	2,68	2,82	2,92	3,1
61	2,34	2,48	2,63	2,76	2,92	3,06	3,21
62	2,42	2,57	2,72	2,86	3,02	3,17	3,32
63	2,49	2,65	2,8	2,96	3,12	3,27	3,43
64	2,57	2,73	2,89	3,05	3,21	3,37	3,53
65	2,65	2,82	2,98	3,15	3,32	3,48	3,65
66	2,74	2,91	3,08	3,25	3,42	3,59	3,76
67	2,82	2,98	3,17	3,35	3,53	3,7	3,88
68	2,9	3,08	3,26	3,46	3,68	3,81	3,99
69	2,98	3,17	3,36	3,55	3,74	3,92	4,1
70	3,07	3,26	3,46	3,65	4,84	3,03	4,22

Місткість 1 м свердловини залежно від щільності заряджання

Діаметр свердловини, мм	Щільність заряджання ρ_z , кг/дм ³					
	0,9	1	1,05	1,1	1,15	1,2
Місткість P , кг/м						
75	4	4,4	4,6	4,8	5,1	5,3
80	4,5	5	5,2	5,5	5,7	6
85	5,1	5,7	6	6,3	6,5	6,8
90	5,7	6,4	6,7	7	7,3	7,7
95	6,4	7,1	7,4	7,8	8,2	8,5
100	7,1	7,9	8,2	8,6	9,0	9,4
105	7,8	8,7	9,1	9,5	9,9	10,4
110	8,6	9,5	10	10,5	11	11,4
115	9,3	10,4	10,9	11,4	12,0	12,6
120	10,2	11,3	11,9	12,4	13	13,6
125	11	12,3	12,9	13,5	14,1	14,7
130	12	13,3	14	14,6	15,7	16
135	12,9	14,8	15	15,7	16,4	17,2
140	13,8	15,4	16,1	16,9	17,7	18,5
145	14,9	16,5	17,3	18,2	19	19,8
150	15,9	17,7	18,5	19,4	20,3	21,2
155	17	18,9	19,8	20,8	21	22,8
160	18,1	20,1	21,1	22,1	23,1	24,1
165	19,2	21,4	22,5	23,5	24,6	25,7
170	20,4	22,7	23,7	25	26,6	27,2
175	21,6	24	25,2	25,6	27,6	28,7
180	22,9	25,5	26,7	28	29,2	30,5
185	24,2	26,9	28,2	29,6	30,9	32,3
190	25,5	28,3	29,8	32,2	32,6	34
195	26,9	29,7	31,3	32,8	33,9	35,8
200	28,3	31,4	33	34,6	36,2	37,7
205	29,7	33	34,6	36,3	37,9	39,6
210	30,9	34,3	36	37,7	39,4	41,2
215	32,7	36,5	38,1	40	42,2	43,6
220	34,2	38	40	41,8	43,7	45,6
225	35,8	39,8	41,8	43,8	45,7	47,7
230	37,4	41,6	43,6	45,7	47,8	50
235	39	43,4	45,5	47,7	49,8	52
240	40,7	45,5	47,5	49,8	52	54,3
245	42,4	47,1	49,3	52	54,1	56,6
250	44,2	49	52,5	54	56,4	58,9
255	46	51	53,6	58,2	58,7	61,3
260	47,8	53,1	55,8	58,4	60	63,7
265	49,6	55,2	58	60,7	63,4	66,2
270	51,5	57,3	60,1	63	65,8	68,7
275	53,5	59,4	62,4	65,3	68,3	71,3
280	55,4	61,6	64,6	67,7	70,8	73,9

Перерахунковий коефіцієнт K_{II}

Вибухова речовина	Коефіцієнт
Амоніти 6ЖВ, 6КО	1
Амоніти № 7, 7ЖВ	1,04
Амоніти № 9, 9ЖВ	1,15
Амоніти № 10, 10ЖВ	1,20
Амонал скельний № 3	0,8
Амонал водостійкий	0,91
Амоніт скельний № 1	0,81
Аміачна селітра	1,45
Акватол М	0,9
Акватол 65/35	1,1
Алюмотол	0,85
Грануліт АС-8	0,95
Грануліти АС, АІ-4	1
Грануліти М, 3-2	1,15
Грануліт 3	1,2
Гранулотол сухий	1,2
Гранулотол у воді	1
Граммонал 45А	0,8
Дінафталіт	1,1
Детоніт 6А	0,9
Детоніти 10-А, М	0,82
Дінамон АМ-10	0,87
Дінамон АМ-8	0,95
Зерногрануліт 79/21	1
Зерногрануліт 50/50-В	
– сухий	1,11
– у воді	1,06
Зерногрануліт 30/70-В:	
– сухий	1,13
– у воді	1,1
Ігданіти	1,15

6.3. Задачі для самостійної роботи

У табл. 6.4 подані числові значення величин, що входять в умови прикладів 6.1, 6.2 і 6.5.

Таблиця 6.4

Числові значення величин, що входять в умови прикладів 6.1, 6.2 і 6.5

№ ва-рі-ан-та	Приклад 1				Приклад 2			Приклад 5			
	$H, \text{ м}$	$d_3, \text{ мм}$	$\rho_3, \text{ кг/дм}^3$	m	$H, \text{ м}$	$Q, \text{ кг}$	$d_3, \text{ мм}$	$H, \text{ м}$	$\rho_3, \text{ кг/дм}^3$	$d_c, \text{ мм}$	m
1	3	43	0,8	0,9	2,5	3,1	46	10	0,9	75	1,4
2	3	43	0,8	1	2,5	3,2	46	10	0,9	80	1,4
3	3	43	0,8	1,1	2,6	3,3	46	10	0,9	85	1,4
4	3	43	0,8	1,2	2,5	3,4	46	10	0,9	90	1,4
5	3	43	0,8	1,3	2,5	3,5	46	10	0,9	95	1,4
6	3	43	0,8	1,4	2,5	3,6	46	10	0,9	100	1,4
7	3	43	0,8	1,5	2,5	3,6	46	10	0,9	105	1,4
8	3	43	0,9	0,9	3	3	40	11	1	110	1,4
9	3	43	0,9	1,0	3	3,1	40	11	1	115	1,4
10	3	43	0,9	1,1	3	3,2	40	11	1	120	1,4
11	3	43	0,9	1,2	3	3,3	40	11	1	125	1,4
12	3	43	0,9	1,3	3	3,4	40	11	1	130	1,4
13	4	70	1	0,8	4	3,5	40	11	1	135	1,3
14	4	70	1	0,9	4	3,6	40	11	1	140	1,3
15	4	70	1	1,1	4	2	41	12	1,1	145	1,3
16	4	70	1,1	1,2	4	2	42	12	1,1	150	1,3
17	4	70	1,1	1,3	4	2	43	12	1,1	155	1,3
18	4	70	1,1	1,4	4	2	44	12	1,1	160	1,3
19	4	70	0,8	1,5	4	2,1	45	12	1	165	1,3
20	4	70	0,9	1,4	4	2	46	12	1	170	1,3
21	4	70	1	1,3	4	2,3	47	12	1	175	1,3
22	4	70	1,1	1,2	4	2,4	48	12	1	180	1,3
23	3,5	50	1	1,1	2,2	2,5	49	12	1	185	1,1
24	3,3	50	1	1,1	2,2	2,6	50	12	1,2	190	1,1
25	4,4	55	1	1	2	2,7	51	12	1,2	195	1,1
26	4	55	1	0,8	2	2,7	52	13	1,2	200	1,4
27	4	60	1	0,9	3	3	55	13	1	250	1,3
28	3	65	1,1	1	4	3,5	60	13	1,1	270	1,4
29	4	30	0,8	1,5	3,5	2,5	63	10	0,9	220	1,3
30	3	25	0,9	1,4	3	3,6	57	10	1,1	235	1,1

7. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПІДРИВНОЇ МЕРЕЖІ

Безпека висадження зарядів при використанні електричної системи ініціювання багато в чому залежить від коректності розрахунків і монтажу електропідривної мережі. Електропідривна мережа складається з електродетонаторів (ЕД) з проводами, кінцевих проводів, що йдуть від проводів електродетонаторів до поверхні, дільничних проводів, які з'єднують кінцеві й магістральні, що йдуть до джерела струму.

Таким чином, електропідривну мережу розраховують у такому порядку: визначають марку, довжину, переріз і опір усіх проводів (кінцевих, дільничних і магістральних); зазначають марку, опір і кількість електродетонаторів, схему з'єднання ЕД у колі.

7.1. Розрахунок мережі при послідовному з'єднанні ЕД

На вугільних шахтах України використовують винятково послідовне з'єднання електродетонаторів.

Загальний опір електропідривної мережі (рис. 7.1) визначають за формулою:

$$R_{ЗАГ} = 2l_M r_M + l_D r_D + N(l_K r_K + 1,24r_E), \quad (7.1)$$

де l_M , l_D , l_K – довжина магістральних, дільничних і кінцевих проводів відповідно, м; r_M , r_D , r_K – опір 1 м магістрального, дільничного і кінцевого проводів відповідно, Ом; r_E – опір одного ЕД, Ом; N – кількість послідовно з'єднаних бойовиків.

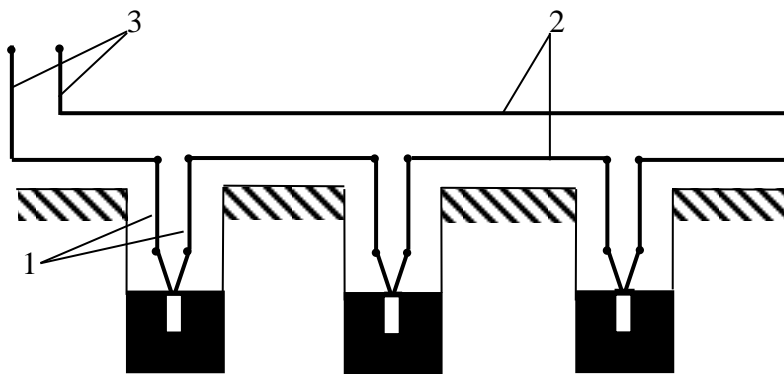


Рис. 7.1. Схема послідовної електропідривної мережі:

1 – кінцеві проводи; 2 – дільничні проводи; 3 – магістральні проводи

Загальний опір мережі при парно-послідовному з'єднанні ЕД у бойовиках послідовного кола (рис. 7.2, а):

$$R_{П.ЗАГ} = 2l_M r_M + l_D r_D + N(l_K r_K + 2,48r_E).$$

При парно-паралельному з'єднанні ЕД у бойовиках послідовного кола (рис. 7.2, б) загальний опір мережі розраховується за формулою:

$$R_{\text{ПП.ЗАГ}} = 2l_{\text{М}}r_{\text{М}} + l_{\text{Д}}r_{\text{Д}} + N(l_{\text{К}}r_{\text{К}} + 0,62r_{\text{Е}}).$$

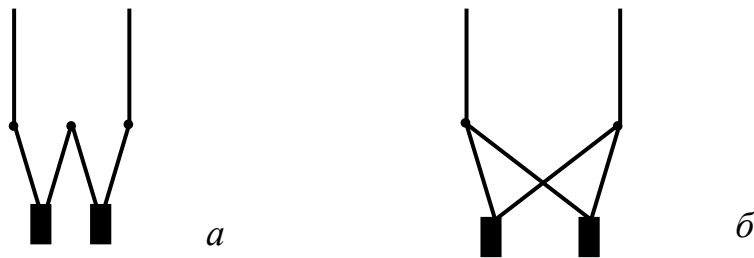


Рис. 7.2. Схеми послідовного з'єднання ЕД у ланцюзі:
а – парно-послідовне з'єднання; *б* – парно-паралельне з'єднання

Загальний опір мережі при послідовному з'єднанні з використанням підри-
 вних машин не повинен бути більше припустимого паспортного $R_{\text{П}}$, тобто

$$R_{\text{ЗАГ}} \leq R_{\text{П}}.$$

Загальна сила струму в мережі записується формулою:

$$I_{\text{ЗАГ}} = U/R_{\text{ЗАГ}},$$

де U – напруга в електропідривної мережі, В.

Сила струму на один ЕД при послідовному з'єднанні дорівнює загальній
 силі струму, тобто

$$i_{\text{Е}} = I_{\text{ЗАГ}}.$$

Методика розрахунку електропідривних мереж полягає у визначенні вели-
 чини опору мережі, сили струму, що проходить через окремий ЕД, і у порів-
 нянні отриманих результатів з межовими значенням опору мережі для конден-
 саторних машин, що наводяться в паспорті, чи з гарантійною величиною стру-
 му для ЕД. Ця методика передбачає таке:

– при послідовному з'єднанні кіл

$$R_{\text{ЗАГ}} = R_{\text{П}};$$

– загальний опір мережі при парно-паралельному з'єднанні кіл визначаєть-
 ся з формули:

$$R_{\text{ПП.ЗАГ}} = 0,25R_{\text{П}};$$

– загальний опір мережі при парно-послідовному з'єднанні кіл розрахову-
 ється з рівняння:

$$R_{\text{П.ЗАГ}} = \frac{1}{n^2} R_{\text{П}},$$

де n – кількість паралельних гілок.

ПРИКЛАД 7.1. Для висадження 20 свердловин, розташованих на уступі в один ряд на відстані 6 м одна від одної, у заряди на глибину 10 м опущені бойовики, $r_E = 3 \text{ Ом}$. Вибухова станція знаходиться на відстані 250 м від крайнього заряду. Для магістралі використовуються мідні проводи перерізом $S=1,3 \text{ мм}^2$ марки ПВ-500, кінцеві та дільничні проводи марки ВМП (табл. 7.1). Температура навколишнього середовища $+11 \text{ }^\circ\text{C}$. Визначити загальний опір електропідривної мережі при послідовному з'єднанні.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Складаємо схему електропідривної мережі (рис. 7.1).

2. Знаходимо довжину магістралі. Довжина одного проводу магістралі визначається відстанню від місця вибуху до місця розташування вибухової станції і запасом у розмірі 10 % від відстані, тобто

$$l_M = 1,1 \cdot 250 = 275 \text{ м.}$$

3. Знаходимо опір 1 м магістральних проводів з урахуванням температури навколишнього середовища за формулою:

$$r_M = \frac{\rho_0 [1 + \alpha(t^\circ - 20)]}{S},$$

де ρ_0 – питомий опір мідного проводу при $0 \text{ }^\circ\text{C}$, $\rho_0=0,0175 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$; α – температурний коефіцієнт опору (цей коефіцієнт чисельно дорівнює зміні опору при нагріванні провідника на 1° , розділеному на первісний опір). Дані слід брати з фізичних довідників: $\alpha=0,0044$. Таким чином, при $S=1,3 \text{ мм}^2$. Далі підставляємо числові значення у формулу

$$r_M = 0,0175 \frac{1 + 0,0044(11 \cdot 20)}{1,3} = 0,013 \text{ Ом.}$$

4. З табл. 7.1 знаходимо опір 1 м дільничних і кінцевих проводів марки ВМП:

$$r_D = r_K = 0,04 \text{ Ом.}$$

5. Довжина дільничних проводів визначається для послідовної електропідривної мережі за формулою:

$$l_D = 2,2aN,$$

де a – відстань між зарядами, м; N – кількість бойовиків чи ЕД. Запас довжини вибирається таким, що дорівнює 30 %. Отже,

$$l_D = 2,2 \cdot 6 \cdot 20 = 264 \text{ м.}$$

При визначенні довжини проводів отримані результати округляють до цілих чисел.

6. Визначаємо довжину кінцевих проводів для однієї свердловини за формулою:

$$l_K = 2l_B,$$

де l_B – глибина розміщення заряду-бойовика в свердловині, $l_B=10$ м. Таким чином, одержимо

$$l_K = 2 \cdot 10 = 20 \text{ м.}$$

7. Підставляючи отримані числові дані у формулу (7.1), визначаємо загальний опір електропідривної мережі:

$$R_{ЗАГ} = 2 \cdot 275 \cdot 0,013 + 264 \cdot 0,04 + 20(20 \cdot 0,04 + 1,24 \cdot 3) = 108,1 \text{ Ом.}$$

ПРИКЛАД 7.2. Свердловинні заряди розташовані на уступі в три ряди. У кожному ряді 12 зарядів. Відстань між зарядами в ряді $a = 5$ м, відстань між рядами зарядів $b = 4,2$ м. Бойовики розташовані на глибині $l_B = 8$ м. Опір магістралі $R_M = 6$ Ом, $r_E = 3,6$ Ом. Для дільничних і кінцевих проводів використовують мідні проводи ПВ-500 перерізом $S = 0,75$ мм². Визначити загальний опір електропідривної мережі при послідовному з'єднанні ЕД і перевірити, чи є можливість безвідмовного висадження зарядів від підривної машини КПМ-2.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Складаємо принципову схему електропідривної мережі (рис. 7.3).

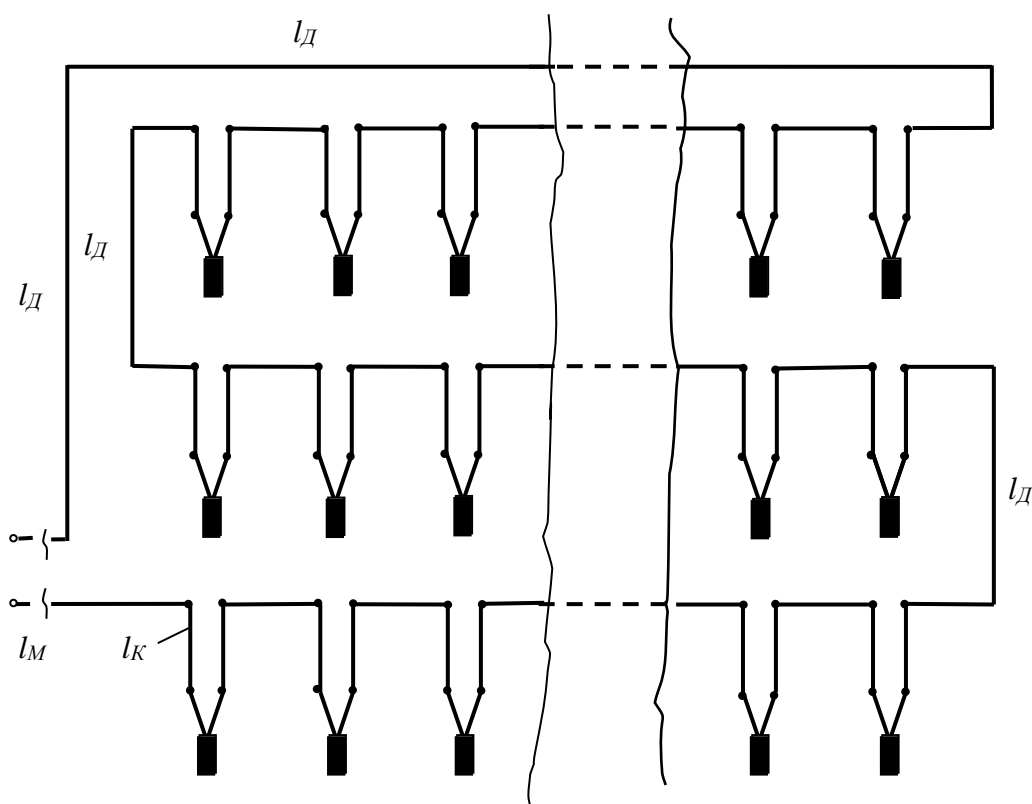


Рис. 7.3. Схема електропідривної мережі до прикладу задачі 7.2

2. Довжину дільничних проводів для висадження непарної кількості рядів у схемі послідовної мережі знаходимо за формулою:

$$l_{д} = aN \left(1,1 + \frac{1,2}{n_p} \right) + b(n_p - 1), \text{ м}, \quad (7.2)$$

де n – кількість рядів зарядів. Підставляючи чисельні значення величин, одержимо

$$l_{д} = 5 \cdot 36 \left(1,1 + \frac{1,2}{3} \right) + 4,2(3 - 1) = 280 \text{ м.}$$

3. Визначаємо довжину кінцевих проводів в одній свердловині:

$$l_{д} = 2 \cdot 8 = 16 \text{ м.}$$

4. З табл. 7.1 знаходимо опір 1 м проводів марки ПВ-500 перерізом $S=0,75 \text{ мм}^2$

$$r_{к} = r_{д} = 0,025 \text{ Ом/м.}$$

Таблиця 7.1

Характеристика проводів*

Марка проводу	Матеріал жили	Переріз жили, мм ²	Опір при +20°C, Ом/км
ЕВ, ЕР	Мідь	0,2	100
ВМВ	Мідь	0,75	25
ВМП	Мідь	0,50	40
ПВ-500	Мідь	0,75 – 6,0	25 – 3,7
ПР-500	Мідь	0,75 – 6,0	25 – 3,7
ПР-500	Мідь	1 – 4	18,4 – 4,6
ВП-1, ВП-2	Мідь	0,75	25
АПР-500	Алюміній	2,25 – 15	12,3 – 1,84
ЕЖВ, ЕПЖ	Сталь луджена	0,3	566
ВМВЖ, ВМПЖ	Сталь оцинкована	1,1	156

* Для електропідливних мереж з U до 1000 В застосовують проводи таких марок: ЕР, ЕВ і ВМВ; при більш високому U – ВП-1, ВП-2.

5. Визначаємо за формулою (7.1) загальний опір мережі:

$$R_{зЛГ} = 6 + 280 \cdot 0,025 + 36(16 \cdot 0,025 + 1,24 \cdot 3,6) = 252 \text{ Ом.}$$

6. Перевіряємо можливість безвідмовного висадження зарядів від машини КПМ-2. За табл. 7.2 припустимий опір $R_{Л} = 900 \text{ Ом}$. Оскільки $R_{Л} > R_{зЛГ}$, то висадження від КПМ-2 можливе.

Технічні характеристики конденсаторних підривних машинок

Тип машинки	Напруга на конденсаторі, В	Максимальний опір мережі, Ом	Кількість послідовно приєднаних ЕД, шт.
КПМ-2	1500	900	300
ВМК-3/50	450	300	100
БКВМ-1/50	450	250	80
СВМ-2	600	300	100
КПВ-1/100 М	600	320	100
ПІВ-100 М	670	320	100
КВП-1	1000	210	70
ВМА-100/200	1200	600	200
ВМК-500	3000	2000	800
КПМ-3	1600	600	200

ПРИКЛАД 7.3. Визначити припустиму кількість зарядів для одночасного безвідмовного висадження від мережі змінного струму напругою 220 В за таких умов: глибина розташування бойовиків $l_B = 9$ м, відстань між свердловинами $a = 6$ м, $r_E = 3,6$ Ом, опір магістралі $R_M = 5$ Ом, опір кінцевих і дільничних проводів однаковий: $r_K = r_D = 0,04$ Ом/м.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Визначаємо опір одного бойовика, тобто опір проводів кінцевих, що йдуть від бойовика до магістралі, разом із r_E :

$$R_B = l_K r_K + 1,24 r_E = 2 l_B r_K + r_E = 2 \cdot 9 \cdot 0,04 + 1,24 \cdot 3,6 = 5,084 \text{ Ом.}$$

2. Опір електропідривної мережі, що припадає на один заряд при послідовному з'єднанні ЕД, може бути з припустимою похибкою визначений за формулою:

$$R_E = R_B + 2,2 a r_D, \text{ Ом.}$$

Таким чином,

$$R_E = 5,084 + 2,2 \cdot 6 \cdot 0,04 = 5,604 \text{ Ом.}$$

3. Припустимий опір електропідривної мережі знаходимо за формулою:

$$R'_{3AG} = \frac{U}{i_r} = \frac{220}{2,5} = 88 \text{ Ом.}$$

Відповідно до умов безпеки й безвідмовності підривання для змінного струму $i_r = 2,5$ А.

4. Припустима кількість зарядів для висадження знаходимо за формулою:

$$N = \frac{R'_{3AG} - R_M}{R_E} = \frac{88 - 5}{5,604} = 14 \text{ шт.}$$

ПРИКЛАД 7.4. Необхідно підірвати 120 послідовно з'єднаних зарядів від підривної машини КПМ-3 за таких умов: $a = 4$ м, $b = 3,6$ м, $l_B = 6$ м, $r_K = r_D = 0,04$ Ом/м, $R_M = 7$ Ом; свердловини розташовані в три ряди, $n = 3$. Визначити припустимий опір ЕД.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Визначаємо довжину кінцевих проводів в одному бойовику:

$$l_K = 2l_B = 2 \cdot 6 = 12 \text{ м.}$$

2. За формулою (7.2) визначаємо довжину дільничних проводів:

$$l_D = 4 \cdot 120 \left(1,1 + \frac{1,2}{3} \right) + 3,6 \cdot 2 = 727 \text{ м.}$$

3. За табл. 7.2 знаходимо припустимий паспортний опір для підривної машинки КПМ-3:

$$R_{II} = 600 \text{ Ом.}$$

4. За формулою

$$r'_3 = \frac{R'_{3AG} - R_M - R_D - Nl_K r_K}{1,24N}, \text{ Ом,}$$

визначаємо припустимий опір для одного ЕД, що приєднується до мережі. Тут $R_{II} = R'_{3AG}$,

$$r'_3 = \frac{600 - 7 - 727 \cdot 0,04 - 120 \cdot 12 \cdot 0,04}{1,24 \cdot 120} = 3,4 \text{ Ом.}$$

Отже, здійснювати вибір ЕД слід з урахуванням граничного опору $r'_3 = 3,4$ Ом.

7.2. Розрахунок мережі при паралельному з'єднанні ЕД

При проведенні підривних робіт використовується декілька видів паралельного з'єднання ЕД: паралельно-пучкове, паралельно-ступеневе тощо.

Загальний опір електропідривної мережі визначають за формулою:

$$R_{3AG} = 2l_M r_M + \frac{R_G}{N_G}, \text{ Ом,} \quad (7.3)$$

$$R_G = l_D r_D + l_K r_K + 1,24r_E = l_D r_D + R_B, \text{ Ом,} \quad (7.4)$$

де R_G – опір однієї гілки, Ом; N_G – кількість гілок; $R_B = l_K r_K + 1,24r_E$ – опір бойовика, Ом.

Сила електричного струму, що надходить на кожен ЕД (рис. 7.4), визначається за формулою:

$$i_E = \frac{I_{3AG}}{N_T}, \text{ А.} \quad (7.5)$$

У тому випадку, коли при паралельно-пучковому з'єднанні гілки мають різний опір (рис. 7.5), то загальний опір електропідривної мережі визначають за формулою:

$$R_{3AG} = 2l_M r_M + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)^{-1}, \text{ Ом,} \quad (7.6)$$

де R_1, R_2, \dots, R_n – опір окремих гілок, Ом.

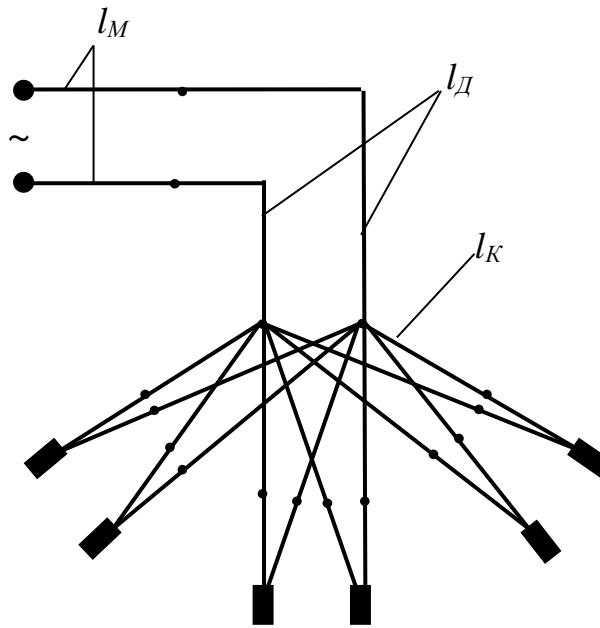


Рис. 7.4. Схема паралельно-пучкової електропідривної мережі з однаковим електричним опором у гілках: l_M, l_D, l_K – магістральні, дільничні (проводи однієї гілки) та кінцеві проводи відповідно

Якщо джерелом енергії є підривна машинка, то гранично-допустимий опір електропідривної мережі можна визначити за формулою:

$$R_D = \frac{R_{II}}{n_{II}}, \text{ Ом,} \quad (7.7)$$

де R_{II} – паспортний опір для підривної машинки при послідовному з'єднанні ЕД (табл. 7.2); n_{II} – кількість паралельно з'єднаних ЕД у мережі.

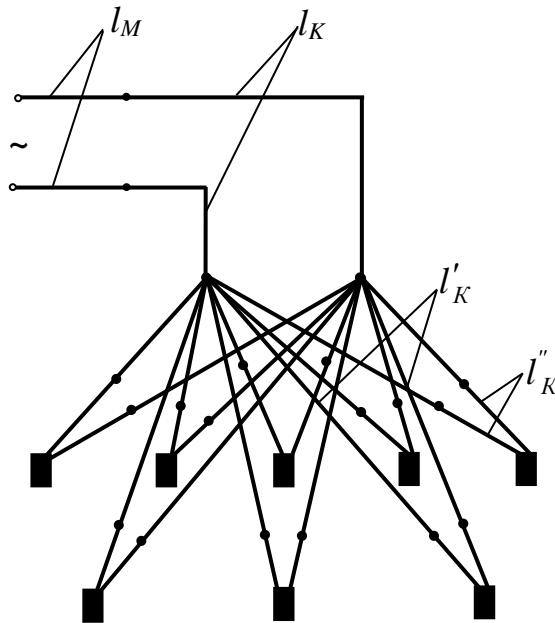


Рис. 7.5. Схема паралельно-пучкової електропідривної мережі з різним електричним опором гілок: l'_K та l''_K – кінцеві проводи гілок різної довжини

ПРИКЛАД 7.5. У десятиох свердловинах ($N_B = 10$) бойовики розташовані на глибині $l_B = 8$ м. Опір ЕД із сталевими проводами $r_E = 6$ Ом. Довжина дільничних проводів $l_D = 20$ м, $r_K = r_D = 0,156$ Ом/м, $R_M = 80$ м. Висадження здійснюється від електромережі, де $U = 127$ В. Мережа паралельно-пучкова. Визначити силу струму, що надходить у кожен ЕД.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Складаємо принципову схему електропідривної мережі (рис. 7.4).
2. За формулою (7.4) знаходимо опір однієї гілки:

$$R_{\Gamma} = 20 \cdot 0,156 + 8 \cdot 0,156 + 1,24 \cdot 6 = 11,8 \text{ Ом.}$$

3. За формулою (7.3) визначаємо загальний опір мережі:

$$R_{3AG} = R_M + \frac{R_{\Gamma}}{N_{\Gamma}} = 8 + \frac{11,8}{10} = 9,2 \text{ Ом.}$$

4. Розраховуємо силу струму, що надходить у пучок:

$$I_{3AG} = \frac{U}{R_{3AG}} = \frac{127}{9,2} = 13,8 \text{ А.}$$

5. За формулою (7.5) визначаємо силу струму, що надходить у кожен ЕД:

$$i_E = \frac{I_{3AG}}{N_{\Gamma}} = \frac{13,8}{10} = 1,38 \text{ А.}$$

ПРИКЛАД 7.6. Розташовані на уступі вісім свердловин мають різну глибину. Бойовики в зарядах такі: $r_K = r_D = 0,12$ Ом/м, $r_E = 3,6$ Ом,

$R_M = 4,8 \text{ Ом}$, $2l_B = l_K$. Визначити загальний опір електропідвної мережі при паралельно-пучковому з'єднанні й можливість виконання вибуху від машини КПМ-3. Додаткові дані наведені в таблиці.

Довжина проводу, м	Номер свердловини							
	1	2	3	4	5	6	7	8
l_B	4	6	5	9	7	8	9	6
l_D	14	15	16	16	26	32	30	32

РОЗВ'ЯЗОК

1. Складаємо принципову схему електропідвної мережі (рис. 7.5).
2. Знаходимо опір кожної гілки за формулою (7.4), тобто

$$R_{\Gamma} = l_D r_D + 2l_B r_K + 1,24r_E, \text{ Ом},$$

$R_1=7,1 \text{ Ом}$; $R_2=7,7 \text{ Ом}$; $R_3=7,58 \text{ Ом}$; $R_4=8,68 \text{ Ом}$; $R_5=9,26 \text{ Ом}$; $R_6=10,22 \text{ Ом}$; $R_7=10,22 \text{ Ом}$; $R_8=9,74 \text{ Ом}$.

3. Загальний опір буде дорівнювати сумі всіх опорів гілок (7.6):

$$R_{3AG} = 4,8 + \left(\frac{1}{7,1} + \frac{1}{7,7} + \frac{1}{7,58} + \frac{1}{8,68} + \frac{1}{9,26} + \frac{1}{10,22} + \frac{1}{10,22} + \frac{1}{9,74} \right)^{-1} = 5,91 \text{ Ом}.$$

4. За формулою (7.7) визначаємо допустимий опір електропідвної мережі при паралельному з'єднанні ЕД та ініціювання від машини КПМ-3:

$$R_D = \frac{600}{8^2} = 9,3 \text{ Ом}.$$

5. Запишемо умову можливості виконання вибуху від машини

$$R_{3AG} \leq R_D.$$

Оскільки $R_{3AG} < R_D$, то виконання вибуху за допомогою машини КПМ-3 можливе.

У схемі паралельно-пучкового з'єднання бойовиків може бути використане парно-послідовне (рис. 7.6) чи парно-паралельне з'єднання (рис. 7.7). Загальний опір визначається за формулою (7.3), а опір окремих гілок і сила струму, що надходить у кожен ЕД, за такими формулами:

– при парно-послідовному з'єднанні

$$R_{\Gamma} = R_D + R_K + R_C + 2,48r_E; \quad (7.8)$$

$$i_E = \frac{I_{3AG}}{N_{\Gamma}}, \quad (7.9)$$

де N_{Γ} – кількість гілок; R_C – опір з'єднувальних проводів (рис. 7.6), $R_C = l_C r_C$; r_E – опір 1 м з'єднувального проводу; l_C – довжина з'єднувального проводу;

– при парно-паралельному з'єднанні

$$R_{\Gamma} = l_{\text{д}} r_{\text{д}} + l_{\text{к}} r_{\text{к}} + l_{\text{с}} r_{\text{с}} + 0,62 r_{\text{Е}}; \quad (7.10)$$

$$i_{\text{Е}} = \frac{I_{\text{ЗАГ}}}{n_{\text{Е}}},$$

де $n_{\text{Е}}$ – кількість ЕД у мережі.

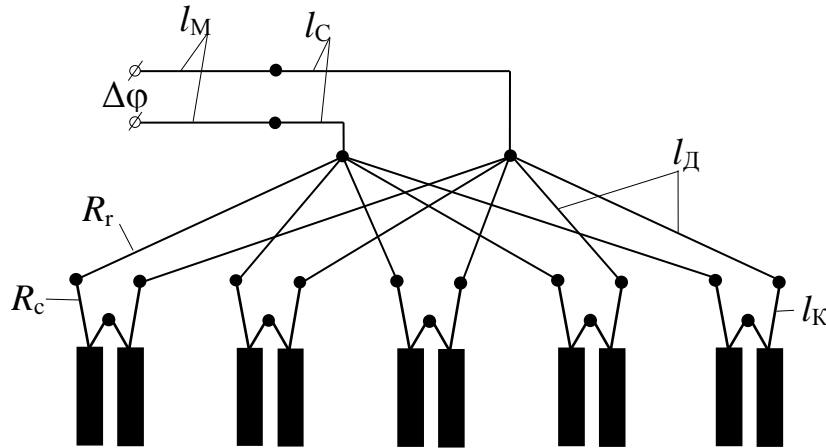


Рис. 7.6. Схема паралельно-пучкової електропідривної мережі з парно-послідовним з'єднанням ЕД у бойовиках ($l_{\text{с}}$ – довжина сполучних проводів)

ПРИКЛАД 7.7. При висадженні п'яти свердловинних зарядів використовується парно-послідовне з'єднання ЕД у бойовиках (рис. 7.6). Параметри електропідривної мережі такі: $l_{\text{Б}} = 8$ м; $r_{\text{Е}} = 4,8$ Ом; $l_{\text{д}} = 14$ м; $r_{\text{д}} = r_{\text{к}} = 0,16$ Ом/м; $R_{\text{М}} = 7,2$ Ом; $R_{\text{с}} = 1,8$ Ом. Визначити силу струму, що надходить у кожен ЕД, при висадженні від мережі змінного струму напругою $U = 220$ В і паралельно-пучковому з'єднанні електропідривної мережі.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Складаємо схему електропідривної мережі (рис. 7.6).

2. За формулою (7.8) визначаємо опір однієї гілки:

$$R_{\Gamma} = 14 \cdot 0,16 + 2 \cdot 8 \cdot 0,16 + 2,48 \cdot 4,8 = 16,704 \text{ Ом.}$$

3. За формулою (7.3) розраховуємо загальний опір мережі:

$$R_{\text{ЗАГ}} = 7,2 + 1,8 + \frac{16,704}{5} = 12,34 \text{ Ом.}$$

4. Знаходимо силу струму, що надходить у пучок:

$$I_{\text{П}} = \frac{220}{12,34} = 17,8 \text{ А.}$$

5. За формулою (7.9) розраховуємо силу струму, що надходить у кожен ЕД:

$$i_E = \frac{17,8}{5} = 3,56 \text{ А.}$$

ПРИКЛАД 7.8. Визначити силу струму, що надходить у кожен ЕД, при парно-паралельному з'єднанні ЕД у бойовиках при паралельно-пучковій мережі за таких умов висадження: кількість зарядів $N = 6$, глибина розташування бойовиків у свердловині $l_{1Б} = l_{2Б} = 6$ м; $l_{3Б} = l_{4Б} = 9$ м; $l_{5Б} = l_{6Б} = 12$ м; довжина дільничних проводів: $l_{1Д} = l_{2Д} = 12$ м; $l_{3Д} = l_{4Д} = 16$ м; $l_{5Д} = l_{6Д} = 20$ м; опори $r_E = 5,4$ Ом; $r_D = r_K = 0,12$ Ом/м; $R_M = 5,6$ Ом; $R_C = 1,4$ Ом. Висадження від мережі змінного струму 220 В.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Складаємо схему електропідривної мережі (рис. 7.7).
2. За формулою (7.10) визначаємо опір окремих гілок:

$$R_1 = R_2 = 5,58 \text{ Ом}; \quad R_3 = R_4 = 6,78 \text{ Ом}; \quad R_5 = R_6 = 7,98 \text{ Ом.}$$

3. Загальний опір електропідривної мережі визначаємо за формулою (7.6):

$$R_{3AG} = 5,6 + 1,4 + \left(\frac{1}{5,58} + \frac{1}{5,58} + \frac{1}{6,78} + \frac{1}{6,78} + \frac{1}{7,98} + \frac{1}{7,98} \right)^{-1} = 8,1 \text{ Ом.}$$

4. Знаходимо загальну силу струму, що надходить у пучок:

$$I_{3AG} = \frac{220}{8,1} = 27,1 \text{ А.}$$

5. Розраховуємо силу струму, що надходить у кожен ЕД:

$$i_E = \frac{I_{3AG}}{2N_E} = \frac{27,1}{2 \cdot 6} = 2,25 \text{ А.}$$

6. За умови $i_E \geq i_G$ визначаємо, чи можливе висадження від мережі змінного струму з напругою 220 В.

$$(i_E = 2,25 \text{ А}) < (i_G = 2,5 \text{ А}).$$

Таким чином, висадження від джерела змінного струму з $U = 220$ В робити не можна.

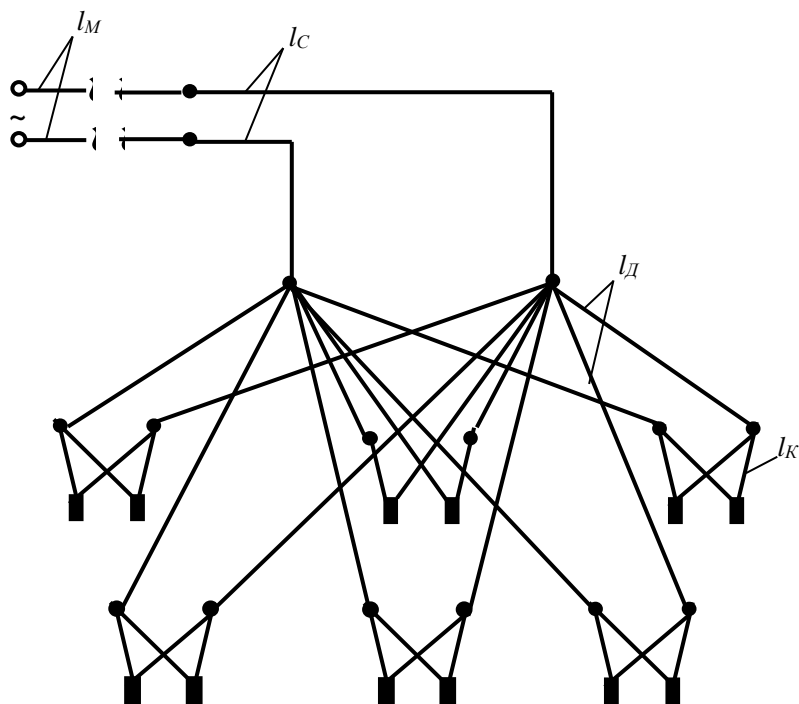


Рис. 7.7. Схема паралельно-пучкової електропідривної мережі з парно-паралельним з'єднанням ЕД у бойовиках

ПРИКЛАД 7.9. При паралельно-ступеневому з'єднанні мережі визначити силу струму, що надходить до ЕД, який розташований у середині групи за таких умов висадження: кількість зарядів $N = 5$, відстань між зарядами $a = 6$ м, глибина розташування бойовиків $l_B = 10$ м; $r_D = r_K = 0,12$ Ом/м; $r_E = 3,6$ Ом; $R_M = 4$ Ом, напруга мережі 127 В.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Складаємо схему електропідривної мережі (рис. 7.8).
2. Визначаємо опір дільничних проводів до середнього ЕД:

$$R_D = l_D r_D = 2,2 a N r_D = 2,2 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 0,12 = 7,92 \text{ Ом.}$$

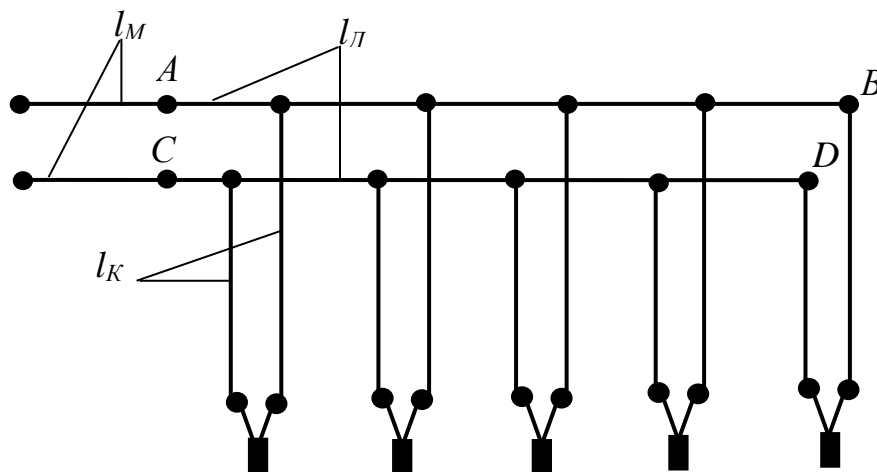


Рис. 7.8. Схема паралельно-ступеневої електропідривної мережі: АВ і СД – дільничні проводи

3. Загальний опір електропідривної мережі при паралельно-ступеневому з'єднанні знаходимо за формулою:

$$R_{3AG} = R_M + \frac{R_D}{2} + \frac{R_K + 1,24r_E}{n_E}, \text{ Ом,}$$

де n_E – кількість ЕД в електропідривної мережі. Підставивши числові значення, отримаємо

$$R_{3AG} = 4 + \frac{7,92}{2} + \frac{10 \cdot 2 \cdot 0,12 + 1,24 \cdot 3,6}{5} = 14,824 \text{ Ом.}$$

4. Розраховуємо силу струму в мережі:

$$I_{3AG} = \frac{U}{R_{3AG}} = \frac{127}{14,824} = 8,57 \text{ А.}$$

5. Визначаємо силу струму, який надходить в ЕД, що розташований у середині групи:

$$i_{E.cep} = \frac{I_{3AG}}{n_E} = \frac{0,57}{5} = 1,71 \text{ А.}$$

Сила струму, який надходить в ЕД, що розташовані ближче до магістралі, тобто до точок А і С (рис. 7.8), більше за $i_{E.cep}$, а в ЕД, що розташовані далі від середини, – менше $i_{E.cep}$.

7.3. Задачі для самостійної роботи

1. Бойовики з парно-последовним з'єднанням ЕД знаходяться в N свердловинах на глибині l_B . Загальний опір описано формулою: $R_M + R_K + R_D = R_{ЗАГ}$, Ом. Кінцеві сталеві оцинковані проводи мають переріз $1,3 \text{ мм}^2$. Опір ЕД із сталевими проводами дорівнює $5,6 \text{ Ом}$. Визначити загальний опір електропідривної мережі при последовному з'єднанні ЕД (рис. 7.2) і можливість виконання вибуху від підривної машини. Дані наведені в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Числові дані за варіантами задач

№ варіанта	N , шт	l_B , м	$R_{ЗАГ}$, Ом	Тип підривної машинки
1	12	11	19	ВМК-3/50
2	14	11	19	ВМК-3/50
3	16	11	19	ВМК-3/50
4	18	11	19	ВМК-3/50
5	20	11	19	ВМК-3/50
6	20	12	19	КВП-1
7	20	13	19	КВП-1
8	20	14	19	КВП-1
9	20	14	22	КВП-1
10	18	15	24	КВП-1
11	17	15	21	ПІВ-100 М
12	16	14	20	ПІВ-100 М
13	15	14	19	ПІВ-100 М
14	14	14	18	ПІВ-100 М
15	13	14	17	ПІВ-100 М
16	25	10	24	КПМ-3
17	27	13	25	КПМ-3
18	29	15	27	КПМ-3
19	31	17	29	КПМ-3
20	30	16	28	КПМ-3
21	29	15	28	ПІВ-100 М
22	28	15	27	ПІВ-100 М
23	27	15	25	ПІВ-100 М
24	25	11	20	ПІВ-100 М
25	23	10	19	ПІВ-100 М
26	10	12	15	БКВМ-1/50
27	10	15	17	БКВМ-1/50
28	10	17	19	БКВМ-1/50
29	11	18	21	БКВМ-1/50
30	12	19	22	БКВМ-1/50

2. Перевірити можливість виконання безвідмовного висадження від мережі змінного струму $U = 220$ В при паралельно-пучковому з'єднанні електропідривної мережі за такими даними: кількість висаджувальних зарядів N , глибина розташування бойовиків l_B , довжина дільничних проводів l_D , опір магістральних проводів R_M , опір ЕД r_E , опори дільничного й кінцевого проводів (одного метра) однакові: $r_K = r_D$ (рис. 7.4).

У табл. 7.4 наведені числові значення літерних величин, що входять в умову задачі (за варіантами).

Таблиця 7.4

Числові дані за варіантами задач

№ варіанта	N , шт.	l_B , м	l_D , м	R_M , Ом	r_E , Ом	$r_K=r_D$, Ом/м
1	2	3	4	5	6	7
1	7	8	12	3	4,2	0,16
2	7	8	12	4	4,3	0,17
3	7	8	12	4,5	4,4	0,18
4	7	8	12	5	4,5	0,19
5	7	8	12	5,5	5	0,20
6	8	9	13	3	4	0,15
7	9	10	14	3	4	0,15
8	10	11	15	3	4	0,15
9	11	12	16	3	4	0,15
10	12	13	17	3	4	0,15
11	13	13	18	3,1	4	0,2
12	14	13	18	3,2	4	0,2
13	15	13	18	3,3	4	0,2
14	16	13	18	3,4	4	0,2
15	17	13	19	3,5	4	0,2
16	16	14	20	3,6	3,5	0,19
17	15	15	20	3,7	3,6	0,18
18	15	14	19	3,8	3,7	0,17
19	14	13	18	3,7	3,8	0,16
20	14	12	17	3,6	3,9	0,15
21	14	11	16	3,5	4	0,16
22	14	10	15	3,4	4,1	0,17
23	14	9	14	3,3	4,2	0,18
24	14	8	13	3,2	4,3	0,19
25	14	7	12	3,1	4,4	0,15
26	14	11	12	3,1	4,5	0,16

3. Визначити силу струму, що надходить в ЕД, розташований у середині групи з N електродетонаторів при паралельно-ступеневому з'єднанні (рис. 7.8) і джерелі змінного струму з напругою U за таких умов: R_B – опір бойовика, Ом, a – відстань між зарядами, м, R_M – опір магістралі, Ом, r_D – опір 1 м дільничного проводу, Ом/м (табл. 7.5).

Таблиця 7.5

Числові значення літерних величин за варіантами

№ варіанта	N , шт.	R_B , Ом	R_M , Ом	a , м	r_D , Ом/м	U , В
1	13	5,2	3,4	6	0,13	220
2	14	6	3,5	6	0,13	220
3	15	5,3	3,6	6	0,13	220
4	16	5,4	3,7	6	0,13	220
5	17	5,5	3,7	7	0,2	220
6	18	6	3,8	6,5	0,15	220
7	19	5,5	3,9	7	0,15	220
8	20	5,6	4	7	0,13	220
9	21	5,7	4	7	0,13	220
10	22	5,8	4	7,3	0,14	127
11	22	5,8	4,3	6,5	0,15	127
12	23	5,9	4,4	6,8	0,16	127
13	24	5,2	4,5	6,9	0,17	127
14	25	5,3	4,6	7	0,18	127
15	25	5,4	5,7	6,1	0,19	127
16	27	5,1	5,8	6,2	0,2	127
17	12	5	3,3	6	0,12	127
18	11	4,9	3,2	4	0,11	127
19	10	4,8	3,1	4,5	0,12	127
20	11	4,7	3	4,6	0,13	127
21	12	4,8	3,1	4,7	0,14	220
22	13	4,9	3,2	4,8	0,15	220
23	14	5	3,3	4,9	0,16	127
24	15	5,1	3,4	5	0,17	127
25	16	5,2	3,5	5,1	0,18	220
26	17	5,3	3,6	5,2	0,19	220

8. ПІДРИВНІ РОБОТИ У МІСЬКИХ УМОВАХ

Теоретичні знання, отримані на лекціях і під час самостійного вивчення дисципліни «Технологія та безпека виконання вибухових робіт», перевіряються й закріплюються на практичних заняттях та при виконанні індивідуальних завдань. У розділі наведені конкретні задачі, кожна задача доповнена таблицею з варіантами.

Питання, що виникають при розв'язуванні задач, мають відношення до виконання бурових і підривних робіт у складних умовах населеного пункту. Підривання в таких умовах вимагає від спеціаліста глибоких знань з технології робіт, єдиних правил безпеки і заходів надійного захисту прилеглих об'єктів.

Специфічність підривних робіт у місті полягає в тому, що розраховані паспорт або проект на підривання об'єкта, як правило, відрізняються своєю індивідуальністю і несхожістю з умовами підривання іншого будинку або спорудження. Обраний спосіб підривання повинен гарантувати повну безпеку персоналу, який виконує роботи, та захист навколишнього середовища.

При розв'язанні конкретної задачі окремим пунктом студент повинен викласти міри безпеки з урахуванням особливості вибухового об'єкта.

Виконувані розрахунки при необхідності мають бути доповнені схемами, рисунками, графіками.

Порядок розрахунку і приклади розв'язання аналогічних задач розглядаються на практичних заняттях.

Задача 8.1. Розрахувати надлишковий тиск повітряного та наземного вибуху заряду ВР на різних відстанях.

1. Обчислити надлишковий тиск $P_{ПОВ}$ (Па) *повітряного* вибуху заряду вибухової речовини, виготовленого з тротилу масою q (кг) на відстанях R (м) 1, 5, 10, 50 і 100.

2. Обчислити надлишковий тиске $P_{НАЗ}$ (Па) *наземного* вибуху заряду вибухової речовини, виготовленого з тротилу масою q (кг) на відстанях R (м) 1, 5, 10, 50 і 100.

Побудувати графік змінювання величини тиску від відстані точки виміру до вибуху заряду.

Вихідні дані наведено в табл. 8.1.

Вихідні дані для задачі 8.1

№ варіанта	q , кг	№ варіанта	q , кг
1	1,0	15	8,5
2	1,5	16	3,5
3	3,0	17	4,5
4	4,0	18	9,5
5	5,5	19	2,0
6	6,5	20	2,5
7	7,5	21	12,5
8	7,0	22	13,5
9	8,0	23	10,0
10	9,0	24	4,0
11	9,5	25	6,0
12	12,0	26	10,5
13	13,0	27	3,5
14	7,5	28	11,5

Для розрахунків надлишкового тиску ΔP слід використовувати формули (4.1) – (4.8).

Задача 8.2. Розрахувати відстань від заряду ВР, що має форму кулі, до перешкоди.

Визначити відстань R від заряду тротилу вагою q (кг), що має форму кулі, до перешкоди вагою G (розміри перешкоди: висота – y ; ширина – z ; товщина – x), яка перекинеться під дією повітряної ударної хвилі. Розрахункова схема показана на рис. 8.1. Розрахунки виконувати в системі одиниць СІ.

Вихідні дані наведено в табл. 8.2.

Визначити такі параметри повітряної ударної хвилі (ПУХ):

- швидкість розповсюдження – D_B ;
- енергію на звалювання перешкоди – E_{3II} ;
- питомий імпульс газів вибуху – J ;
- надлишковий тиск при відбиванні ПУХ від перешкоди – $P_{ВД}$.

Для розрахунків використовувати таку формулу:

$$R = (Ayz)^{1/2} \{g/[(y^2+x^2)^{1/2} - y]\}^{0,25} (g/G)^{1/2}, \text{ м,}$$

де A – постійна величина, що залежить від питомої енергії ВР і прийнятих одиниць виміру.

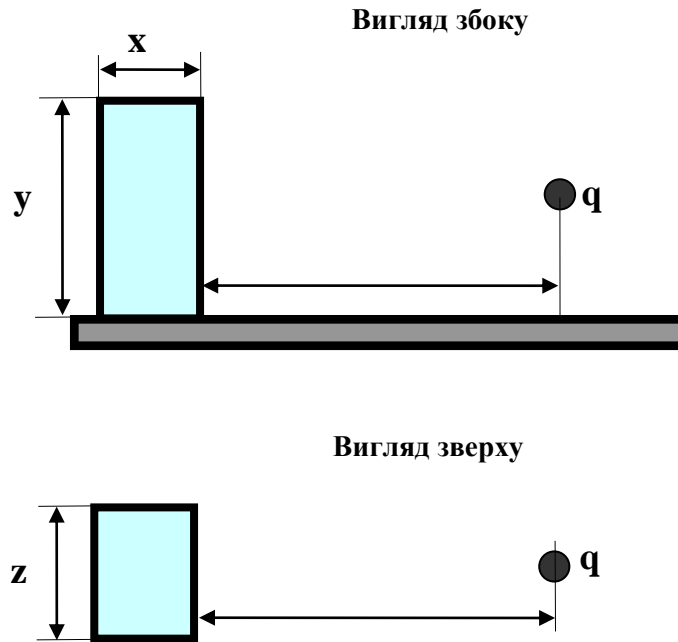


Рис. 8.1. Схема розміщення заряду ВР і перешкоди

Для ВР середньої потужності типа тротилу $A = 25$ с. Якщо ВР має питому енергію, що істотно відрізняється від питомої енергії тротилу ($U_T \sim 4 \cdot 10^6$ Дж/кг), то

$$A = 25 (U_{BP} / U_T)^{1/2}.$$

$$J = G/yz \{ (y^2 + x^2)^{1/2} - y \}^{1/2}, \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2;$$

$$E_{ЗП} = J^2 (yz)^2 g / 2G, \text{ Дж};$$

$$D_{ПОВ} = C_{ПОВ} (1 + 0,83 P_{ПОВ} / P_0)^{1/2}, \text{ м} / \text{с};$$

$$C_{ПОВ} = 20,1 (273 + \Theta)^{1/2}, \text{ м} / \text{с};$$

$$P_{ВД} = P_{ПОВ} [2 + 6 / (1 + 7 P_0 / P_{ПОВ})], \text{ Па},$$

де g – прискорення вільного падіння; P_0 – атмосферний тиск; C_B – швидкість звуку в повітрі (м/с), у розрахунках можна задавати $C_B = 400$ м/с; Θ – температура повітря, $^{\circ}\text{C}$.

Задача 8.3. Розрахувати параметри ударної хвилі заряду ВР у воді.

Визначити параметри ударної хвилі у воді на відстані L , м, від точки вибуху заряду ВР вагою q , кг (дані наведено у табл. 8.3). Знайти величину тиску на фронті ударної хвилі, питомих імпульс стиску, питому енергію ударної хвилі, а також радіус зони вибуху, небезпечної для риби, якщо мінімум вражаючої дії тиску на фронті хвилі складає $P = 10^6$ Па. Заходи захисту водних організмів від підривання накладних зарядів.

Параметри перешкоди для задачі 8.2

№ варіанта	Параметри					№ варіанта	Параметри				
	q, кг	G, кг	y, м	z, м	x, м		q, кг	G, кг	y, м	z, м	x, м
1	Використовувати дані задачі 8.1	5	1,5	0,6	0,4	15	Використовувати дані задачі 8.1	45	1,8	0,8	0,6
2		6				16		50			
3		7				17		55			
4		8				18		60			
5		9				19		65			
6		10				20		70			
7		12				21		75			
8		14				22		80			
9		17				23		85			
10		20				24		90			
11		25	25	95							
12		30	1,7	0,7	0,5	26		1,5	0,6	1,0	
13		35				27					75
14		40				28					85

Варіанти задачі 8.3

№ варіанта	L, м	Тип ВР	Маса заряду q, кг
1	2	3	4
1	1,5	Гексоген	1,0
2	2,5	Ігданіт	0,9
3	3,5	Тротил	0,8
4	4,5	Амоніт 6ЖВ	1,1
5	5,5	Амоніт скельний № 1	1,2
6	6,5	Амоніт скельний № 1	1,3
7	7,5	Ігданіт	1,4
8	8,5	Ігданіт	1,5
9	9	Гексоген	4,0
10	3,5	Угленіт Е-6	4,5
11	4	Ігданіт	3,0
12	8	Тротил	3,5
13	7	Тротил	4,0
14	6	Гексоген	6,0

1	2	3	4
15	5	Тротил	5,0
16	4	Ігданіт	4,0
17	3,5	Амоніт 6ЖВ	3,5
18	3	Амоніт скельний № 1	3,0
19	3,5	Гексоген	3,5
20	4,5	Тротил	4,5
21	5	Ігданіт	5,0
22	5,5	Амоніт 6ЖВ	5,5
23	6	Ігданіт	6,0
24	6,5	Гексоген	6,5
25	7	Амоніт 6ЖВ	7,0

Задача 8.4. Визначити величину тиску продуктів вибуху заряду ВР у воді.

Заряд ВР встановлений у воді на глибині h трьох діаметрів заряду литого тротилу масою q (кг). Щільність заряду $1,7 \text{ г/см}^3$ (табл. 8.4).

Визначити величину тиску продуктів вибуху заряду ВР у воді.

Побудувати графіки функцій $\Theta = f(r)$ і $P = f(t)$, де r – відстань від заряду до вимірюваної точки; P – величина тиску; t – час, протягом якого тиск падає до нуля.

Побудувати графік залежності величини тиску P від відстані r (у завданні можна обмежитися максимальною відстанню $r = 50 \text{ м}$), користуючись формулою Коула:

$$P = 533(\sqrt[3]{q} / R)^{1,13}.$$

Під час розв'язування не враховувати вплив вільної поверхні води на поле тиску.

Рекомендовано користуватися прикладом розрахунків тиску у воді, який наведено в матеріалах лекції.

Необхідно використовувати такі формули:

$$\begin{aligned} P(t) &= \Delta P_{\phi} \cdot \exp(-t/\Theta); \\ \Delta P_{\phi} &= 533(q^{1/3}/R)^{1,13}; \\ \Theta &= 10^{-4} q^{1,13} (R/q^{1/3})^{0,16}. \end{aligned} \quad (8.1)$$

Якщо надавати числові значення параметру t , то можна легко визначити величину тиску $P(t)$ за формулою (8.1).

Вихідні дані для задачі 8.4

№ варіанта	q, кг	№ варіанта	q, кг
1	1	14	14
2	2	15	15
3	3	16	16
4	4	17	17
5	5	18	18
6	6	19	19
7	7	20	20
8	8	21	21
9	9	22	22
10	10	23	23
11	11	24	24
12	12	25	25
13	13	26	26

Задача 8.5. Розрахувати безпечну для будівель і споруд відстань при однократному вибуху зосередженого заряду ВР.

1. Визначити відстань, на якій коливання ґрунту, що викликається однократним вибухом зосередженого заряду ВР, стають безпечними для будівель і споруд, рис. 8.2.

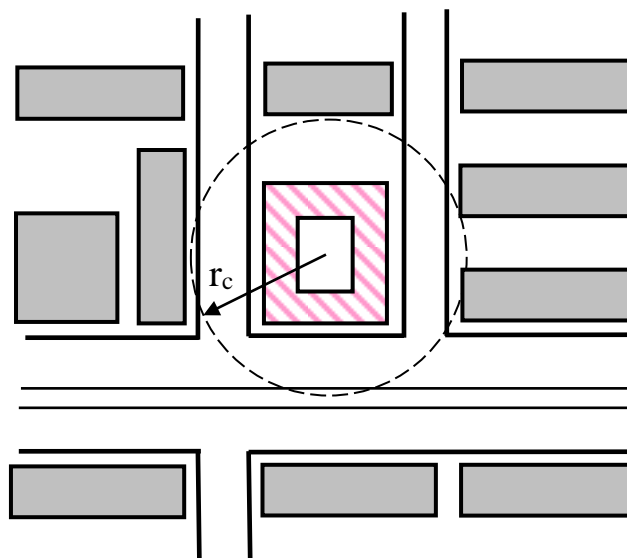


Рис. 8.2. Приклад ситуаційного плану

Формула для розрахунку відстані r_C :

$$r_C = K_T K_3 d Q^{1/3}, \text{ м,}$$

де значення коефіцієнтів K_T , K_3 та d наведені у табл. 5.1 – 5.3.

2. Визначити безпечну відстань до об'єкта, що охороняється, при одночасному (без уповільнення) підриванні групи з N зарядів ВР загальною масою Q . Відстані від об'єкта, що охороняються, до найближчого заряду і до найбільш видаленого заряду розрізняються на 14 %, табл. 8.5.

Формула для розрахунків r_C :

$$r_C = N^{-1/6} K_T K_3 d Q^{1/3}, \text{ м.}$$

3. Визначити безпечну відстань до об'єкта, що охороняється, при підриванні N зарядів ВР загальною масою Q з часом уповільнення між вибухами кожного заряду не менше 20 мс, табл. 8.5.

Формула для розрахунків r_C :

$$r_C = N^{-1/4} K_T K_3 d Q^{1/3}, \text{ м.}$$

Таблиця 8.5

Числові значення величин для задачі 8.5

№ варіанта	Параметри та умови				
	Q, кг	N, шт.	Грунт у фундаменті охоронної споруди	Тип споруджень, характер забудівлі	Умови підривання
1	2	3	4	5	6
Варіант 1					
1	0,4	1	Скельні породи, щільні непорушені	Поодинокі будівлі та споруди виробничого призначення із з/б чи металевим каркасом	Камуфлетний вибух
2	0,5				
3	0,6				
4	0,7				
5	0,8				
6	0,9		Необводнені пісковики, глинясті ґрунти глибиною більше 10 м	Невеликі житлові селища	Вибух напівзаглибленого заряду
7	1,0				
8	1,1				
9	1,2				
10	1,3		Обводнені ґрунти з високим рівнем ґрунтової води	Поодинокі будівлі не вищі за три поверхи з цегляними та подібними стінами	Вибух на викид
11	1,4				
12	1,5				
13	1,6				
14	1,7		Водонасичені ґрунти	Поодинокі будівлі та споруди виробничого призначення із з/б чи металевим каркасом	Камуфлетний вибух
15	1,8				
16	1,9				
17	2,0				
18	2,1				

Продовження табл. 8.5

1	2	3	4	5	6
19	2,2		Скельні породи, щільні непорушені	Поодинокі будівлі та споруди виробничого призначення із з/б чи металевим каркасом	Камуфлетний вибух
20	2,3				
21	2,4				
22	3,0				
23	4,0				
24	5,0				
25	6,0				
26	7,0				
Варіант 2					
1	5	2	Водонасичені ґрунти	Поодинокі будівлі та споруди виробничого призначення із з/б чи металевим каркасом	Камуфлетний вибух
2	5,5	2			
3	6	3			
4	7	3			
5	8	3			
6	9	3	Скельні породи, щільні непорушені		
7	9,5	3			
8	10	3			
9	10	4			
10	11	4			
11	12	4	Обводнені ґрунти з високим рівнем ґрунтової води	Поодинокі будівлі не вищі за три поверхи з цегляними та подібними стінами	Вибух на викид
12	13	4			
13	14	5			
14	14,5	5			
15	15	6			
16	16	6	Необводнені пісковики, глинясті ґрунти глибиною більше 10 м	Невеликі житлові селища	Вибух напівзаглибленого заряду
17	17	6			
18	18	6			
19	19	6			
20	20	7			
21	21	7	Водонасичені ґрунти	Поодинокі будівлі та споруди виробничого призначення із з/б чи металевим каркасом	Камуфлетний вибух
22	22	7			
23	23	7			
24	24,5	7			
25	25	8			
26	26	8			
Варіант 3					
1	5	2	Водонасичені ґрунти	Поодинокі будівлі та споруди виробничого призначення із з/б чи металевим каркасом	Камуфлетний вибух
2	5,5	2			
3	6	3			
4	7	3			
5	8	3			
6	9	3			
7	9,5	3			

Закінчення табл. 8.5

1	2	3	4	5	6
8	10	3	Необводнені пісковики, глинясті ґрунти глибиною більше 10 м	Невеликі житлові селища	Вибух напівзаглибленого заряду
9	10	4			
10	11	4			
11	12	4			
12	13	4			
13	14	5			
14	14,5	5			
15	15	6	Обводнені ґрунти з високим рівнем ґрунтової води	Поодинокі будівлі не вищі за три поверхи з цегляними та подібними стінами	Вибух на викид
16	16	6			
17	17	6			
18	18	6			
19	19	6			
20	20	7			
21	21	7	Водонасичені ґрунти	Поодинокі будівлі та споруди виробничого призначення із з/б чи металевим каркасом	Камуфлетний вибух
22	22	7			
23	23	7			
24	24,5	7			
25	25	8			
26	26	8			

Задача 8.6. Визначити параметри буропідричних робіт (БПР) та безпечну відстань при підриванні приміщення складу.

Завалення старого приміщення складу методом шпурових зарядів ВР, стіни якого складені з матеріалу К на розчині Е. Розміри будівлі: ширина (Ш, м), довжина (D, м), висота (В, м), товщина стін (Т, м); у торці будівлі двері мають ширину А. Будівля вздовж розділена простінками (n, шт.), двері мають ширину (М, м), табл. 8.6.

Визначити об'єм бурових робіт, масу ВР і безпечну відстань до чугунного трубопроводу на відстані R_c , висоту й ширину розвалу.

Задача 8.7. Визначити параметри БПР при підриванні споруд.

Підриванням шпурових зарядів завалити об'єкт С, споруджений з матеріалу К на розчині Е. ВР – амоніт БЖВ. Щільність заряджання $0,9 \text{ кг/дм}^3$. Варіанти задач наведені в табл. 8.7

Визначити відносну відстань між зарядами, потрібну кількість ВР та об'єм бурових робіт, урахувавши зовнішній d_3 і внутрішній d_6 діаметри.

Числові значення для задачі 8.6

№ варіанта	Об'єкт завалення	Матеріал К	Розчин Е	Розміри, м			Товщина стін Т, м	Безпечна відстань R _c , м	Кількість простінків n	Ширина дверей у простінка М	Ширина дверей у торці будівлі А
				Ш, м	D, м	В, м					
1	Приміщення складу	Цегла	Цемент	7,5	20	2,8	0,4	8	2	2	5,5
2			Вапно	8	25	3	0,5	9	2	2,5	5
3		Бетон	—	8,5	30	3,2	0,6	10	3	3	4,5
4		Цегла	Цемент	8,7	35	3,5	0,7	11	3	2,2	4,7
5			Вапно	9,2	40	3,2	0,75	12	4	3,2	3,2
6		Бетон	—	10	45	3	0,8	15	5	2,5	3
7		З/б	—	10,5	40	2,8	0,4	17	4	2,5	4,5
8		Цегла	Цемент	12	30	2,5	0,5	19	5	3	4
9			Вапно	10,8	35	2,9	0,6	20	5	3	4,8
10		Бетон	—	8,2	40	3,5	0,75	15	4	2,2	5,5
11		З/б	—	7,2	25	3,1	0,8	22	5	2	3,2
12		Цегла	Цемент	6,2	35	2,5	0,75	10	3	2,2	6
13			Вапно	6,7	30	2,6	0,85	24	3	1,8	2,7
14		Бетон	—	7,4	25	2,7	0,75	25	3	2	2,4
15		З/б	—	7,9	16	2,9	0,65	18	2	2,2	2,9
16		Цегла	Цемент	8,4	20	3	0,55	17	4	2,4	3,4
17			Вапно	8,9	25	3,1	0,45	16	5	2,5	3,9
18		Бетон	—	9,4	30	3,2	0,5	15	5	3,4	2,4
19		З/б	—	9,9	35	3,3	0,6	14	5	3,5	3,9
20		Цегла	Цемент	10,4	40	3,4	0,65	13	4	2,4	3,4
21			Вапно	10,9	35	3,5	0,75	7	7	2,9	3,9
22		Бетон	—	11,4	32	3,6	0,8	6	4	3,4	4,4
23		З/б	—	6,6	28	3,7	0,45	18	4	1,6	2,6
24		Цегла	Цемент	7,7	24	3,8	0,55	19	4	2,7	3,7
25			Вапно	8,8	20	3,9	0,75	20	4	2,4	3,4

Числові дані до задачі 8.7

№ варіанта	Об'єкт завалення С	Матеріал споруди К	Вид розчину Е	Діаметр, см		Напрямок завалення
				d_z	d_e	
1	Труба	Залізобетон	—	300	135	Південь
2	Вежа	Цегла	Цемент	350	150	Північ
3	Дзвіниця		Вапняк	400	180	Захід
4	Водокачка	Бутобетон	—	450	150	Схід
5	Труба	Цегла	Цемент	500	160	Південь
6	Вежа		Вапняк	550	200	Північ
7	Дзвіниця	Залізобетон	—	500	190	Захід
8	Водокачка	Цегла	Цемент	450	180	Схід
9	Труба		Вапняк	400	170	Південь
10	Вежа	Залізобетон	—	350	150	Північ
11	Дзвіниця	Цегла	Цемент	300	120	Захід
12	Водокачка		Вапняк	450	150	Схід
13	Труба	Бетон	—	400	160	Південь
14	Вежа	Залізобетон	—	550	150	Північ
15	Дзвіниця	Цегла	Цемент	500	200	Захід
16	Водокачка		Вапняк	450	190	Схід
17	Труба	Бетон	—	400	180	Південь
18	Вежа	Залізобетон	—	350	110	Північ
19	Дзвіниця	Цегла	Вапняк	300	120	Захід
20	Водокачка		Цемент	250	100	Схід
21	Труба	Бетон	—	300	110	Північ
22	Вежа	Залізобетон	—	350	120	Захід
23	Дзвіниця	Цегла	Вапняк	400	170	Схід
24	Водокачка		Цемент	450	160	Південь
25	Труба	Бетон	—	550	200	Північ

У розрахунках приймати трирядне розміщення шпурів. Довжина двох нижніх рядів складає 0,75 довжини окружності труби, а верхній ряд – 0,67 довжини окружності труби. Вертикальна лінія, що з'єднує центральні шпури кожного ряду, збігається з напрямком завалювання труби.

Шпури слід розташовувати відповідно до квадратної сітки, тобто $a = b$:

$$a = b = 0,7(p/q)^{1/2},$$

де $p = 0,8$ кг/м для патронів амоніту 6ЖВ діаметром 32 мм.

Величину шпурових зарядів визначають за формулою:

$$Q = 0,5hp,$$

де h – товщина стінки труби, см, $h = d_3 - d_6$.

Рекомендовано у розрахунках використовувати лекційний матеріал та дані табл. 8.8.

У графічній частині показувати розміщення шпурів у стінках труби із зазначенням відстаней між шпурами в ряду та між рядами шпурів.

Таблиця 8.8

Параметри труби та питомі витрати вибухової речовини

Товщина стінки та діаметр труби або колони, м	Питомі витрати амоніта 6ЖВ (кг/м ³) при кладці			
	цегляної на вапняному розчині	цегляної на цементному розчині	бутобетонній	залізобетонній
0,45	1,8	2,0	2,1	2,2
0,5	1,6	1,8	1,9	2,0
0,6	1,3	1,5	1,6	1,8
0,7	1,2	1,3	1,5	1,6
0,75	1,1	1,2	1,3	1,4
0,8	0,9	1,0	1,1	1,3
0,9	0,8	0,9	1,0	1,2
1,0–1,2	0,7	0,8	0,9	1,1
1,3–1,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1,6–1,7	0,55	0,6	0,7	0,8
1,8–1,9	0,45	0,5	0,5	0,7

Задача 8.8. Визначити параметри БПР при спорудженні траншеї.

Вибухом серії шпурових зарядів потрібно зруйнувати гірську масу в траншеї, призначеної для прокладки газових труб. Розміри траншеї: глибина h (м), ширина понизу B (м) і поверху B_1 (м), довжина L (м). Породи міцністю f , діаметр шпурів $d = 43$ мм. В табл. 8.9 наведено варіанти задач. Сітка розташування шпурів – квадратна. ВР – амоніт 6ЖВ, питома витрата q (кг/м³).

Визначити загальну вагу заряду ВР, обсяг свердління та витрати ЕД на весь обсяг робіт, а також параметри розташування шпурових зарядів.

Числові дані за варіантами до задачі 8.8

№ варіанта	Характер руйнування	$h, м$	$B, м$	$B_1, м$	$L, м$	f	$q, кг/м^3$
1	Викид	1,3	1,5	2,2	150	0,5	1,0 – 1,12
2	Розпушування	1,4	1,6	2,4	160	1,0	0,33 – 0,41
3		1,5	1,7	2,3	180	1,5	0,5 – 0,58
4		1,6	1,8	2,8	200	0,6	0,33 – 0,41
5	Викид	1,7	1,9	3,0	220	2,0	1,25 – 1,5
6		1,8	2,0	3,2	240	2,3	1,12 – 1,37
7		1,9	2,1	3,4	260	4,0	1,12 – 1,37
8		2,0	2,2	3,6	280	5,0	1,25 – 1,6
9		1,4	2,3	3,8	300	7,0	1,25 – 2,0
10		1,5	2,4	4,0	250	8,0	1,5 – 2,0
11		1,6	2,5	4,2	260	10	1,75 – 2,25
12		Розпушування	1,7	2,6	4,0	240	12
13	1,8		2,7	3,8	220	16	0,67 – 0,7
14	1,9		1,25	2,75	200	0,5	0,33 – 0,37
15	2,0		1,4	2,8	170	0,8	0,25 – 0,3
16	Викид	2,1	1,5	3,0	150	1,0	1,0 – 1,25
17		2,2	1,6	3,2	130	1,5	1,5 – 1,75
18		2,3	1,7	3,4	100	2,0	1,5 – 1,75
19		1,8	1,8	3,6	80	1,7	1,25 – 1,5
20		1,9	1,9	3,8	90	2,5	1,12 – 1,37
21		2,0	2,0	3,0	100	2,8	1,2
22		2,1	2,1	3,2	120	15	1,75 – 2,25
23		2,2	2,2	3,4	100	3,4	0,33 – 0,37
24		2,3	2,3	3,6	150	12	0,25 – 0,3
25		2,4	2,4	3,8	200	5,2	1,0 – 1,25

9. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ І СКЛАДАННЯ ПАСПОРТА БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ

Основні положення

Підривання зарядів ВР відбувається згідно з технічною документацією (проектами, паспортами та ін.). Кожен вибій повинен мати окремий паспорт буропідривних робіт.

Паспорт БПР являє собою інструктивну карту, що регламентує порядок проведення буропідривних робіт. Персонал, який виконує БПР, повинен ознайомитися з цим документом і поставити свій підпис у ньому.

Паспорт БПР складається начальником дільниці, на якій ведуться підривні роботи, чи його заступником на підставі результатів розрахунку та не менше, ніж трьох експериментальних підривань, узгоджується з начальниками дільниць буропідривних робіт, вентиляції і техніки безпеки та затверджується головним інженером шахти.

Паспорт – це технологічний закон, що не може бути довільно змінений. Паспорт БПР повинен містити:

- найменування виробки, площу її перерізу у світлі й начорно, міцність порід (вугілля);
- схему розташування шпурів у трьох проекціях і масштабі 1:50 чи 1:100;
- на схемі повинні бути зазначені розміри, що потрібні бурильнику під час розмітки шпурів на вибої виробки, а також мінімальні відстані між зарядами ВР;
- кількість, діаметри, довжини й глибини шпурів;
- кути нахилу шпурів до вибою;
- найменування ВР і засобів ініціювання (ЗІ);
- конструкцію шпурового заряду ВР;
- масу і конструкцію заряду ВР кожного шпуру і комплекту шпурів у цілому;
- схему монтажу підривної мережі;
- кількість серій уповільнення й послідовність підривання зарядів;
- матеріал забійки і її довжину;
- вид і схему створення запобіжного середовища;
- вказівки про місце укриття майстра-підричника і робітників на час виконання вибухових робіт;

- схему і час провітрювання виробок після підривання до початку відновлення робіт прохідницького циклу;
- дані про розташування постів оцеплення.

В окремих випадках (через зміну гірничо-геологічних та інших умов) за дозволом особи технічного нагляду, що здійснює безпосереднє керівництво підривними роботами, допускається зменшення маси й кількості зарядів порівняно з показниками, що передбачені паспортом.

Разові вибухи зарядів у шпурах для доведення контурів виробки до розмірів, передбачених проектом, видалення навісів, вирівнювання вибою, підривання підосви виробки, розширення виробки під час перекріплення, а також із метою ліквідації зарядів, що відмовили, дозволяється робити за схемами. Схеми складаються й підписуються особою технічного нагляду, тобто керівником БПР. У схемі зазначаються розташування шпурів, маса і конструкція зарядів, місця розташування постів та укриття майстра-підричника, а також заходи безпеки.

Вихідні дані

Площа виробки в прохідці S_{np} , м².

Ширина виробки в прохідці B_{np} , м.

Довжина виробки L , м.

Коефіцієнт міцності:

– покрівлі $f_{покp}$,

– вугілля $f_{вуг}$,

– підосви $f_{під}$.

Потужність пласта m , м.

Кут падіння пласта α , град.

Глибина західки $l_{зах}$, м.

Категорія шахти за газом (негазова, I, II, III, надкатегорійна або небезпечна за раптовими викидами).

Безпечна або небезпечна за вибуховом вугільного пилу.

Визначення площ перерізу виробки

Наводиться спосіб виймання вугілля та породи – сумісний або роздільний.

При роздільному вийманні вугілля та породи у формулу (9.2) підставляють величини площ, які займають вугілля, породи підосви та покрівлі в прохідці. При сумісному – величину всієї площі перерізу виробки.

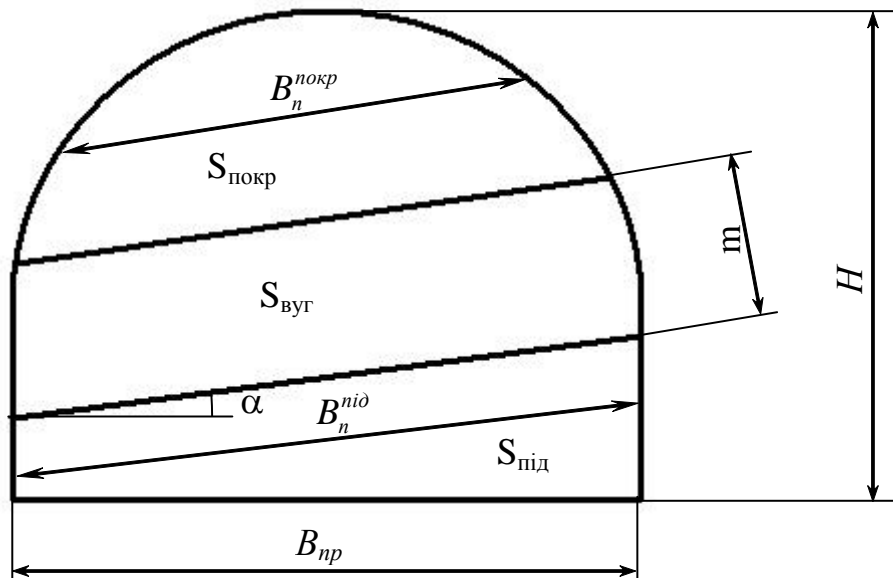


Рис. 9.1. Схема до розрахунку площі перерізу виробки відносно вугілля, покровлі та підосві: $S_{\text{покр}}$, $S_{\text{вуг}}$, $S_{\text{під}}$ – площа покровлі, вугілля та підосви виробки відповідно; α – кут падіння пласта вугілля; $B_{\text{нр}}$ – ширина виробки в проходці; H – висота виробки; m – потужність пласта, $B_n^{\text{покр}}$, $B_n^{\text{нід}}$ – ширина породного підривання, м

Вибір методу підривних робіт

1. Вибір типу бурильної машини або бурильної установки. Технічна характеристика (табл. 9.1 – 9.3 або [16] та ін.).
2. Вибір відповідного бурильного інструменту. Технічна характеристика.

Вибір способу підривання зарядів

1. Підбір засобів ініціювання зарядів ВР, їх типу, марки (табл. 9.4).
2. Вибір ВР. Характеристика (табл. 9.6).

Визначення розрахункових витрат ВР на вибій виробки:

$$Q_{\text{розр}} = qV, \text{ кг}, \quad (9.1)$$

де q – питомі витрати ВР, кг/м³; V – об’єм породи, що підривається, м³.

Визначення об’єму породи, що підривається,

$$V = l_{\text{ш}} S, \text{ м}^3, \quad (9.2)$$

де $l_{\text{ш}}$ – глибина шпуру, м; S – площа перерізу виробки, м².

Визначення глибини шпурів

При незаданих темпах проходки глибина шпурів визначається за формулами:

$$l_{\text{ш}} = 0,5\sqrt{S} \text{ – похилі вруби};$$

$l_{uu} = 0,75\sqrt{S}$ – прямі вруби.

Якщо задана величина західки (l_{zax}) та величина КВШ (коефіцієнт використання шпурів η , табл. 9.5), глибина шпурів визначається так:

$$l_{uu} = \frac{l_{zax}}{\eta}, \text{ м.}$$

Визначення питомих витрат ВР

Питомі витрати ВР беруть з табл. 9.7 – 9.10 або з досвіду роботи підприємств, або визначають за емпіричними формулами, які отримані в різних умовах підривання.

А. За формулою М.М. Протодьяконова – П.Я. Таранова

– для однієї відкритої поверхні $q = 0,4 \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{\sqrt{S}} \right)^2 e^{-1}k$, (9.3)

– для двох відкритих поверхонь $q_n = 0,15\sqrt{f} \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{B_n^i} \right) e^{-1}k$,

де f – коефіцієнт міцності породи (вугілля); $e^{-1} = 525 / P_{\text{ВР}}$ – коефіцієнт, що враховує працездатність ВР; $P_{\text{ВР}}$ – працездатність ВР, взятої для проведення підричних робіт, см^3 ; 525 см^3 – працездатність 93%-ного динаміту, прийнятого за еталонну ВР; k – коефіцієнт збільшення витрати ВР для додаткового дроблення породи, при навантаженні породи важкими ківшовими (об'єм ковша $> 0,5 \text{ м}^3$) навантажувальними машинами $k = 1 \dots 1,1$, а при навантаженні породи легкими ківшовими навантажувальними машинами або машинами із загрибними лапами $k = 1,2 \dots 1,3$; $B_n^{\text{покр}}$, $B_n^{\text{нід}}$ – ширина породного підривання, м, визначається графічно на ескізі поперечного перерізу виробки паралельно випереджаючій порожнині на середній відстані від неї до контуру виробки.

Формула (9.3) дає задовільні результати у досить широких межах міцності порід, якщо площа вибоїв від 3 до 15 м^2 , але при довжині шпурів не більше $0,6B$, де B – ширина виробки, м.

Б. За формулою Н.М. Покровського

$$q = q_1 k_3 F e, \text{ кг/м}^3,$$

де q_1 – питомі витрати ВР при нормальному заряді викиду, $q_1 = 0,1f$; f – коефіцієнт міцності породи (вугілля); F – коефіцієнт, що враховує текстуру породи ($F = 2$ – в'язкі, пружні, пористі; $F = 1,4$ – із дрібною тріщинуватістю; $F = 1,3$ – зі сланцевим заляганням із нашаруванням, перпендикулярним напрямку шпуру; $F = 1$ – масивні, щільні; $F = 0,7 - 0,8$ – дрібношаруваті, щільні), при розрахунках для вугілля задають $F = 1,0 - 1,3$; k_3 – коефіцієнт затиску порід, задають

$k_{з.під} = 1,5 - 1,6$ – для підосви, $k_{з.пок} = 1,2$ – для покрівлі, $k_{з.гв} = 6,5/\sqrt{S_{гв}}$ – для вугілля; при проведенні польових виробок $k_з = 6,5/\sqrt{S_{пв}}$; e – коефіцієнт, що враховує працездатність ВР. Цей коефіцієнт визначають за формулою:

$$e = \frac{P_{em}}{P_x},$$

де $P_{em} = 380 \text{ см}^3$ (працездатність 62%-ного динаміту); P_x – працездатність прийнятої ВР, см^3 .

Питомі витрати ВР, отримані при підрахунках за різними формулами, порівнюють з нормативними (табличними) даними і задають для подальших розрахунків найближче до табличних розрахункове значення. При проведенні польових виробок нормативні (табличні) дані беруть з табл. 9.7; при проведенні пластових виробок та сумісному вийманні вугілля і породи нормативні (табличні) дані беруть: для вугілля з табл. 9.8, для породи з табл. 9.9; при проведенні пластових виробок та роздільному вийманні вугілля і породи нормативні (табличні) дані беруть: для вугілля з табл. 9.8, для породи з табл. 9.10. Якщо табличні дані відсутні – питомі витрати ВР задають: або розраховані за формулою Н.М. Покровського, або середнє з двох отриманих за формулами М.М. Протодьяконова – П.Я. Таранова та Н.М. Покровського.

Визначення кількості шпурів на вибій виробки:

$$N_{ш} = \frac{1,27qS}{\Delta_n d_n^2 k_{зан}}, \text{ шт.}, \quad (9.4)$$

де Δ_n – щільність патронування прийнятої ВР, кг/м^3 ; d_n – діаметр патрона ВР, м; $k_{зан}$ – коефіцієнт заповнення шпурів ВР.

При розрахунках значення $k_{зан}$ попередньо задають: 0,3 для вугілля; 0,4 для порід з $f < 5$; 0,45 для порід з $f = 5 \dots 8$; 0,5...0,6 для порід з $f > 8$.

Вибір типу врубу і схеми розміщення шпурів

Тип врубу вибирають відповідно до міцності породи, її текстури, розмірів і конфігурації вибою й величини західки.

При побудові схем розташування шпурів їх кількість, що знайдена за формулою (9.4), можна корегувати й змінювати, виходячи з умов більш доцільного розміщення їх у вибої, тобто нормального оконтурювання виробки.

Якщо шахта небезпечна за вибухом газу або вугільного пилу, то відстані між сусідніми шпурами, відкритими поверхнями і шпурами повинні бути не меншими, ніж зазначені у [2]. Вибираючи схему розташування шпурів, спочатку

розміщують врубові шпури, після цього на площі, що залишилася, рівномірно розташовують відбійні та оконтурювальні. Об'єм породи, що припадає на один шпур, повинен бути для врубового шпура менше ніж для відбійного. Врубівні шпури, як правило, бурять на 20...40 см довші. Якщо у змішаному вибої виконується роздільне виймання вугілля та породи, то вруб вибирається тільки для вугільного вибою.

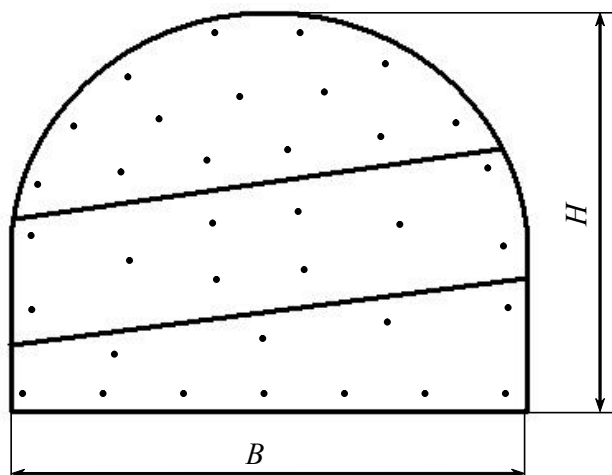


Рис. 9.2. Схема розташування шпурів

Якщо міцність порід $f > 7$, то кінці оконтурювальних шпурів виступають на 10...15 см за проектний контур виробки.

Визначення середньої маси шпурового заряду:

$$q_{ш} = \frac{Q_{розр}}{N_{ш}}, \text{ кг,}$$

де $Q_{розр}$ – розрахункові витрати ВР на вибій виробки, кг, з (9.1); $N_{ш}$ – кількість шпурів на вибій виробки, шт., з (9.4), урахування ймовірних корегувань.

Отриману середню масу шпурового заряду ВР для врубових шпурів збільшують на 15...20 %, для оконтурювальних – на 15...20 % зменшують, для відбійних залишають незмінною.

Визначення кількості патронів ВР у шпурі:

$$n_n = \frac{q_{ш}}{m_n}, \text{ шт.,}$$

де m_n – маса одного патрона ВР, кг, табл. 9.6.

Досить часто при діленні розрахункової маси шпурового заряду на масу патрона виходить не ціла кількість патронів ВР у шпурі. У зв'язку з тим що різати патрони ВР при заряджанні шпурів не дозволяється, необхідно округляти знайдене значення до цілого числа, а потім уточнювати масу шпурового заряду.

Визначення довжини забійки:

$$l_{заб} = l_{шп} - l_{зар} = l_{шп} - l_n n_n, \text{ м},$$

де $l_{шп}$ – довжина шпуру, м; l_n – довжина патрона, м; n_n – кількість патронів, що формують заряд шпуру, шт.

Для шахт, небезпечних за газом і пилом, величина $l_{заб}$ повинна бути: 0,5 м при довжині шпуру більше 1 м і $0,5l_{шп}$ при довжині шпуру від 0,6 до 1 м.

Довжина патрона визначається за формулою:

$$l_n = \frac{4m_n}{d_n^2 \Delta_n \pi}, \text{ м}.$$

Вибирають запобіжне середовище (наводиться схема) і тип забійки, що буде використовуватися в шпурах. Вказують групу вибою і виробки та режим підричних робіт у них. Розраховують витрати ВР ($Q_{зан}$ – маса ВР для підривання запобіжного середовища, кг) і ЗІ ($N_{зан}$ – кількість ЕД для підривання запобіжного середовища, шт.).

Уточнення кількості ВР на вибій виробки:

$$Q_{\phi} = Q_{\phi}^{покp} + Q_{\phi}^{вуг} + Q_{\phi}^{нід}, \text{ кг},$$

$$Q_{\phi}^{покp} = N_{від}^{покp} n_{від}^{покp} m_n + N_{ок}^{покp} n_{ок}^{покp} m_n, \text{ кг},$$

$$Q_{\phi}^{вуг} = N_{вп}^{вуг} n_{вп}^{вуг} m_n + N_{від}^{вуг} n_{від}^{вуг} m_n + N_{ок}^{вуг} n_{ок}^{вуг} m_n, \text{ кг},$$

$$Q_{\phi}^{нід} = N_{від}^{нід} n_{від}^{нід} m_n + N_{ок}^{нід} n_{ок}^{нід} m_n, \text{ кг},$$

де $N_{вп}$, $N_{від}$, $N_{ок}$ – відповідно кількість врубів, відбійних та оконтурювальних шпурів, шт.; $n_{вп}$, $n_{від}$, $n_{ок}$ – відповідно кількість патронів ВР у врубів, відбійних та оконтурювальних шпурах, шт.

Уточнена кількість ВР Q_{ϕ} по вугіллю, покрівлі та підшві не повинна відрізнятися від розрахункової $Q_{розр}$ більше ніж на 5 %.

Визначення витрат засобів ініціювання

Загальна кількість електродетонаторів на підривання повинна відповідати загальній кількості зарядів у вибої ($N_{ЕД} = N$ або $N_{ЕД} = N + N_{зан}$). Визначають необхідну кількість серій уповільнення та черговість вибуху – врубів, відбійні та оконтурювальні.

Вибір схеми з'єднання електродетонаторів, типу проводів, контрольно-вимірювальних приладів та джерела струму

У шахтах, небезпечних за вибухом газу або пилу, дозволяється послідовне з'єднання ЕД і тільки мідними проводами. Мережа повинна бути двопровідною. Тип проводів вибирають з табл. 9.11, джерела струму – з табл. 9.12.

Розрахунок електропідривної мережі

При послідовному з'єднанні електродетонаторів загальний опір підривної мережі визначається за формулою:

$$R_0 = rN_{ED} + r_C + R_M, \text{ Ом},$$

де r – опір електродетонатора (1,5...4 Ом, якщо проводи мідні, і 2,9...9,5 Ом, якщо залізні); N_{ED} – кількість електродетонаторів у мережі, шт.; r_C і R_M – опір сполучних ($l_C = 20$ м) і магістральних (L, m) проводів, Ом.

Отриманий загальний опір підривної мережі порівнюють з «максимальним опором послідовної підривної мережі» для вибраного джерела струму (табл. 9.12, колонка 5).

Опір сполучних і магістральних проводів визначають за формулами (9.5) і (9.6) або за формулами (9.7) і (9.8), якщо відомий опір 1 м проводу:

$$r_C = \rho_C l_C / S_C, \text{ Ом}; \quad (9.5)$$

$$R_M = \rho_M l_M / S_M, \text{ Ом}, \quad (9.6)$$

де ρ – питомий опір матеріалу проводу, для міді $\rho = 0,0175$ Ом; l – довжина проводу, м; S – площа перерізу жили, мм², табл. 9.11.

$$r_C = \rho_C^1 l_C, \text{ Ом}; \quad (9.7)$$

$$R_M = \rho_M^1 L, \text{ Ом}, \quad (9.8)$$

де ρ^1 – опір 1 м проводу, Ом, табл. 9.11.

Силу струму в мережі визначають за формулою:

$$I = U/R_0, \text{ А},$$

де U – напруга на клеммах джерела струму, В.

Отриману силу струму в мережі порівнюють з величиною гарантованого струму.

Наводиться схема з'єднання ЕД.

Визначення кількості ВР, ЕД, шпурометрів та забивочного матеріалу на 1 погонний метр (п. м) виробки:

– ВР
$$Q_{п.м} = \frac{Q_{\phi} + Q_{зан}}{l_{зах}}, \text{ кг};$$

– ЕД
$$N_{ЕД.п.м} = \frac{N_{ЕД}}{l_{зах}}, \text{ шт.};$$

– шпурометрів
$$l_{ш.п.м} = \frac{(N_{покр} l_{покр} + N_{\text{вуг}} l_{\text{вуг}} + N_{\text{нід}} l_{\text{нід}})}{l_{зах}}, \text{ м};$$

кількість шпурометрів, які заповнені забивочним матеріалом, без урахування гідрозабійки ($l_{\text{гідрозаб}} = 350 \text{ мм}$)

$$L_{\text{заб}} = l_{\text{заб}}^{\text{ок}} N_{\text{покр}}^{\text{ок}} + l_{\text{заб}}^{\text{від}} N_{\text{покр}}^{\text{від}} + l_{\text{заб}}^{\text{вп}} N_{\text{вуг}}^{\text{вп}} + l_{\text{заб}}^{\text{ок}} N_{\text{вуг}}^{\text{ок}} + l_{\text{заб}}^{\text{від}} N_{\text{вуг}}^{\text{від}} + l_{\text{заб}}^{\text{ок}} N_{\text{нід}}^{\text{ок}} + l_{\text{заб}}^{\text{від}} N_{\text{нід}}^{\text{від}} - l_{\text{гідрозаб}} N_{ш}, \text{ м.}$$

Маса забивочного матеріалу
$$M = \frac{\pi d_{ш}^2 L_{\text{заб}} \rho_{\text{заб}}}{4}, \text{ кг},$$

де $\rho_{\text{заб}}$ – щільність забивочного матеріалу; $d_{ш}$ – діаметр шпуру, м,

на 1 п. м
$$M_{п.м} = \frac{M}{l_{зах}}, \text{ кг.}$$

Заходи з техніки безпеки. Зазначаються заходи з ТБ відповідно до [2]. Особливу увагу приділяють розділу «ІХ. Додаткові вимоги до поводження з вибуховими матеріалами під час підривних робіт у гірничодобувній промисловості та на об'єктах будівництва. 5. Підривні роботи на вугільних шахтах, небезпечних за газом та (або) пилом».

Графічна частина повинна містити:

- 1 – схему розташування шпурових зарядів у трьох проекціях;
- 2 – таблицю основних показників БПР (табл. А);
- 3 – таблицю даних про шпури і шпурові заряди (табл. Б);
- 4 – таблицю про параметри запобіжного середовища (табл. В);
- 5 – конструкцію шпурового заряду (рис. 9.3).

Схема розташування шпурів виконується в трьох проекціях і масштабі 1:25 або 1:50 із зазначенням усіх необхідних розмірів. Як правило, на головному виді показують тільки розміри поперечного перерізу виробки.

На проекції за планом проставляють розміри між окремими групами шпурів з обох боків подовжньої осі виробки. Устя оконтурювальних шпурів повинні відступати від контуру виробки не більше ніж на 0,2 м.

На боковій проекції зазначають розміри між: рівнем підшви виробки і нижнім рядом оконтурювальних шпурів; рядами врубових шпурів по вертикалі; верхнім рядом оконтурювальних шпурів і контуром виробки (верхньою точкою поперечного перерізу); рядом оконтурювальних і рядом відбійних шпурів; рядами відбійних шпурів.

За площею поперечного перерізу виробки на передбачуваній площині відриву породи (на глибині $l_{зах}$) всі шпури (окрім врубових) повинні розташовуватися рівномірно.

Таблиця А

Таблиця основних показників БПР

№ п/п	Показник	Одиниця вимірювання	Кількість
1	Небезпека шахти за вибухом: – газу – пилу	– –	
2	Площа перерізу виробки	м ²	
3	Коефіцієнт міцності за шкалою М.М. Протодьяконова вугілля/породи	–	
4	Тип ВР	–	
5	Витрата ВР	кг	
6	Витрата ВР на 1 п. м	кг	
7	Тип ЕД		
8	Витрата ЕД	шт.	
9	Витрата ЕД на 1 п. м	шт.	
10	Тип забійки	–	
11	Витрата забивочного матеріалу	кг/шт.	
12	Витрата забивочного матеріалу на 1 п. м	кг/шт.	
13	Просування вибою за вибух	м	

Таблиця Б

Таблиця даних про шпури і шпурові заряди

Номери шпурів, які підривають за один прийом	Глибина кожного шпуру, м	Кут нахилу, град		Величина заряду, кг		Фактичний коефіцієнт заповнення шпурів $l_{зар}/l_{ш}$	Тип електродетонаторів (час уповільнення)	Прийоми підривання
		до вертикалі	до горизонталі	кожного шпуру	групи шпурів			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

$$\sum Q =$$

$\sum Q$ – сума величин зарядів груп шпурів (сума величин колонки 6), кг. $\sum Q$ повинно дорівнювати Q_f .

Параметри запобіжного середовища

Витрати води в вибою		Кількість місткостей, шт.		Потреба і тип вибухових матеріалів (ВМ) для розпилення води					Прийоми підривання
загальні, л	питомі, л/м ²	20 – 25 л	30 – 50 л	Тип ВМ		Витрати ВМ			
				ВР	ЕД	ВР, кг		ЕД, шт.	
						на одну місткість	усього	усього	

Питомі витрати води в вибою розраховують як відношення загальних витрат води в вибою до поперечного перерізу виробки в світлі.

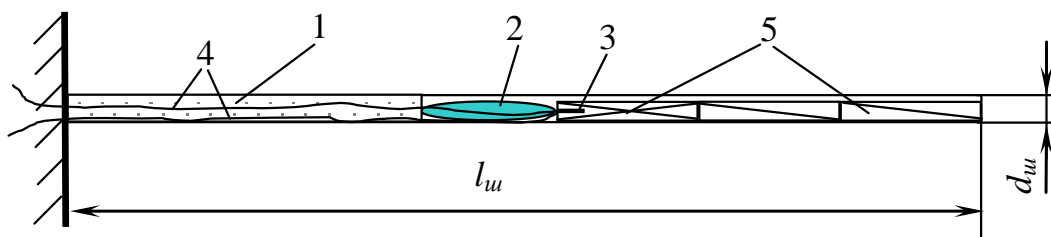


Рис. 9.3. Конструкція шпурового заряду ВР: 1 – глинисто-піщана забійка шпура; 2 – ампула гідрозабійки; 3 – електродетонатор; 4 – електродетонаторні проводи; 5 – вибухова речовина

Таблиця 9.1

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРФОРАТОРІВ

Показники	Марки бурильних молотків													
	ручних							телескопічних					колонкових	
	ПР-20	ПР-25	ПР-30	ПП36В	ПП54В2	ПП63В2	ПП76В	ПТ-36	ПТ-38	ПТ-48	ПТ-54	ПТ-63	ПК-50	ПК-65
Робота удару, кгс·м	4,0	5,0	6,5	3,6	5,5	6,4	7,3	5,5	5,2	5,8	5,5	6,3	9,0	27,0
Кількість ударів за хвилину	2300–2600	2300–2600	1600–1800	2300	2350	1800	2100	2400	2300	2300–2600	2400	1800	1350	2300
Обертальний момент, кгс·м	120	180	150	200	295	270	450	200	300	180	290	270	1890	2700
Витрати повітря, м ³ /хв	2,8	3,5	3,5	3	3,2	3,5	5,2	3,0	2,1	3,2	4,4	7,1	9,6	12-15
Діаметр коронки, мм	32...40	40...46	40...46	32...40	40...46	40...46	40...65	32...40	32...40	52...85	40...46	40...46	52...85	40...65
Глибина буріння, м	до 2	до 4	до 5	до 2	до 4	до 5	до 12	до 2	до 4	до 15	до 4	до 5	до 12	до 25
Коефіцієнт міцності породи	12	14	20	12	14	20	20	12	20	20	14	20	20	20
Робочий тиск повітря, кгс·см ²	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Маса, кг	56,5	32,0	30,0	25,5	30,5	32,0	34,0	35,0	38,0	47,0	42,0	42,0	50,0	65,0

Таблиця 9.2

УДАРНО-ОБЕРТАЛЬНІ БУРИЛЬНІ УСТАНОВКИ (МАШИНИ)

Показники	Бурильні установки							
	УБШ 313А	УБШ 253А	УБШ 252	БКГ2	БУЕ-1М	БУ-1	БУР-2	СБУ-2М
Кількість бурових машин	2	1	1	2	1	1	2	2
Потужність приводу обертача, кВт	11	11	11	–	7	6	6	6
Зусилля подачі, кН	18	18	18	15	16	11	11	11
Довжина подачі, м	2,5	3,0	2,5	2,8	3,0	2,75	2,75	2,75
Діаметр коронки, мм	42, 43	42, 43	42, 43	42	43	42, 43	42, 43	42, 43
Коефіцієнт міцності породи	16	16	16	16	16	16	16	16
Кут нахилу виробки, град	±10	±10	0	0	0	0	0	±10
Площа виробки в світлі, м ²	12,8 – 20	6 – 12	6 – 12	9 – 20	6 – 10	6 – 18	9 – 23	9 – 23
Максимальна висота буріння горизонтального шпуру, м	3,8	3,5	3,5	4	3,8	3,7	4	4,5
Максимальна ширина вибою, що обурюється з одного положення, м	5,4	4,6	4,4	5,5	3,6	5	5	5,5
Ходова частина	Гусенична		Колісно-рейкова					Гусенична
Основні розміри установки, м:								
– довжина	10,8	10,5	9,9	7,2	7,1	6,5	7	7,1
– ширина	1,4	1,4	1,15	1,32	0,6	1,08	1,3	1,87
– висота	1,95	2	1,35	1,4	1,2	1,5	1,5	1,75
Маса установки, т	13,0	10,0	5,3	5,5	4,0	2,3	4,9	6,2

ОБЕРТАЛЬНІ БУРОВІ МЕХАНІЗМИ

Показники	Ручні електросвердла			Колонкові електросвердла		Пневмосвердло СПРП-15
	СЕР-19м	ЕРП-18Д-4М	СПР-2	СЕК-1м	ЕБГП-1м	
Півгодинна потужність на шпинделі, кВт	1,2	1,4	1,4	3,6/4,8	3,5	2,5
Частота обертання шпинделя, об/хв	600, 750, 960	315/500	540/790	152/305 102/205	175/320	700
Швидкість подачі, мм/хв	–	600/1000	750/1100	0,52 – 1,21 мм/об	0 – 1400	–
Осьове зусилля, кгс·см	–	300	250	200 – 1500	0 – 1500	–
Довжина подачі, м	2,5	2,5	2,5	2,5	2,2	2,5
Діаметр коронки, мм	36...43	36...43	36...43	40...50	40...50	36...42
Коефіцієнт міцності породи	4	4	4	12	12	4
Крутний момент на шпинделі, кгс·см	110	400	230/150	180	150	250
Основні розміри, мм: – довжина – ширина – висота	350 318 300	468 316 230	425 318 300	1680 422 407	16800 400 400	360 334 162
Маса, кг	16,5	24	22	110	130	12,3 (із промивальною муфтою)

Ручні електросвердла і пневмосвердла застосовують для буріння шпурів по вугіллю, антрациту, гіпсу, по вуглистих і глинистих сланцях та інших породах з коефіцієнтом міцності f не більше 3. У породах із коефіцієнтом міцності $f = 3 - 5$ використовують ручні бурильні машини з примусовою (механічною) подачею.

Колонкові бурильні машини застосовують у породах із коефіцієнтом міцності $f = 3 - 10$.

Таблиця 9.4

Типи електродетонаторів та інтервали уповільнення

Електродетонатори	Інтервал уповільнення між серіями, мс	Уповільнення з максимальними відхиленнями (час спрацьовування), мс	Колір забарвлення придонної ділянки гільзи
ЕД-8е	–	Миттєве	Не фарбується
ЕД-8ж	–	Миттєве	– // –
ЕДКУ-03	–	4 ± 2	– // –
ЕДКУ-13М	15	15 ± 7	Чорний
ЕДКУ-23М	15	30 ± 7	Червоний
ЕДКУ-33М	15	45 ± 7	Не фарбується
ЕДКУ-43М	15	60 ± 7	Зелений
ЕДКУ-53М	20	80 ± 10	Жовтий
ЕДКУ-63М	20	100 ± 10	Білий
ЕДКУ-73М	20	120 ± 10	Синій
ЕДКУ-13	25	25 ± 7	Чорний
ЕДКУ-23	25	50 ± 7	Червоний
ЕДКУ-33	25	75 ± 110	Не фарбується
ЕДКУ-43	25	100 ± 10	Зелений
ЕДКУ-53	25	125 ± 10	Жовтий
ЕДУД-7	500	500 ± 50 – 150	Жовтий
ЕДУД-8	250	750 ± 125 – 150	Рожевий
ЕДУД-9	250	1000 ± 300 – 75	Помаранчевий
ЕДУД-10	500	1500 ± 350 – 150	Блакитний
ЕДУД-11	500	2000 ± 600 – 100	Світло-бузковий
ЕДУД-12	2000	4000 ± 500	Білий
ЕДУД-13	2000	6000 ± 600	Чорний
ЕДУД-14	2000	8000 ± 900	Зелений
ЕДУД-15	2000	10000 ± 1600 – 800	Фіолетовий

Примітка. Довжина ділянки гільзи, що забарвлена, в ЕДУД-13, 14, 15 дорівнює 10...15 мм, а на всіх інших електродетонаторах – 5...7 мм.

Таблиця 9.5

Рекомендовані значення ($l_{зах}$) і КВШ

Виробки	f	$l_{зах}$	КВШ
Стволи шахтні ($S = 20...50 \text{ м}^2$)	3...12	2,5...3,5	0,80...0,90
Горизонтальні та похилі виробки ($S = 4...20 \text{ м}^2$)	3...12	1,5...3,0	0,80...0,90
	6...20	1,2...2,0	0,80...0,85

Таблиця 9.6

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

ВР	Клас ВР	Бризантність ВР, мм	Працездатність, см ³	Швидкість детонації, км/с	Критичний діаметр, мм	Передача детонації, см	Об'єм газів вибуху, дм ³ /кг	Теплота вибуху, ккал/кг	Температура вибуху, С°	Щільність патронування, г/см ³	Діаметр патронів, мм	Маса патрона, г	Гарантійний термін придатності, міс
Запобіжні ВР для шахт і рудників, небезпечних за газом та (або) пилом													
Амоніт АП-5ЖВ	III	14	320	3,6 – 4,2	10 – 12	5(2)	907	787	2520	1 – 1,15	36	200; 250; 300	4
Амоніт Г5-300	IV	14 – 15	265 – 280	4,0 – 4,1	12 – 14	5(3)	710	829	2230	1,05 – 1,2	36 – 37	300	6
Амоніт П5-300	IV	13 – 15	260 – 275	4,0 – 4,1	12 – 14	5(3)	712,3	819	2240	1,05 – 1,2	36 – 37	300	6
Амоніт Ф5-300	IV	13 – 14	260 – 275	4,0 – 4,1	12 – 14	5(3)	813	717	2220	0,95 – 1,2	36 – 37	300	6
Амоніт Т-19	IV	14	270	3,6 – 4,3	10 – 12	5(2)	814	724	2230	1,1 – 1,2	36	250; 300	6
Угленіт П52	V	6 – 7,5	140 – 165	2,2 – 2,3	7 – 8	5(3)	639	658	1790	1,1 – 1,35	36 – 37	200	12
Угленіт 13П	V	7 – 9	145 – 170	2,3 – 2,5	7 – 9	5(3)	667	635	1760	1,1 – 1,35	36 – 37	200	12
Угленіт 10П	VI	6 – 7	110 – 135	1,9 – 1,98	6 – 8	4	575	599	1525	1,1 – 1,35	36 – 37	200	9
Угленіт 12ЦБ	VI	6 – 7	110 – 130	1,85 – 1,9	6 – 8	4	577	496	1620	1,25 – 1,35	36	200	6
Незапобіжні вибухові речовини													
Амоніт 6ЖВ	II	14	360	3,6 – 4,8	10 – 13	7	895	1030	2960	1,0 – 1,2	28; 32; 36	200;300	3 и 12
Амоніт скельний № 1ЖВ	II	28	450	6	5 – 6	5 – 10	830	1295	3520	1,45 – 1,5	36; 45	250;400	12
Детоніт М	II	18	460	5-5,3	8 – 10	10	832	1382	3400	1,1 – 1,3	24; 28; 32; 36	100;200; 300	8

Таблиця 9.7

НОРМАТИВНІ ЗНАЧЕННЯ ПИТОМИХ ВИТРАТ ВР ДЛЯ ПІДЗЕМНИХ ВИРОБОК

Класифікація порід за шкалою М.М. Протодьяконова		Вибухова речовина	Площа перерізу в прохідці, м ²										
			горизонтальної і похилої виробки					вертикальної виробки					
Категорія порід	Коефіцієнт міцності <i>f</i>		4...6	7...9	10...12	13...15	16...20	21...25	26...30	31...36	36...40	41...45	46...55
I	18...20	Скельний амонал пресований № 1	3,68	3,38	3,12	2,87	2,63	2,45	2,13	2,00	1,85	1,68	1,5
		Амоніт 6ЖВ	4,8	4,4	4,07	3,74	3,43	3,2	2,79	2,6	2,42	2,2	2,1
II	13...15	Скельний амонал пресований № 1	3,06	2,8	2,56	2,43	2,30	2,03	1,86	1,73	1,6	1,44	1,35
		Амоніт 6ЖВ	4,0	3,64	3,35	3,17	2,97	2,68	2,42	2,31	2,09	1,87	1,75
III...IIIa	8...10	Скельний амонал пресований № 1	2,32	2,12	1,94	1,81	1,65	1,52	1,35	1,24	1,15	1,06	1,0
		Амоніт 6ЖВ	3,01	2,75	2,56	2,37	2,16	1,98	1,76	1,62	1,5	1,4	1,3
		Амоніти ПЖВ-20, Т-19, П5-300, Г5-300	3,92	3,58	3,29	3,07	–	–	–	–	–	–	–
		Амоніт АП-5ЖВ	3,2	2,92	2,68	2,5	–	–	–	–	–	–	–
IV...IVa	5...6	Скельний амонал пресований № 1	1,04	1,33	1,22	1,14	1,03	0,93	0,86	0,78	0,73	0,68	0,65
		Амоніт 6ЖВ	1,87	1,74	1,6	1,5	1,35	1,21	1,12	1,02	0,95	0,88	0,85
		Амоніт ПЖВ-20, Т-19, П5-300, Г5-300	2,43	2,26	2,07	1,95	–	–	–	–	–	–	–
		Амоніт АП-5ЖВ	1,98	1,85	1,68	1,58	–	–	–	–	–	–	–
V...Va	3...4	Амоніт 6ЖВ	1,14	1,06	1,0	0,93	0,86	0,77	0,7	0,65	0,6	0,56	0,52
		Амоніти ПЖВ-20, Т-19, П5-300, Г5-300	1,49	1,37	1,29	1,2	–	–	–	–	–	–	–
		Амоніт АП-5ЖВ	1,36	1,25	1,18	1,1	–	–	–	–	–	–	–
VI...VIa	1,5...2	Амоніт 6ЖВ	0,7	0,64	0,6	0,55	0,51	0,46	0,42	0,37	0,35	0,38	0,35
		Амоніти ПЖВ-20, Т-19, П5-300, Г5-300	0,92	0,83	0,77	0,72	–	–	–	–	–	–	–
		Угленіт Е-6, 13П	1,6	1,44	1,58	1,25	–	–	–	–	–	–	–

Таблиця 9.8

Питомі витрати ВР при підриванні по вугіллю

Коефіцієнт міцності вугілля f	Працездат- ність ВР, см ³	Питомі витрати ВР (кг/м ³) при підриванні по вугіллю залежно від площі вибою в прохідці								
		1,5 – 1,9	2 – 2,5	2,6 – 3,5	4 – 5,5	6 – 7,5	8 – 10	10,5 – 13	15,5 – 18	16,5 – 21
2,2 – 2,5	200 – 245	1,88	1,75	1,62	1,5	1,44	1,37	1,3	1,25	1,2
	250 – 295	1,5	1,4	1,3	1,2	1,15	1,1	1,05	1	0,95
	300 – 345	1,28	1,2	1,1	1,02	1	0,93	0,9	0,85	0,81
	350 – 395	1,12	1,05	0,98	0,9	0,86	0,82	0,8	0,75	0,71
1,8 – 2,1	150 – 195	2,2	2,06	1,95	1,87	1,76	1,65	1,55	1,5	1,4
	200 – 245	1,75	1,62	1,5	1,36	1,3	1,25	1,2	1,12	1,06
	250 – 295	1,4	1,3	1,2	1,1	1,05	1	0,95	0,9	0,85
	300 – 345	1,2	1,1	1,02	0,94	0,88	0,85	0,81	0,76	0,72
1,4 – 1,7	150 – 195	2	1,87	1,78	1,7	1,6	1,5	1,4	1,36	1,25
	200 – 245	1,62	1,5	1,36	1,3	1,25	1,2	1,12	1,06	1
	250 – 295	1,3	1,2	1,1	1,05	1	0,95	0,9	0,85	0,8
	300 – 345	1,1	1,02	0,94	0,88	0,85	0,81	0,76	0,72	0,68
1 – 1,3	150 – 195	1,85	1,7	1,62	1,5	1,46	1,35	1,26	1,24	1,1
	200 – 245	1,5	1,36	1,3	1,25	1,2	1,12	1,06	1	0,94
	250 – 295	1,2	1,1	1,05	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75
0,6 – 0,9	150 – 195	1,62	1,55	1,35	1,24	1,16	1,08	1	0,93	0,85
	200 – 245	1,3	1,25	1,12	1	0,94	0,88	0,82	0,76	0,68
	250 – 295	1,05	1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55

Таблиця 9.9

Питомі витрати ВР при підриванні по породі

Коефіцієнт міцності порід f	Питомі витрати ВР (кг/м ³) при підриванні по породі залежно від площі вибою виробки в прохідці									
	1,5 – 1,9	2 – 2,4	2,4 – 2,9	3 – 3,9	4 – 5,5	6 – 8	8,5 – 11	11,5 – 13	13,5 – 16	16,5 – 21
1 – 2	3–2,6	2,5–2,3	2,2–2	1,9–1,8	1,7–1,6	1,55–1,45	1,4–1,3	1,25–1,15	1,1–1	0,95–0,85
3 – 4	3,3–3	2,8–2,5	2,4–2,2	2,1–2	1,9–1,8	1,7–1,65	1,6–1,5	1,45–1,35	1,3–1,2	1,15–1,05
5 – 6	3,6–3,3	3,1–2,8	2,7–2,5	2,4–2,3	2,2–2,1	2–1,9	1,8–1,7	1,65–1,55	1,5–1,4	1,35–1,25
7 – 8	3,9–3,6	3,3–3,1	3–2,8	2,7–2,5	2,4–2,3	2,2–2,1	2–1,9	1,85–1,75	1,7–1,6	1,55–1,45
9 – 10	4,3–3,9	3,8–3,4	3,3–3,1	3–2,8	2,7–2,6	2,5–2,4	2,3–2,2	2,1–2	1,9–1,8	1,7–1,6
11 – 12	4,7–4,3	4,2–3,8	3,7–3,5	3,4–3,2	3,1–3	2,9–2,8	2,7–2,6	2,5–2,4	2,3–2,2	2,1–2
13 – 15	5,1–4,7	4,6–4,2	4,1–3,9	3,8–3,6	3,5–3,4	3,3–3,2	3,1–3	2,9–2,8	2,7–2,6	2,5–2,4
16 – 18	5,5–5,1	5–4,6	4,5–4,3	4,2–4	3,9–3,8	3,7–3,6	3,5–3,4	3,3–3,2	3,1–3	2,9–2,8

Таблиця 9.10

Питомі витрати ВР при наявності двох відкритих поверхонь

Коефіцієнт міцності порід f	Питомі витрати ВР (кг/м ³) при наявності двох відкритих поверхонь залежно від працездатності ВР, см ³				
	150 – 195	200 – 245	250 – 295	300 – 375	350 – 400
1 – 1,5	0,75 – 0,7	0,65 – 0,6	0,55 – 0,5	0,45 – 0,4	0,4 – 0,35
2 – 3,5	0,8 – 0,75	0,7 – 0,65	0,6 – 0,55	0,5 – 0,45	0,45 – 0,4
4 – 5	0,85 – 0,8	0,75 – 0,7	0,65 – 0,6	0,55 – 0,5	0,5 – 0,45
6 – 7	0,9 – 0,85	0,8 – 0,75	0,7 – 0,65	0,6 – 0,55	0,55 – 0,5
8 – 9	0,95 – 0,9	0,85 – 0,8	0,75 – 0,7	0,65 – 0,6	0,6 – 0,55
10 – 12	1 – 0,95	0,9 – 0,85	0,8 – 0,75	0,7 – 0,65	0,65 – 0,6

Проводи для електричної мережі

Марка проводу	Ізоляція	Кількість жил	Кількість дротів у жилі	Переріз жили, мм ²	Опір 1 км проводу при температурі +20 °С, Ом	Маса 1 км проводу, кг
ЕР	Гумова	1	1	0,2	100	6,6
ЕВ	Поліхлорвінілова	1	1	0,2	100	6,5
ВМВ	Поліхлорвінілова	1	1	0,75	25	10,63
ВП-1	Гумова у бавовняній обмотці	1	7	0,75	25	30
ВП-2	Гумова	2	7	0,75	25	60

Проводи ПР і ПВ – мідні одно- й багатодротові в гумовій і поліхлорвініловій ізоляції з перерізом жили 0,75...7,0 мм². Проводи АПР і АПВ – одножильні алюмінієві в гумовій (Р), поліхлорвініловій (В) ізоляції перерізом 3,75...10,5 мм², що відповідає перерізу мідних проводів 2,5...7,0 мм².

Для з'єднання елементів мережі з напругою до 1000 В застосовують проводи ЕР і ЕВ, при більш високій напрузі – проводи ВП-1, ВП-2, АПР і АПВ.

Під час вибору проводів для монтажу мережі треба враховувати їх опір і міцність. Недоцільно монтувати мережу з проводу перерізом менше 0,2 мм². Для магістральних проводів переріз повинен бути не менше за 0,75 мм².

Таблиця 9.12

**Технічна характеристика
конденсаторних вибухових машинок**

Тип машинки	Виконання	Напруга на конденсаторі-накопичувачі, В	Ємність конденсатора-накопичувача	Максимальний опір послідовної вибухової мережі при застосуванні ЕД типу ЕД-8Ж, Ом	Число послідовно з'єднаних ЕД-8Е, ЕД-8Ж та ін.	Тривалість підключення конденсатора до мережі, мс	Первинне джерело струму	Основні розміри машинки, мм	Маса машинки, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Індукторні вибухові машинки									
КПМ-3	Нормальне	1600	2	600	200	Не обмежується	Індуктор	172×76×120	2,3
ВМК-500	Те ж	3000	3,3	2100	800	Те ж	Те ж	280×165×165	11,0
Батарейні вибухові машинки									
КПВ-1/100М	РВ	600	10	320	100	2 – 4	Три сухих елементи	152×122×100	2,0
ПІВ-100М	РВ	600	10	320	100	2 – 4	Те ж	195×126×95	2,7

10. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ПАСПОРТА БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ

Вихідні дані

Площа виробки в прохідці (в світлі) – 12,9 (10,3) м².

Ширина виробки в прохідці – 4,4 м.

Довжина виробки – 700 м.

Коефіцієнт міцності:

покрівля – 7 (сланцеве залягання),

вугілля – 2,

підшва – 5 (сланцеве залягання).

Потужність пласту m – 1 м.

Кут падіння пласту – 10°.

Глибина західки $l_{зах}$ – 1,7 м.

Категорія шахти за газом – II.

Небезпечна за вибуховом вугільного пилу.

Визначення площі перерізу виробки

Враховуючи потужність вугільного пласта, використовуємо роздільне ви-
ймання вугілля та породи.

Розрахунки проводять за схемою, що наведена на рис. 10.1.

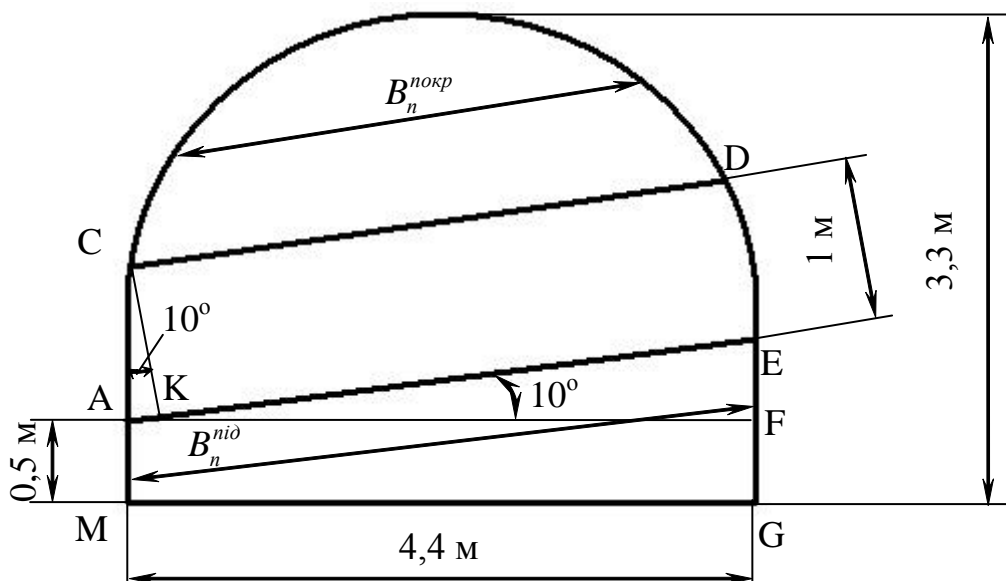


Рис. 10.1. Схема до розрахунку площі перерізу виробки по вугіллю,
покрівлі та підшві

$$CK = \cos\alpha \cdot AC;$$

$$AC = CK/\cos\alpha = 1/\cos 10^\circ = 1/0,985 = 1,02 \text{ м};$$

$$AK = \sin\alpha \cdot AC = \sin 10^\circ \cdot 1,02 = 0,17 \text{ м};$$

$$AE = AF/\cos\alpha = 4,4/\cos 10^\circ = 4,49 \text{ м};$$

$$EF = \sin\alpha \cdot AE = \sin 10^\circ \cdot 4,49 = 0,78 \text{ м};$$

$$CD = AE - AK = 4,49 - 0,17 = 4,32 \text{ м};$$

$$S_{\Delta AEF} = (AF \cdot EF)/2 = (4,4 \cdot 0,78)/2 = 1,7 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{вуг}} = [(CD + AE)/2]m = [(4,32 + 4,49)/2] \cdot 1 = 4,4 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{під}} = AM \cdot MG + S_{\Delta AEF} + S_{\text{кан}} = 0,5 \cdot 4,4 + 1,7 + 0,1 = 4,0 \text{ м}^2;$$

де $S_{\text{кан}}$ – площа канавки, $0,1 \text{ м}^2$;

$$S_{\text{покр}} = S_{\text{вир}} - (S_{\text{вуг}} + S_{\text{під}}) = 12,9 - (4,4 + 4,0) = 4,5 \text{ м}^2.$$

1. Вибір методу підривних робіт

Вибираємо шпуровий метод підривних робіт.

1.1. Вибір типу бурильної машини або бурильної установки

Буріння шпурів виконуємо ручним перфоратором ПР-25 з пневнопідтримкою, що має таку технічну характеристику:

- робота удару – 50 Дж;
- кількість ударів за хвилину – 2300 – 2600;
- обертальний момент – 18 Н·м;
- витрати повітря – 3,5 м³/хв;
- робочий тиск повітря – $5 \cdot 10^5$ Па;
- довжина – 632 мм;
- маса – 32 кг;
- глибина шпурів – до 4 м;
- граничне значення діаметра коронки – 46 мм;
- для порід із коефіцієнтом міцності – до 14.

1.2. Вибір відповідного бурильного інструменту. Технічна характеристика

Бурові штанги під знімальні бурові коронки виготовляють із сталі 55С2 або 95ХМА. Шпури довжиною до 1 м бурять одним буром. Для буріння шпурів використовують коронки хрестові діаметром 40 мм; леза коронок армовані пластинами з металокерамічних вольфрамокобальтових твердих сплавів ВК-8В.

2. Вибір способу підривання зарядів

Вибираємо електричний спосіб підривання зарядів.

2.1. Підбір засобів ініціювання зарядів ВР, їх типу, марки

Для ініціювання зарядів ВР відповідно до вибраного способу використовуємо електродетонатори типу ЕДКУ: 5 серій уповільнення (4, 15, 30, 45 та 60 мс).

2.2. Вибір типу ВР

Використовуємо амоніт Т-19, що характеризується такими технічними параметрами:

- клас – IV;
- працездатність – 270 см²;
- бризантність – 14 мм;
- швидкість детонації – 3,6 – 4,3 км/с;
- об'єм газів вибуху – 814 дм²/кг;
- температура вибуху – 2230 °С;
- щільність патронування – 1,2 г/см³;
- передача детонації – 5 см;
- діаметр патрона – 36 мм;
- маса патрона – 300 г.

3. Визначення розрахункових витрат ВР на вибій виробки

$$Q_{розр} = qV, \text{ кг},$$

де q – питомі витрати ВР, кг/м³; V – об'єм породи, що підривається, м³.

3.1. Визначення об'єму породи і вугілля, що підривається,

$$V = Sl_{ш}, \text{ м}^3,$$

де S – площа перерізу виробки, м²; $l_{ш}$ – глибина шпуру, м.

3.2. Визначення глибини шпурів

$$l_{ш} = \frac{l_{зак}}{\eta}, \text{ м},$$

де η – коефіцієнт використання шпурів (КВШ), задаємо: для вугілля $\eta = 0,8$, для породи $\eta = 0,9$.

$$l_{ш}^{пор} = \frac{1,7}{0,9} = 1,9 \text{ м};$$

$$l_{ш}^{вуг} = \frac{1,7}{0,8} = 2,1 \text{ м}.$$

3.3. Визначення питомої витрати ВР

А. За формулою М.М. Протодьяконова – П.Я. Таранова

$$\text{– для однієї відкритої поверхні } q = 0,4 \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{\sqrt{S_{\text{вгз}}}} \right)^2 e^{-1} k, \text{ кг/м}^3,$$

$$\text{– для двох відкритих поверхонь } q_n = 0,15 \sqrt{f} \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{B_n^i} \right) e^{-1} k, \text{ кг/м}^3,$$

де f – коефіцієнт міцності породи (вугілля);

$e^{-1} = 525/P_{\text{ВР}}$ – коефіцієнт, що враховує працездатність ВР;

$P_{\text{ВР}}$ – працездатність ВР, заданої для проведення підричних робіт, см³;

525 см³ – працездатність 93%-ного динаміту, використаного за еталонну ВР;

k – коефіцієнт збільшення витрати ВР для додаткового дроблення породи, $k = 1,2$;

B_n^i – ширина породного підричання, м, з рис. 10.1 $B_n^{\text{нокр}} = 3,16$ м, $B_n^{\text{нід}} = 4,47$ м.

$$q^{\text{нокр}} = 0,15 \sqrt{7} \left(\sqrt{0,2 \cdot 7} + \frac{1}{3,16} \right) \frac{525}{270} 1,2 = 1,39, \text{ кг/м}^3;$$

$$q^{\text{вгз}} = 0,4 \left(\sqrt{0,2 \cdot 2} + \frac{1}{\sqrt{4,4}} \right)^2 \frac{525}{270} 1,2 = 1,15 \text{ кг/м}^3;$$

$$q^{\text{нід}} = 0,15 \sqrt{5} \left(\sqrt{0,2 \cdot 5} + \frac{1}{4,47} \right) \frac{525}{270} 1,2 = 0,96 \text{ кг/м}^3.$$

Б. За формулою Н.М. Покровського

$$q = q_1 k_3 F e, \text{ кг/м}^3,$$

де q_1 – питома витрата ВР при нормальному заряді викиду, $q_1 = 0,1f$;
 f – коефіцієнт міцності породи (вугілля); F – коефіцієнт, що враховує текстуру породи, задаємо $F_{\text{нокр}} = 1,3$ для порід покрівлі, $F_{\text{нід}} = 1,3$ для порід підошви і $F_{\text{вгз}} = 1,1$ для вугілля; k_3 – коефіцієнт затиску порід, задаємо: $k_{3,\text{нід}} = 1,5$ – для підошви, $k_{3,\text{нокр}} = 1,2$ – для покрівлі, $k_{3,\text{вгз}} = 6,5/\sqrt{S_{\text{вгз}}}$ – для вугілля; e – коефіцієнт, що

враховує працездатність ВР,
$$e = \frac{P_{em}}{P_x},$$

де P_{em} – працездатність 62%-го динаміту, $P_{em} = 380$ см³; P_x – працездатність заданої ВР, см³.

$$q_1^{\text{нокр}} = 0,1 \cdot 7 = 0,7;$$

$$q_1^{гыз} = 0,1 \cdot 2 = 0,2;$$

$$q_1^{нид} = 0,1 \cdot 5 = 0,5;$$

$$k_{з.гыз} = 6,5 / \sqrt{4,4} = 3,1;$$

$$e = \frac{380}{270} = 1,41;$$

$$q^{нокр} = 0,7 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,41 = 1,54 \text{ кг/м}^3;$$

$$q^{гыз} = 0,2 \cdot 3,1 \cdot 1,1 \cdot 1,41 = 0,96 \text{ кг/м}^3;$$

$$q^{нид} = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 1,3 \cdot 1,41 = 1,37 \text{ кг/м}^3.$$

Для подальших розрахунків використовуємо $q^{нокр} = 1,39 \text{ кг/м}^3$, $q^{гыз} = 1,15 \text{ кг/м}^3$, $q^{нид} = 0,96 \text{ кг/м}^3$, оскільки вони найближчі до нормативних значень $q^{нокр} = 0,68 \text{ кг/м}^3$ (табл. 9.10), $q^{гыз} = 1,1 \text{ кг/м}^3$ (табл. 9.8), $q^{нид} = 0,63 \text{ кг/м}^3$ (табл. 9.10).

Отже,

$$V_{нокр} = 4,5 \cdot 1,9 = 8,55 \text{ м}^3;$$

$$V_{гыз} = 4,4 \cdot 2,1 = 9,24 \text{ м}^3;$$

$$V_{нид} = 4,0 \cdot 1,9 = 7,6 \text{ м}^3.$$

$$Q_{розр}^{нокр} = 1,39 \cdot 8,55 = 11,88 \text{ кг};$$

$$Q_{розр}^{гыз} = 1,15 \cdot 9,24 = 10,63 \text{ кг};$$

$$Q_{розр}^{нид} = 0,96 \cdot 7,6 = 7,3 \text{ кг}.$$

4. Визначення кількості шпурів на вибій виробки

$$N_{ш} = \frac{1,27 q S}{\Delta_n d_n^2 k_{зан}}, \text{ шт.},$$

де Δ_n – щільність патронування прийнятої ВР, кг/м^3 ; d_n – діаметр патрона ВР, м; $k_{зан}$ – коефіцієнт заповнення шпурів ВР.

При розрахунках значення $k_{зан}$ приймаємо: 0,3 для вугілля, 0,45 для покрівлі та 0,4 для підосви.

$$N^{нокр} = \frac{1,27 \cdot 1,39 \cdot 4,5}{0,036^2 \cdot 1200 \cdot 0,45} = 12 \text{ шт.};$$

$$N^{гыз} = \frac{1,27 \cdot 1,15 \cdot 4,4}{0,036^2 \cdot 1200 \cdot 0,3} = 14 \text{ шт.};$$

$$N^{нид} = \frac{1,27 \cdot 0,96 \cdot 4,0}{0,036^2 \cdot 1200 \cdot 0,4} = 8 \text{ шт.};$$

$$N_{ш} = 12 + 14 + 8 = 34 \text{ шт.}$$

5. Вибір типу врубу й схеми розміщення шпурів

Тип врубу вибираємо відповідно до міцності породи, її текстури, розмірів і конфігурації вибою й величини західки. Використовуємо пірамідальний вруб. Шпури розташовуємо з урахуванням рівномірного наповнення масиву порід енергією вибуху (рис. 10.2).

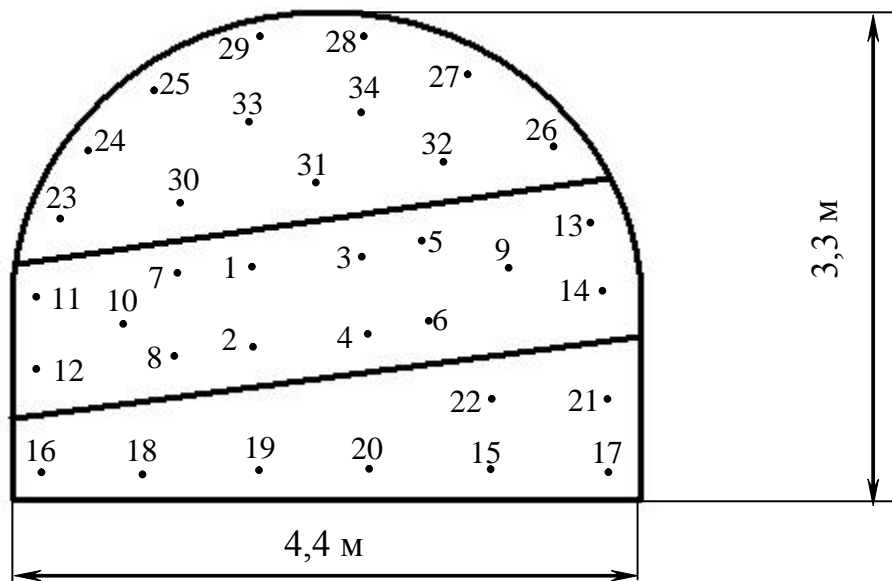


Рис. 10.2. Схема розташування шпурів

6. Визначення середньої маси шпурового заряду

$$q_{ш} = \frac{Q_{розр}}{N_{ш}}, \text{ кг},$$

де $Q_{розр}$ – розрахункові витрати ВР на вибій виробки, кг; $N_{ш}$ – кількість шпурів на вибій виробки, шт.

$$q_{ш.покр} = \frac{11,88}{12} = 0,99 \text{ кг};$$

$$q_{ш.вуг} = \frac{10,63}{14} = 0,76 \text{ кг};$$

$$q_{ш.нид} = \frac{7,3}{8} = 0,91 \text{ кг}.$$

Отриману середню масу шпурового заряду ВР для врубових шпурів збільшуємо на 20 %, для оконтурювальних – на 15 % зменшуємо, для відбійних залишаємо незмінною.

7. Визначення кількості патронів ВР у шпурі

$$n_n = \frac{q_{ш}}{m_n}, \text{ шт.},$$

де m_n – маса одного патрона ВР, кг.

$$n_{\text{покр.ок}} = \frac{0,99 \cdot 0,85}{0,3} = 2,81 = 3 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{покр.від}} = \frac{0,99}{0,3} = 3,3 = 4 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{вуг.вр}} = \frac{0,76 \cdot 1,2}{0,3} = 3,04 = 3 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{вуг.ок}} = \frac{0,76 \cdot 0,85}{0,3} = 2,15 = 2 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{вуг.від}} = \frac{0,76}{0,3} = 2,53 = 3 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{нід.ок}} = \frac{0,91 \cdot 0,85}{0,3} = 2,58 = 3 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{нід.від}} = \frac{0,91}{0,3} = 3,03 = 3 \text{ шт.}$$

8. Визначення довжини забійки

$$l_{\text{заб}} = l_{ш} - l_{\text{зар}} = l_{ш} - l_n n_n, \text{ м},$$

де $l_{ш}$ – довжина шпуру, м; l_n – довжина патрона, м; n_n – кількість патронів, що формує заряд шпуру, шт.

$$l_{\text{заб.ок}}^{\text{покр}} = 1,9 - 0,25 \cdot 3 = 1,15 \text{ м} > 0,5 \text{ м};$$

$$l_{\text{заб.від}}^{\text{покр}} = 1,9 - 0,25 \cdot 4 = 0,9 \text{ м} > 0,5 \text{ м};$$

$$l_{\text{заб.вр}}^{\text{вуг}} = 2,1 - 0,25 \cdot 3 = 1,35 \text{ м} > 0,5 \text{ м};$$

$$l_{\text{заб.ок}}^{\text{вуг}} = 2,1 - 0,25 \cdot 2 = 1,6 \text{ м} > 0,5 \text{ м};$$

$$l_{\text{заб.від}}^{\text{вуг}} = 2,1 - 0,25 \cdot 3 = 1,35 \text{ м} > 0,5 \text{ м};$$

$$l_{\text{заб.ок}}^{\text{нід}} = 1,9 - 0,25 \cdot 3 = 1,15 \text{ м} > 0,5 \text{ м};$$

$$l_{\text{заб.від}}^{\text{нід}} = 1,9 - 0,25 \cdot 3 = 1,15 \text{ м} > 0,5 \text{ м}.$$

Визначаємо довжину патрона

$$l_n = \frac{4m_n}{d_n^2 \Delta_n \pi}, \text{ м};$$

$$l_n = \frac{4 \cdot 0,3}{0,036^2 \cdot 1200 \cdot 3,14} = 0,25 \text{ м.}$$

Для гарантування безпеки підричних робіт у приви́бійному просторі виробок перед підриванням шпурових зарядів створюємо запобіжне середовище – водорозтилювальну завісу (рис. 10.3): поліетиленову посудину з водою місткістю 20 л підвішуємо до кріплення, а дві поліетиленові посудини з водою місткістю 20 л укладаємо на підшву виробки.

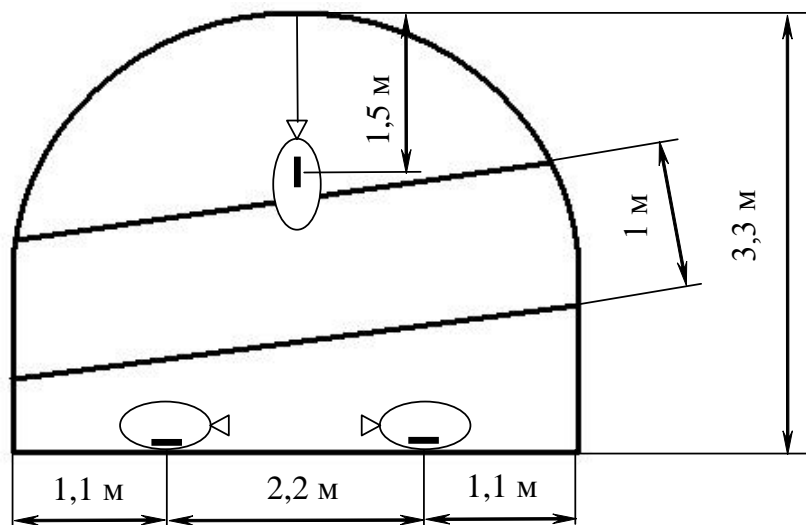


Рис. 10.3. Схема розташування поліетиленових посудин в приви́бійному просторі

Для підривання поліетиленових посудин використовуємо уґленіт 13П (три патрони масою 200 г) та ЕДКУ-03 (4) – 3 шт. Оскільки виконується роздільне виймання вугілля та породи, то для підривання поліетиленових посудин потрібно $Q_{зан} = 1,2$ кг уґленіту 13П та $N_{зан} = 6$ шт. ЕДКУ-03.

Як забивочний матеріал використовуємо глинисто-піщану суміш та одну ампулу гідрозабійки ($l_{гідрозаб} = 350$ мм) в кожен шпур.

Група вибою та виробки – II. Виробки, що провітрюються свіжим струменем повітря за рахунок загальношахтної депресії (окрім виробок, що проводяться по пластах, небезпечних за суфлярними виділеннями метану, та ділянок виробок, небезпечних за шаровими скупченнями метану), вибої очисних (у тому числі бутові штреки та ніші лав, окрім ніш, віднесених до IV групи) та тупикових виробок під час виділення у виробках метану (окрім віднесених до IV

групи) або тих, що проводяться по пластах, небезпечних за вибухами пилю, якщо вихідний струмінь повітря із цих виробок та вибоїв не надходить до інших діючих виробок, де працюють люди.

Режими підричних робіт. Підричні роботи дозволяється проводити у будь-який час зміни, за умови відсутності людей у небезпечній зоні вибуху та у виробках, якими рухаються продукти вибуху до місця злиття з вихідним струменем з іншої ділянки (іншого крила).

9. Уточнення кількості ВР на вибір виробки

$$Q_{\phi} = Q_{\phi}^{нокр} + Q_{\phi}^{вз} + Q_{\phi}^{нід}, \text{ кг},$$

$$Q_{\phi}^{нокр} = N_{від}^{нокр} n_{від}^{нокр} m_n + N_{ок}^{нокр} n_{ок}^{нокр} m_n, \text{ кг},$$

$$Q_{\phi}^{вз} = N_{вр}^{вз} n_{вр}^{вз} m_n + N_{від}^{вз} n_{від}^{вз} m_n + N_{ок}^{вз} n_{ок}^{вз} m_n, \text{ кг},$$

$$Q_{\phi}^{нід} = N_{від}^{нід} n_{від}^{нід} m_n + N_{ок}^{нід} n_{ок}^{нід} m_n, \text{ кг},$$

де $N_{вр}$, $N_{від}$, $N_{ок}$ – відповідно кількість врубових, відбійних та оконтурювальних шпурів, шт.; $n_{вр}$, $n_{від}$, $n_{ок}$ – відповідно кількість патронів ВР у врубових, відбійних та оконтурювальних шпурах, шт.

$$Q_{\phi}^{нокр} = (5 \cdot 4 + 7 \cdot 3) \cdot 0,3 = 12,3 \text{ кг};$$

$$Q_{\phi}^{вз} = (4 \cdot 3 + 6 \cdot 3 + 4 \cdot 2) \cdot 0,3 = 11,4 \text{ кг};$$

$$Q_{\phi}^{нід} = (1 \cdot 3 + 7 \cdot 3) \cdot 0,3 = 7,2 \text{ кг};$$

$$Q_{\phi} = 12,3 + 11,4 + 7,2 = 30,9 \text{ кг}.$$

10. Визначення витрат засобів ініціювання

$$N_{ЕД} = N_{ш} + N_{зан}, \text{ шт.}$$

де $N_{зан}$ – кількість ЕД для підривання запобіжного середовища, шт.

$$N_{ЕД} = 34 + 6 = 40 \text{ шт.}$$

11. Вибір схеми з'єднання електродетонаторів, типу проводів, контрольно-вимірювальних приладів та джерела струму

Приймаємо послідовне з'єднання електродетонаторів. Тип сполучних проводів ЕР (опір 1 м проводу – 0,1 Ом, довжина $l_c = 20$ м), тип магістральних проводів ВМВ (опір 1 м проводу – 0,025 Ом, довжина $L = 700$ м).

Приймаємо конденсаторну вибухову машинку ПІВ-100М (напруга на конденсаторі-накопичувачі – 600 В, максимальний опір – 320 Ом).

12. Розрахунок електропідривної мережі

При послідовному з'єднанні електродетонаторів (рис. 10.4) загальний опір підривної мережі визначаємо за формулою:

$$R_0 = rN_{ED} + r_C + R_M, \text{ Ом},$$

де r – опір електродетонатора, $r = 3$ Ом; N_{ED} – кількість електродетонаторів у мережі, шт.; r_C і R_M – опір сполучних і магістральних проводів, Ом.

Опір сполучних і магістральних проводів складає:

$$r_C = \rho_C^1 l_C = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ Ом};$$

$$R_M = \rho_M^1 L = 0,025 \cdot 700 = 17,5 \text{ Ом},$$

де ρ_i^1 – опір 1 м проводу, Ом.

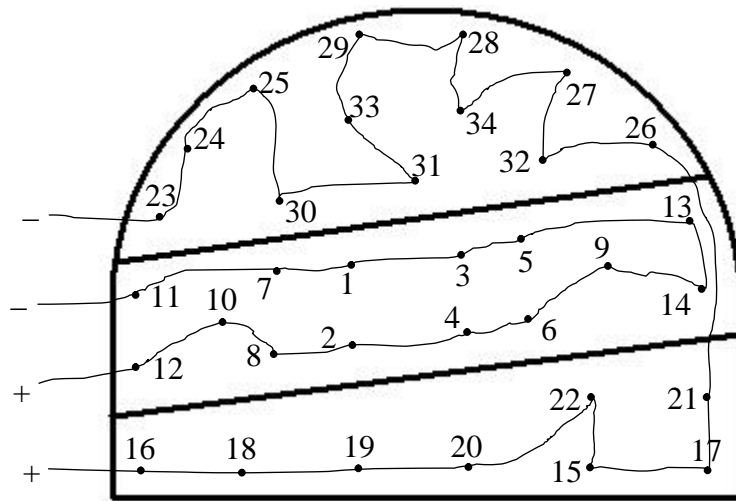


Рис. 10.4. Схема послідовного з'єднання електродетонаторів

Опір підривної мережі визначаємо для випадку, коли підривається порідний вибій

$$R_0 = rN^{nop} + rN_{зан}^{nop} + r_C + R_M, \text{ Ом},$$

де N^{nop} – кількість ЕД у мережі для підривання породного вибою, $N^{nop} = 20$ шт.; $N_{зан}^{nop}$ – кількість ЕД для підривання запобіжного середовища при підриванні породного вибою, $N_{зан}^{nop} = 3$ шт.

$$R_0 = 3 \cdot 20 + 3 \cdot 3 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 17,5 = 108 \text{ Ом} \text{ – менш ніж } 320 \text{ Ом}.$$

Визначаємо силу струму в мережі за формулою

$$I = U/R_0, \text{ А},$$

де U – напруга на клеммах джерела струму, В.

$$I = 600/108 = 5,6 \text{ А} \text{ – більше ніж } 1 \text{ А}.$$

13. Визначення кількості ВР, ЕД, шпурометрів та забивочного матеріалу на 1 погонний метр виробки

– ВР
$$Q_{п.м} = \frac{Q_{\phi} + Q_{зан}}{l_{зах}} \text{ кг,}$$

$$Q_{п.м} = \frac{30,9 + 1,2}{1,7} = 18,88 \text{ кг;}$$

– ЕД
$$N_{ЕД.п.м} = \frac{N_{ЕД}}{l_{зах}}, \text{ шт.,}$$

$$N_{ЕД.п.м} = \frac{34 + 6}{1,7} = 23,53 \text{ шт.;}$$

– шпурометрів
$$l_{ш.п.м} = \frac{(N_{покр} l_{покр} + N_{\text{вуг}} l_{\text{вуг}} + N_{\text{нід}} l_{\text{нід}})}{l_{зах}}, \text{ м,}$$

$$l_{ш.п.м} = \frac{(12 \cdot 1,9 + 14 \cdot 2,1 + 8 \cdot 1,9)}{1,7} = 39,65 \text{ м;}$$

– кількість шпурометрів, що заповнена піщано-глинистим забивочним матеріалом без урахування гідрозабійки

$$L_{заб} = l_{заб}^{ок} N_{покр}^{ок} + l_{заб}^{від} N_{покр}^{від} + l_{заб}^{сп} N_{\text{вуг}}^{сп} + l_{заб}^{ок} N_{\text{вуг}}^{ок} + l_{заб}^{від} N_{\text{вуг}}^{від} + l_{заб}^{ок} N_{\text{нід}}^{ок} + l_{заб}^{від} N_{\text{нід}}^{від} - l_{гідрозаб} N_{ш}, \text{ м.}$$

$$L_{заб} = (1,15 \cdot 7 + 0,9 \cdot 5 + 1,35 \cdot 4 + 1,6 \cdot 4 + 1,35 \cdot 6 + 1,15 \cdot 7 + 1,15 \cdot 1) - 34 \cdot 0,35 = 29,75 \text{ м.}$$

Масу забивочного матеріалу визначаємо за формулою

$$M = \frac{\pi d_{ш}^2 L_{заб} \rho_{заб}}{4}, \text{ кг,}$$

де $\rho_{заб}$ – щільність забивочного матеріалу, кг/м³; $d_{ш}$ – діаметр шпуру, м.

$$M = \frac{3,14 \cdot 0,04^2 \cdot 29,75 \cdot 1800}{4} = 67,26 \text{ кг;}$$

– на 1 п. м
$$M_{п.м} = \frac{M}{l_{зах}}, \text{ кг,}$$

$$M_{п.м} = \frac{67,26}{1,7} = 39,56 \text{ кг.}$$

14. Заходи з техніки безпеки

Заходи з ТБ зазначаються в кожному окремому випадку з урахуванням особливостей вибуху та вибою. Вони наведені в [2].

15. Графічна частина

Таблиця 10.1

Таблиця основних показників БПР

№ п/п	Показник	Одиниця вимірювання	Кількість
1	Небезпека шахти за вибухом: – газу – пилу	– –	II Небезпечна
2	Площа перерізу виробки	м ²	12,9
3	Коефіцієнт міцності за шкалою М.М. Протодьяконова: – вугілля – покрівля – підшва	– – –	2 7 5
4	Тип ВР	–	Амоніт Т-19 Угленіт 13П
5	Витрата ВР: – амоніту Т-19 – угленіту 13П	кг кг	30,9 1,2
6	Витрата ВР на 1 п. м	кг	18,88
7	Тип ЕД	–	ЕДКУ
8	Витрата ЕД	шт.	40
9	Витрата ЕД на 1 п. м	шт.	23,53
10	Тип забійки	–	Глинисто-піщана, гідрозабійка
11	Витрата забивочного матеріалу	кг/шт.	67,26/34
12	Витрата забивочного матеріалу на 1 п. м	кг/шт.	39,56/20,0
13	Просування вибою за вибух	м	1,7

Таблиця 10.2

Таблиця даних про шпури і шпурові заряди

Номери шпурів, які підбивають за один прийом	Глибина кожного шпуру, м	Кут нахилу, град		Величина заряду, кг		Фактичний коефіцієнт заповнення шпурів	Тип електродетонаторів (час уповільнення)	Прийом підбивання
		до вертикалі	до горизонталі	кожного шпуру	групи шпурів			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1–4	2,1	85	85	0,9	3,6	0,36	ЕДКУ-03 (4)	I
5–10	2,1	90	90	0,9	5,4	0,36	ЕДКУ-13М (15)	I
11–14	2,1	90	80	0,6	2,4	0,24	ЕДКУ-23М (30)	I
22	1,9	90	90	0,9	0,9	0,39	ЕДКУ-13М (15)	II
21	1,9	90	80	0,9	0,9	0,39	ЕДКУ-23М (30)	II
18–20	1,9	80	90	0,9	2,7	0,39	ЕДКУ-23М (30)	II
16, 17	1,9	80	80	0,9	1,8	0,39	ЕДКУ-33М (45)	II
15	1,9	75	90	0,9	0,9	0,39	ЕДКУ-33М (45)	II
30–32	1,9	90	90	1,2	3,6	0,53	ЕДКУ-23М (30)	II
33, 34	1,9	90	90	1,2	2,4	0,53	ЕДКУ-33М (45)	II
23	1,9	90	80	0,9	0,9	0,39	ЕДКУ-43М (60)	II
24–27	1,9	80	80	0,9	3,6	0,39	ЕДКУ-43М (60)	II
28, 29	1,9	80	90	0,9	1,8	0,39	ЕДКУ-43М (60)	II

$\Sigma Q=30,9$

Параметри запобіжного середовища

Витрати води в вибою		Кількість місткостей, шт.		Потреба і тип вибухових матеріалів для розпилення води					Прийоми підривання
загальні, л	питомі, л/м ²	20 – 25 л	30 – 50 л	Тип ВМ		Витрати ВМ			
				ВР	ЕД	ВР, кг		ЕД, шт.	
						на одну місткість	усього		
60	5,83	3	–	Угленіт 13П	ЕДКУ-03	0,2	0,6	3	I
60	5,83	3	–	Угленіт 13П	ЕДКУ-03	0,2	0,6	3	II

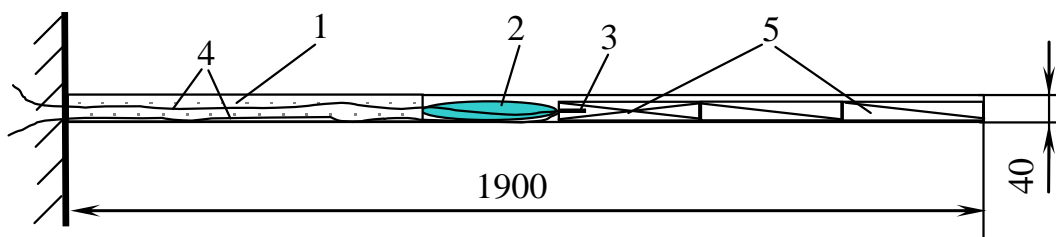


Рис. 10.5. Колонкова конструкція шпурового заряду ВР № 21:

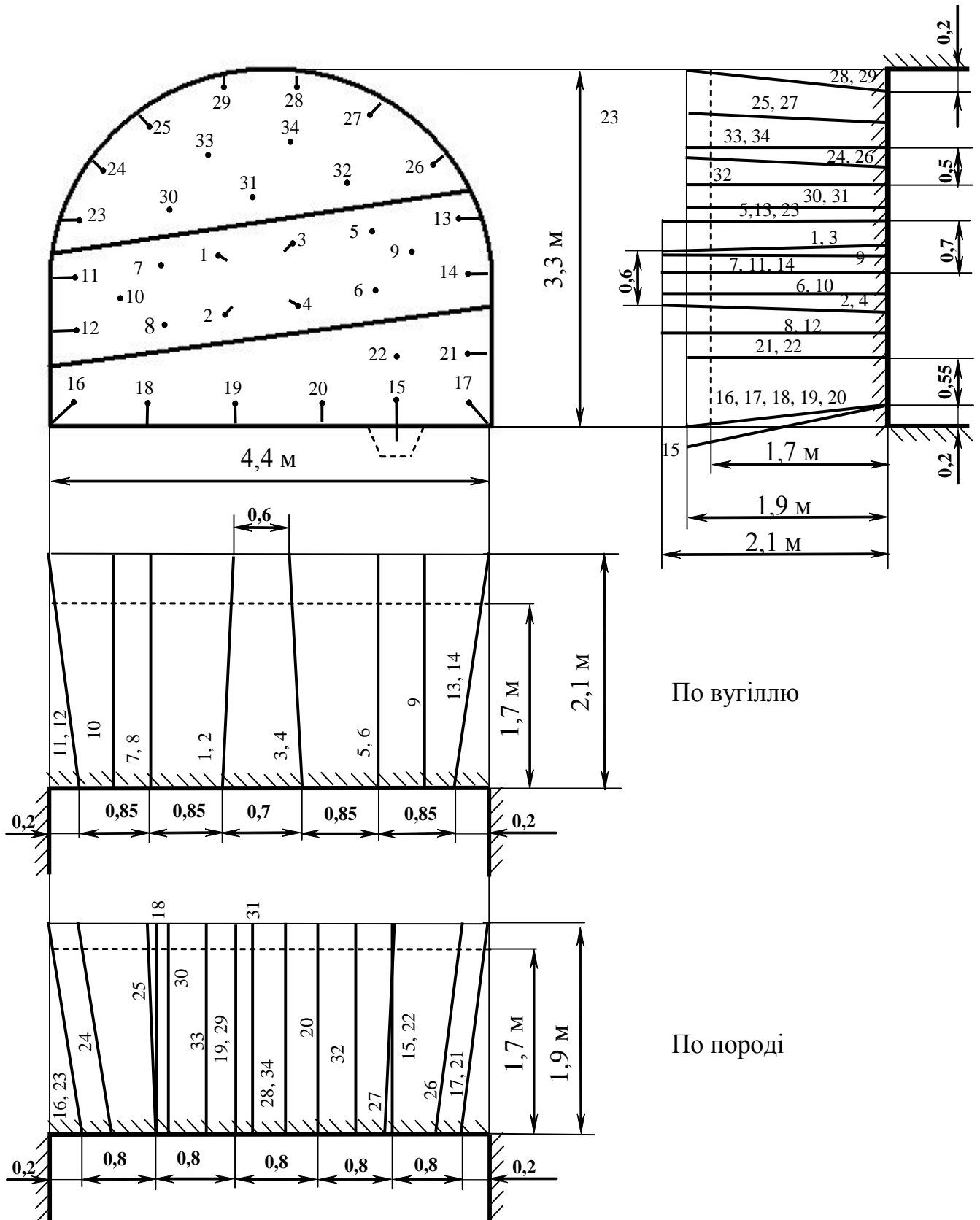
1 – глинисто-піщана забійка шпура; 2 – ампула гідрозабійки;

3 – електродетонатор; 4 – електродетонаторні проводи;

5 – вибухова речовина

ЗРАЗОК ВИКОНАННЯ ПАСПОРТУ БПР

М 1:50



11. СПЕЦІАЛЬНІ ПІДРИВНІ РОБОТИ

Цим розділом закінчується вивчення технологій, пов'язаних з підривними роботами, що не належать до аналогічних робіт у гірничодобувній промисловості.

У розділі наведені дев'ять задач, що містять 50 варіантів вихідних даних. Задачі підібрані за такими темами: ведення підривних робіт в умовах будівельних майданчиків, діючих підземних комунікацій, житлових та промислових будинків і споруд, будівництва доріг на болотах, спорудження підземних сховищ та лісного господарства. Підривання в таких умовах вимагає від спеціаліста не тільки відповідних знань, як-то: технологія вибухових робіт, техніка безпеки та заходи при захисті прилеглих об'єктів, але й технологічних обґрунтувань і розрахунків параметрів наземних та підземних вибухів, що виконуються в різних ґрунтах і породах.

Розв'язання задач при необхідності повинно доповнюватися схемами, рисунками або графіками. Окремим пунктом подаються заходи з техніки безпеки з урахуванням особливостей об'єкта, що підривається.

11.1. Вибухове утворення камуфлетних порожнин

При спорудженні підземних міскостей для зберігання рідин і газів, ям під стовпи й опори застосовують вибуховий метод утворення камуфлетних порожнин.

Сутність цього методу полягає в тому, що в свердловині або шпурі на необхідній глибині розміщують і підривають заряд ВР, у результаті чого виникає камуфлетна порожнина. Як правило, такі порожнини утворюються тільки в пластичних породах (глинах, суглинках), що мають показник прострілення понад 100 дм³/кг.

При утворенні камуфлетних порожнин складається проект на вибух.

1. Величину заряду розраховують за формулою

$$Q_z = \frac{V_n}{P_{np}}, \text{ кг,}$$

де V_n – проектний об'єм порожнини, дм³; P_{np} – показник прострілення порід, дм³/кг.

2. Мінімально припустиму глибину закладення розрахункового заряду визначають за формулою

$$W_{\min} \geq 2\sqrt[3]{Q_z/q_p}, \text{ м,}$$

де q_p – розрахункова питома витрата ВР на одиницю об'єму нормальної воронки вибуху, кг/м³ (табл. Д.1 та Д.3).

Якщо задана глибина закладення заряду менше мінімально припустимої величини, тобто $W_{np} < W_{min}$, застосовують декілька прострілок. Для цього визначають:

– припустиму величину заряду за формулою

$$Q_0 \leq \frac{q_p W_{np}^3}{8}, \text{ кг};$$

– необхідну кількість прострілок

$$N_{np} = \frac{Q_3}{Q_0},$$

при цьому отримане N_{np} округляють до більшого цілого числа N_{np}^{ym} , а також уточнюють необхідну кількість ВР

$$Q = N_{np}^{ym} Q_0, \text{ кг}.$$

Приклад. Вибухом утворюється камуфлетна порожнина проектним об'ємом $V_n = 200 \text{ м}^3$. Тип породи – глина ломова, показник прострілення $\Pi_{np} = 150 \text{ дм}^3/\text{кг}$. Глибина закладення порожнини $W_{np} = 12 \text{ м}$. Тип ВР – амоніт 6ЖВ. Визначити необхідну кількість ВР (табл. Д.6).

РОЗВ'ЯЗОК

1. Величина заряду за вибух

$$Q_3 = \frac{V_n}{\Pi_{np}} = \frac{200000}{150} = 1333,3 \text{ кг},$$

де V_n – проектний об'єм порожнини, $200 \text{ м}^3 = 200000 \text{ дм}^3$; Π_{np} – показник прострілення порід, $150 \text{ дм}^3/\text{кг}$.

2. Мінімально припустима глибина закладення розрахункового заряду

$$W_{min} = 2\sqrt[3]{\frac{Q_3}{q_p}} = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{1333,3}{0,4}} = 29,9 \text{ м},$$

де q_p – розрахункові питомі витрати ВР на одиницю об'єму нормальної воронки вибуху, $0,4 \text{ кг/м}^3$.

Оскільки $W_{np} < W_{min}$ ($12 \text{ м} < 29,9 \text{ м}$), то виконуємо декілька прострілок.

3. Припустима величина заряду

$$Q_0 = \frac{q_p W_{np}^3}{8} = \frac{0,4 \cdot 12^3}{8} = 86,54 \text{ кг}.$$

4. Необхідна кількість прострілок

$$N_{np} = \frac{Q_3}{Q_0} = \frac{1333,3}{86,54} = 15,4,$$

отже, задаємо $N_{np}^{ym} = 16$.

5. Необхідна кількість амоніту 6ЖВ

$$Q = N_{np}^{ym} Q_o = 16 \cdot 86,54 = 1384,6 \text{ кг.}$$

6. Зазначаються заходи з ТБ відповідно до [2].

11.2. Розрахунок розташування й величини зарядів при видаленні верхнього торф'яного покриву боліт висадженням поперечних і повздовжніх траншей

Підривні роботи при посадці дорожніх та інших насипів на мінеральне дно боліт ведуться для видалення верхнього торф'яного покриву боліт при спорудженні насипу, посадки укосів насипів, що не досягли мінерального дна болота, витиснення торфу з-під насипів для осадження їх у звільнений простір, утворення канав-торфоприймачів.

Послідовність розрахунку розташування й величин зарядів така: складають схему розташування зарядів (рис. 11.1); визначають величину лінії опору, глибину свердловини, найвигідніший показник дії вибуху заряду, вагу й довжину заряду, діаметр заряду та відстань між зарядами.

Величину лінії опору W_p розраховують за формулою

$$W_p = 0,9H, \text{ м,}$$

де H – глибина виторфовування, м.

Довжину свердловини визначають за формулою

$$L = \frac{W_p}{\sin \alpha}, \text{ м,}$$

де W_p – лінія опору, м; α – кут нахилу свердловини до горизонту, $\alpha = 45 - 60^\circ$.

Найвигідніший показник дії вибуху n заряду визначається під час висадження поперечних або повздовжніх траншей за формулами відповідно

$$n = \frac{1,67 D_{non}}{2W_p};$$

$$n = \frac{D_{oc}}{2W_p},$$

де D_{non} – ширина поперечної траншеї, м; D_{oc} – ширина осьової траншеї, м.

Маса заряду обчислюється з рівняння

$$Q_s = qW_p^3 f(n), \text{ кг,}$$

де q – розрахункові питомі витрати ВР, кг/м³ (з урахуванням табл. Д.3);

$f(n)$ – функція показника дії вибуху заряду ВР.

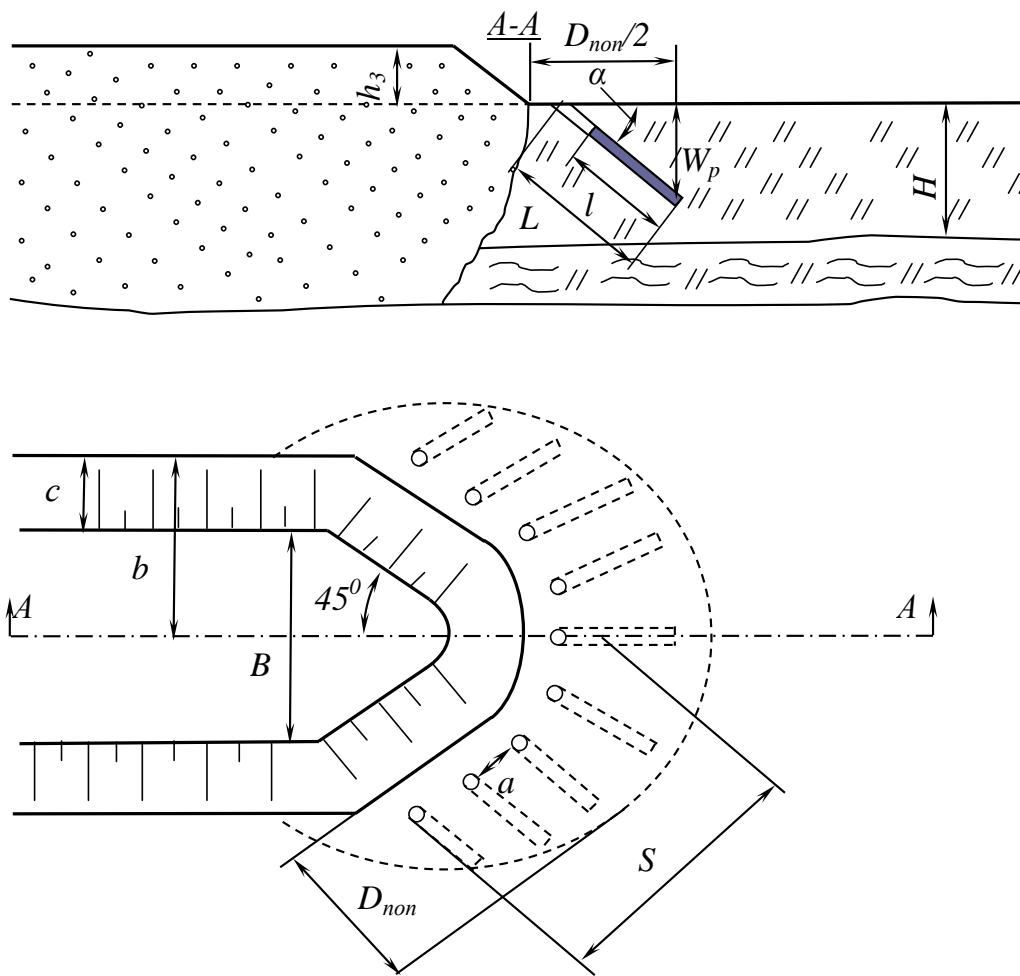


Рис. 11.1. Схема розташування свердловинних зарядів при видаленні верхнього покриву болота підриванням поперечних траншей

Таблиця 11.1

Значення розрахункових питомих витрат ВР (амоніту 6ЖВ) залежно від зольності торфу

% зольності торфу	20	30	40	50	60	70
Питома витрата ВР q , кг/м ³	0,68	0,69	0,72	0,76	0,83	0,95

Таблиця 11.2

Значення функції показника дії вибуху заряду ВР $f(n)$

n	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5
$f(n)$	1,0	1,1	1,2	1,55	2,1	2,82	3,6

Довжина l заряду ВР у свердловині визначається за формулою

$$l = 0,75L, \text{ м,}$$

де L – довжина свердловини, м.

Діаметр d заряду ВР розраховується за формулою

$$d = \sqrt{\frac{4Q_3}{\pi l \Delta}}, \text{ дм,}$$

де Q_3 – маса заряду, кг; l – довжина заряду, дм; Δ – щільність патронуванних ВР, кг/дм³ (табл. Д.2).

Діаметр свердловини задають на 25 % більше діаметра заряду.

Відстань між зарядами при висадженні поперечних і бічних повздовжніх траншей визначається за формулою

$$a = 0,94W_p \sqrt[3]{f(n)}, \text{ м,}$$

а при висадженні осьової повздовжньої траншеї –

$$a^1 = W_p \sqrt[3]{f(n)}, \text{ м,}$$

де a – відстань між зарядами і між рядами зарядів, м; W_p – лінія опору, м; $f(n)$ – функція показника дії вибуху заряду ВР.

Приклад. Для відсипання одноколіяного залізничного насипу шириною поверху $B = 5,8$ м потрібно видалити верхній торф'яний покрив товщиною $H = 2,0$ м висадженням поперечних траншей шириною $D_{non} = 4,5$ м. Висота насипу над рівнем торф'яного болота $h_3 = 1,5$ м. Укоси насипу 1:1,5. Кут нахилу свердловин $\alpha = 45^\circ$. ВР – амоніт 6ЖВ. Торф 50%-ної зольності (табл. Д.7).

Визначити необхідну кількість ВР й обсяг бурових робіт для утворення поперечної траншеї одночасним вибухом.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Складаємо схему розташування зарядів (рис. 11.1) і робимо відповідні розрахунки.

2. Величина лінії опору

$$W_p = 0,9H = 0,9 \cdot 2,0 = 1,8 \text{ м.}$$

3. Довжина похилої свердловини

$$L = \frac{W_p}{\sin \alpha} = \frac{1,8}{\sin 45^\circ} = \frac{1,8}{0,707} = 2,55 \text{ м} = 25,5 \text{ дм.}$$

4. Найвигідніший показник дії вибуху заряду амоніту 6ЖВ

$$n = \frac{1,67D_{non}}{2W_p} = \frac{1,67 \cdot 4,5}{2 \cdot 1,8} = 2,0.$$

5. Маса одного заряду.

Задаємо для торфу 50%-ної зольності $q = 0,76$ кг/м³ при показнику дії вибуху заряду амоніту 6ЖВ $n = 2,0$ $f(n) = 2,1$

$$Q_3 = qW_p^3 f(n) = 0,76 \cdot 1,8^3 \cdot 2,1 = 9,3 \text{ кг.}$$

6. Довжина заряду в похилій свердловині

$$l = 0,75L = 0,75 \cdot 25,5 = 19,1 \text{ дм.}$$

7. Діаметр заряду

$$d = \sqrt{\frac{4Q_3}{\pi \Delta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,3}{3,14 \cdot 19,1 \cdot 1}} \approx 0,8 \text{ дм,}$$

де Δ – щільність патронування амоніту 6ЖВ, $\Delta = 1 \text{ кг/дм}^3$.

Діаметр свердловини буде: $0,8 \cdot 1,25 = 1,0 \text{ дм}$.

8. Відстань між зарядами в поперечній траншеї

$$a = 0,94W_p \sqrt[3]{f(n)} = 0,94 \cdot 1,8 \cdot \sqrt[3]{2,1} = 2,2 \text{ м.}$$

9. Довжина поперечної траншеї

$$2S = 2 \frac{b}{\sin 45^\circ} = 2 \frac{5,15}{\sin 45^\circ} = 2 \frac{5,15}{0,707} \approx 14,6 \text{ м,}$$

де $b = B/2 + c = 5,8/2 + 2,25 = 5,15 \text{ м}$,

де $c = 1,5h_3 = 1,5 \cdot 1,5 = 2,25 \text{ м}$.

10. Необхідна кількість свердловинних зарядів

$$N = \frac{2S}{a} + 3 = \frac{14,6}{2,2} + 3 = 9,$$

якщо $h_3 \geq 2 \text{ м}$ або $\frac{2S}{a}$ – непарне число, то розраховуємо $N = \frac{2S}{a} + 2$.

11. Необхідна кількість амоніту 6ЖВ

$$Q = NQ_3 = 9 \cdot 9,3 = 83,7 \text{ кг.}$$

12. Обсяг бурових робіт

$$V_{\text{бур}} = NL = 9 \cdot 2,55 = 22,95 \text{ м} \approx 23 \text{ м.}$$

13. Зазначаються заходи з ТБ відповідно до [2].

11.3. Розрахунок розташування й величин зарядів при посадці укосів насипу, що не досягли мінерального дна болота

Послідовність розрахунку розташування й величин зарядів: складають схему розташування зарядів (рис. 11.2); визначають глибину свердловин, масу заряду W_p , довжину й діаметр заряду; відстань між свердловинами в ряду (заряди розміщуються в один ряд по нижньому краю кожного укосу насипу). Глибина свердловин (рис. 11.2) дорівнює відстані від поверхні болота до мінерального дна, м: $L_l = H$.

Маса заряду визначається за формулою

$$Q_3 = \frac{L_l^3 q}{3}, \text{ кг,}$$

де L_1 – глибина свердловини, м; q – розрахункові питомі витрати ВР, кг/м³ (табл. 11.1 та табл. Д.3).

Довжина заряду ВР розраховується за формулою

$$l = \frac{L_1}{3}, \text{ дм,}$$

де L_1 – глибина свердловини, дм.

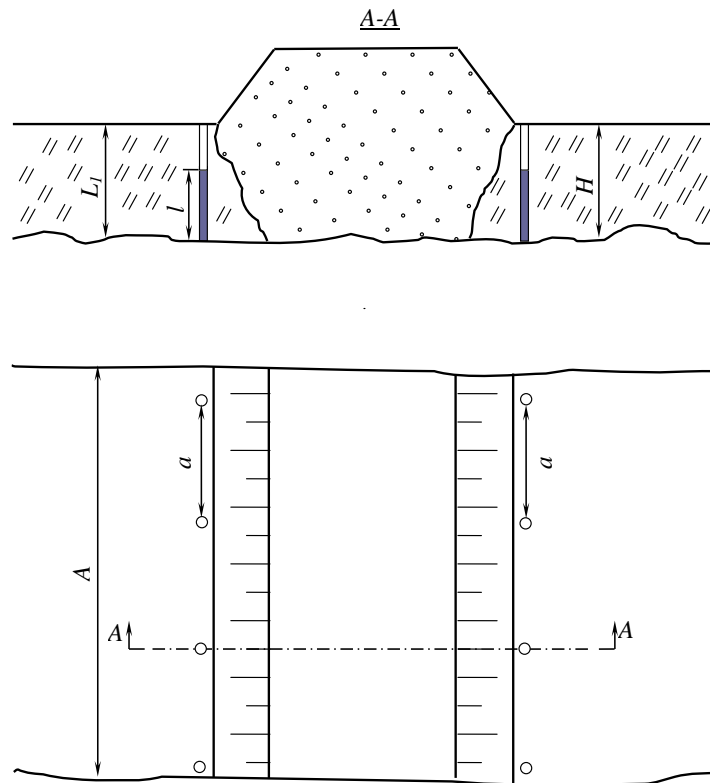


Рис. 11.2. Схема розміщення свердловин при посадці укосів насипу, що не досягли мінерального дна болота

Діаметр заряду ВР визначається так:

$$d = \sqrt{\frac{4Q_3}{\pi l \Delta}}, \text{ дм,}$$

де Q_3 – маса заряду, кг; l – довжина заряду, дм; Δ – щільність патронів ВР, кг/дм³ (табл. Д.2).

Відстань між свердловинами в ряду дорівнює глибині свердловин L_1 , тобто $a = L_1$, м.

Приклад. Визначити обсяг бурових робіт і необхідну кількість динафталіту для посадки ділянки укосу насипу довжиною $A = 26$ м на мінеральне дно болота. Відстань від поверхні болота до мінерального дна $H = 2,6$ м. Зольність торфу 40 % (табл. Д.8).

РОЗВ'ЯЗОК

1. Складаємо схему розташування зарядів (рис. 11.2) і робимо відповідні розрахунки.

2. Глибина свердловин дорівнює висоті уступу, тобто

$$L_1 = H = 2,6 \text{ м} = 26 \text{ дм.}$$

3. Маса заряду динафталіту

$$Q_3 = \frac{L_1^3 q}{3} = \frac{2,6^3 \cdot 0,864}{3} \approx 5,06 \text{ кг,}$$

де q – розрахункові питомі витрати динафталіту, $q = 0,72 \cdot 1,2 = 0,864 \text{ кг/м}^3$.

4. Довжина заряду

$$l = \frac{L_1}{3} = \frac{26}{3} \approx 8,67 \text{ дм.}$$

5. Діаметр заряду

$$d = \sqrt{\frac{4Q_3}{\pi \Delta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,06}{3,14 \cdot 8,67 \cdot 1}} \approx 0,86 \text{ дм,}$$

де Δ – щільність патронованого динафталіту, $\Delta = 1,0 \text{ кг/дм}^3$.

6. Відстань між свердловинами в ряду дорівнює глибині свердловин, тобто

$$a = L_1 = 2,6 \text{ м.}$$

7. Необхідна кількість свердловин, це має бути обов'язково парне число

$$N = 2(A/a) + 2 = 2(26/2,6) + 2 = 22.$$

8. Обсяг бурових робіт

$$V_{\text{бур}} = NL_1 = 22 \cdot 2,6 = 57,2 \text{ м.}$$

9. Необхідна кількість динафталіту

$$Q = NQ_3 = 22 \cdot 5,06 = 111,32 \text{ кг.}$$

10. Зазначаються заходи з ТБ відповідно до [2].

11.4. Розрахунок розташування й величин зарядів при витисненні торфу з-під насипів й утворення канав-торфоприймачів

Послідовність розрахунку розташування й величин зарядів при висадженні під насипом (рис. 11.3): приймається необхідний діаметр свердловини та заряду; визначається довжина свердловин, що перетинають насип, довжина й маса заряду ВР у свердловині, відстань між свердловинами в ряду й між рядами.

Довжину свердловини, що перетинають насип, визначають за формулою

$$L = h + h_2, \text{ м,}$$

де h – товщина насипу, м; h_2 – товщина шару торфу під насипом, м.

Довжина заряду в свердловині дорівнює товщині шару торфу під насипом, тобто $l = h_2$. Маса заряду ВР Q_3 у свердловині визначається за формулою

$$Q_3 = \frac{\pi d^2 l \Delta}{4}, \text{ кг,}$$

де d – діаметр заряду, дм; задається таким, щоб кількість рядів свердловин можна було розмістити по ширині насипу; l – довжина заряду, дм; Δ – щільність патронуванних ВР, кг/дм³ (табл. Д.2).

Відстань між свердловинами a в ряду й між рядами визначається з формули

$$a = 30d, \text{ дм,}$$

де d – діаметр заряду, дм.

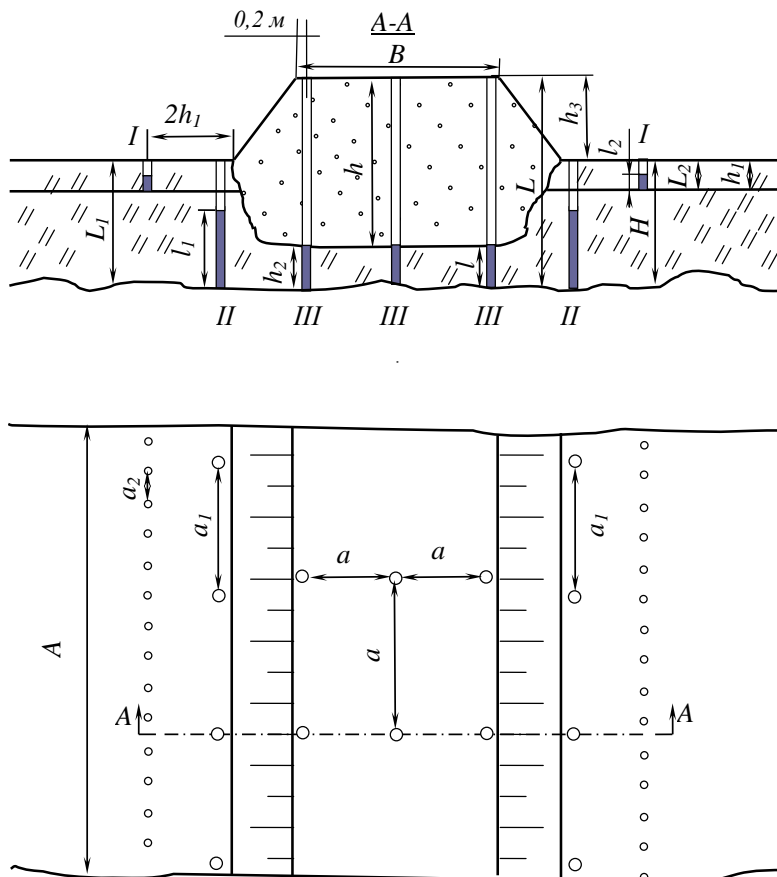


Рис. 11.3. Схема розташування свердловин і шпурів при посадці всієї основи насипу, що не досягли мінерального дна болота

Примітка. Свердловини біля нижнього краю насипу призначені для посадки укосів насипу. Розрахунок їх розташування і величин зарядів наведений у підрозділі 11.3.

Послідовність розрахунку розташування й величин зарядів для утворення канав-торфоприймачів: визначається довжина шпурів, маса й довжина заряду ВР у шпурі, діаметр заряду ВР, відстань між шпурами в ряді. Глибина шпурів (рис. 11.3) дорівнює потужності верхнього покриву, тобто $L_2 = h_1$, м.

Маса заряду Q_3 визначається за формулою

$$Q_3 = \frac{L_2^3 q}{3}, \text{ кг,}$$

де L_2 – довжина шпуру, м; q – розрахункові питомі витрати ВР, кг/м³ (табл. 11.1 та табл. Д.3).

Довжина заряду ВР у шпурі прирівнюється половині довжини шпуру, тобто

$$l = \frac{L_2}{2}, \text{ м.}$$

Діаметр заряду ВР визначається з формули

$$d = \sqrt{\frac{4Q_3}{\pi l \Delta}}, \text{ дм,}$$

де Q_3 – маса заряду, кг; l – довжина заряду, дм; Δ – щільність патронуваного ВР, кг/дм³ (табл. Д.2).

Відстань між шпурами в ряду дорівнює довжині шпуру, тобто $a = L_2$, м.

Приклад. Визначити обсяг бурових робіт і необхідну кількість динафталіту для посадки ділянки насипу довжиною $A = 75$ м на мінеральне дно болота глибиною $H = 2,6$ м. Товщина верхнього покриву болота $h_1 = 1,0$ м. Зольність торфу 60 %. Відстань від основи насипу до мінерального дна $h_2 = 0,8$ м. Висота насипу $h = 3,8$ м, ширина поверху $B = 5,8$ м. Укоси насипу 1:1,5. Визначити послідовність висадження зарядів (табл. Д.9).

РОЗВ'ЯЗОК

1. Складаємо схему розташування свердловин (рис. 11.3) і робимо відповідні розрахунки.

2. Розраховуємо обсяг бурових робіт і необхідну кількість ВР для висадження під насипом:

– враховуючи ширину насипу та технологічну безпечну відстані (0,2 м) до краю насипу, задаємо діаметр заряду $d = 0,9$ дм;

– глибина свердловин, що перетинають насип

$$L = h + h_2 = 3,8 + 0,8 = 4,6 \text{ м;}$$

– довжина заряду динафталіту у свердловині дорівнює відстані від основи насипу до мінерального дна, тобто

$$l = h_2 = 0,8 \text{ м;}$$

– маса заряду динафталіту у свердловині

$$Q_3 = \frac{\pi d^2 l \Delta}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,9^2 \cdot 0,8 \cdot 1}{4} \approx 5,09 \text{ кг,}$$

де Δ – щільність патронуваного динафталіту, $\Delta = 1,0$ кг/дм³;

– відстань між зарядами в ряду й між рядами

$$a = 30d = 30 \cdot 0,9 = 27 \text{ дм};$$

– кількість рядів свердловин, що підриваються під насипом,

$$n_{\text{ряд}} = (B/a) + 1 = (5,8/2,7) + 1 = 3;$$

– кількість свердловин на ділянці 75 м

$$N = (A/a)n_{\text{ряд}} + n_{\text{ряд}} = (75/2,7) \cdot 3 + 3 = 87;$$

– обсяг бурових робіт

$$V_{\text{бур}} = NL = 87 \cdot 4,6 \approx 400,2 \text{ м};$$

– необхідна кількість динафталіту

$$Q = NQ_3 = 87 \cdot 5,09 = 442,8 \text{ кг.}$$

3. Визначаємо обсяг бурових робіт і необхідну кількість динафталіту для посадки укосів насипу:

– глибина свердловини дорівнює глибині мінерального дна болота, тобто

$$L_1 = H = 2,6 \text{ м} = 26 \text{ дм};$$

– маса заряду динафталіту

$$Q_{3.1} = \frac{L_1^3 q}{3} = \frac{2,6^3 \cdot 0,996}{3} = 5,84 \text{ кг},$$

де q – розрахункові питомі витрати динафталіту, $q = 0,83 \cdot 1,2 = 0,996 \text{ кг/м}^3$;

– довжина заряду динафталіту

$$l_1 = \frac{L_1}{3} = \frac{26}{3} = 8,7 \text{ дм};$$

– діаметр заряду динафталіту

$$d_1 = \sqrt{\frac{4Q_{3.1}}{\pi l_1 \Delta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,84}{3,14 \cdot 8,7 \cdot 1}} \approx 0,92 \text{ дм};$$

– відстань між свердловинами в ряду дорівнює глибині свердловини, тобто

$$a_1 = L_1 = 2,6 \text{ м};$$

– необхідна кількість свердловин

$$N_1 = 2(A/a_1) + 2 = 2(75/2,6) + 2 = 60;$$

– обсяг бурових робіт

$$V_{\text{бур.1}} = N_1 L_1 = 60 \cdot 2,6 = 156 \text{ м};$$

– необхідна кількість динафталіту

$$Q_1 = N_1 Q_{3.1} = 60 \cdot 5,84 = 350,4 \text{ кг.}$$

4. Розрахуємо обсяг бурових робіт і необхідну кількість динафталіту для висадження двох бічних канав-торфоприймачів:

– довжина шпуру дорівнює товщині верхнього покриву болота, тобто

$$L_2 = h_1 = 1,0 \text{ м};$$

– маса заряду динафталіту

$$Q_{3,2} = \frac{L_2^3 q}{3} = \frac{1,0^3 \cdot 0,996}{3} = 0,33 \text{ кг};$$

– довжина заряду динафталіту у шпурі

$$l_2 = \frac{L_2}{2} = \frac{1,0}{2} = 0,5 \text{ м} = 5 \text{ дм};$$

– діаметр заряду динафталіту

$$d_2 = \sqrt{\frac{4Q_{3,2}}{\pi l_2 \Delta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,33}{3,14 \cdot 5 \cdot 1}} = 0,29 \text{ дм};$$

– відстань між шпурами дорівнює довжині шпуру, тобто

$$a_2 = L_2 = 1,0 \text{ м};$$

– необхідна кількість шпурів

$$N_2 = 2(A/a_2) + 2 = 2(75/1,0) + 2 = 152;$$

– обсяг бурових робіт

$$V_{\text{бур},2} = N_2 L_2 = 152 \cdot 1,0 = 152 \text{ м};$$

– необхідна кількість динафталіту

$$Q_2 = N_2 Q_{3,2} = 152 \cdot 0,33 = 50,2 \text{ кг}.$$

5. Визначаємо загальний обсяг бурових робіт

$$V_{\text{бур},\text{заг}} = V_{\text{бур}} + V_{\text{бур},1} + V_{\text{бур},2} = 400,2 + 156 + 152 = 708,2 \text{ м}.$$

6. Розраховуємо необхідну кількість динафталіту на весь обсяг робіт

$$Q_{\text{заг}} = Q + Q_1 + Q_2 = 442,8 + 350,4 + 50,2 = 843,4 \text{ кг}.$$

7. Послідовність підривання зарядів наведена на рис. 11.3.

8. Зазначаються заходи з ТБ відповідно до [2].

11.5. Корчування пнів

При корчуванні пнів заряди ВР розміщують або під пнем у свердловині (підкопці), або в шпурі, що висвердлюється в самій деревині пня (рис. 11.4).

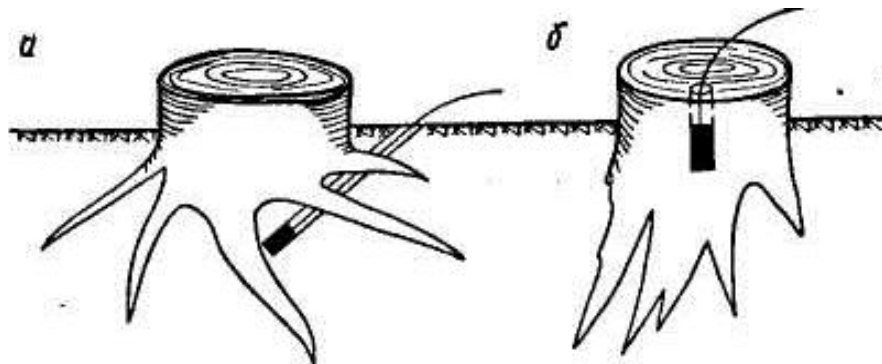


Рис. 11.4. Розташування зарядів при корчуванні пнів:

a – в підкопці; *б* – в деревині пня

Глибина підкопу (розташування заряду) залежить від діаметра пня, давності рубання, особливостей ґрунту й цілей корчування. Середня глибина підкопу повинна відповідати величині, яка дорівнює 1,5 діаметра пня, що вимірюється в кореневій шийці його на висоті 10 см від початку розгалуження кореня. Маса заряду в підкопці визначається залежно від давності рубання й ґрунту відповідно до табл. Д.5.

При розміщенні зарядів у шпурах величина заряду визначається з розрахунку 7,5 – 10 г амоніту на кожен сантиметр діаметра пня (верхня межа для більш міцних сортів лісу). Шпури висвердлюють по осі пня вертикально. Глибина шпуру від поверхні ґрунту повинна дорівнювати двом діаметрам пня.

Приклад. Потрібно викорчувати дубові пні вибуховим способом на піщаному ґрунті площею $S = 10$ га. Густина пнів $q = 600$ на 1 га. Давність рубання – понад три роки, діаметр пнів 20, 30 і 40 см відповідно 30, 40 і 30 % від загальної кількості (табл. Д.10).

Визначити глибину підкопу й масу зарядів для різних діаметрів пня, загальні витрати бурових робіт на весь обсяг робіт і амоніту бЖВ.

РОЗВ'ЯЗОК

1. Загальна кількість пнів, що підлягають корчуванню

$$N_{\text{пнів}} = Sq = 10 \cdot 600 = 6000.$$

2. Кількість пнів відповідно до їх діаметрів.

Діаметр пня d , см	Кількість пнів
20	$6000 \cdot 0,3 = 1800$
30	$6000 \cdot 0,4 = 2400$
40	$6000 \cdot 0,3 = 1800$.

3. Глибина підкопу пнів згідно з табл. Д.5.

Діаметр пня d , см	Глибина підкопу, см
20	30
30	45
40	60.

4. Маса заряду для одного пня згідно з табл. Д.5.

Діаметр пня d , см	Маса заряду, кг
20	0,4
30	0,6
40	0,8.

5. Загальні витрати бурових робіт.

Діаметр пня d , см	Витрати на буріння, м
20	$0,30 \cdot 1800 = 540$ м
30	$0,45 \cdot 2400 = 1080$ м
40	$0,60 \cdot 1800 = 1080$ м

$$V_{\text{бур}} = 540 + 1080 + 1080 = 2700 \text{ м.}$$

6. Загальні витрати амоніту бЖВ.

Діаметр пня d , см	Витрати амоніту, кг
20	$0,4 \cdot 1800 = 720$ кг
30	$0,6 \cdot 2400 = 1440$ кг
40	$0,8 \cdot 1800 = 1440$ кг

$$Q = 720 + 1440 + 1440 = 3600 \text{ кг.}$$

7. Зазначаються заходи з ТБ відповідно до [2].

11.6. Розрахунок розташування й величин шпурових зарядів (при наявності двох відкритих поверхонь і потужності мерзлого шару від 1 до 2 м)

Послідовність розрахунку: складається схема розміщення зарядів (рис. 11.5); визначається величина лінії опору, глибина шпурів, маса заряду ВР, діаметр шпурів, відстань між зарядами в ряду, рядами зарядів і від брівки вибою.

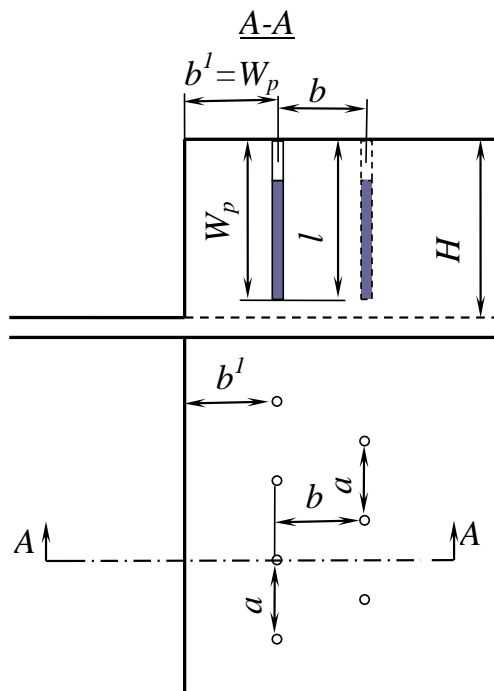


Рис. 11.5. Схема розташування шпурових зарядів при розпушенні мерзлих ґрунтів

Величина лінії опору дорівнює глибині шпурів і визначається так:

$$W_p = l = 0,75H, \text{ м,}$$

де l – глибина шпурів, м; H – потужність мерзлого шару, м.

Маса заряду ВР розраховується за формулою

$$Q_z = kW_p^3, \text{ кг,}$$

де k – питомі витрати амоніту БЖВ, кг/м³ (для глинистих і ґрунтів з будівельним сміттям $k = 0,8 - 1,0$ кг/м³, для ґрунтів з галькою $k = 0,6 - 0,8$ кг/м³, для рослинних і піщаних ґрунтів $k = 0,4 - 0,6$ кг/м³); W_p – величина лінії опору, м.

Діаметр шпурів визначається за формулою

$$d = 0,43W_p \sqrt{\frac{k}{\Delta}}, \text{ дм,}$$

де k – питомі витрати ВР, кг/м³; Δ – щільність заряджання, кг/дм³ (табл. Д.2).

Відстань від брівки вибою до першого ряду шпурів дорівнює величині лінії опору, тобто

$$b^l = W_p, \text{ м.}$$

Відстань між зарядами a в ряду для першого й наступного рядів зарядів розраховується за формулою

$$a = mW_p, \text{ м,}$$

де m – відносна відстань між зарядами в ряду, при вогневому способі підривання $m = 1,2 - 1,5$, при електричному – $m = 1,0 - 1,5$.

Відстань між рядами b зарядів (заряди розташовуються в шаховому порядку) обчислюється за формулою

$$b = 0,85W_p, \text{ м.}$$

Приклад. Визначити необхідну кількість амоніту БЖВ, обсяг бурових робіт і об'єм мерзлого ґрунту, що містить гальку, який буде розпушений, якщо потужність мерзлого шару $H = 1,6$ м. Довжина вибою $A = 40$ м. Висадження дворядне, електричне. Відносна відстань між зарядами в ряду $m = 1,1$ (табл. Д.11).

РОЗВ'ЯЗОК

1. Складаємо схему розташування зарядів (рис. 11.5) і робимо відповідні розрахунки.

2. Величина лінії опору

$$W_p = 0,75H = 0,75 \cdot 1,6 = 1,2 \text{ м.}$$

3. Глибина шпурів дорівнює величині лінії опору, тобто

$$l = W_p = 1,2 \text{ м.}$$

4. Маса заряду амоніту БЖВ

$$Q_z = kW_p^3 = 0,7 \cdot 1,2^3 = 1,21 \text{ кг.}$$

5. Діаметр шпурів

$$d = 0,43W_p \sqrt{\frac{k}{\Delta}} = 0,43 \cdot 1,2 \sqrt{\frac{0,7}{0,9}} = 0,45 \text{ дм.}$$

6. Відстань від брівки вибою до першого ряду шпурів дорівнює величині лінії опору, тобто

$$b^l = W_p = 1,2 \text{ м.}$$

7. Відстань між зарядами в ряду для першого й другого рядів

$$a = mW_p = 1,1 \cdot 1,2 = 1,3 \text{ м.}$$

8. Відстань між рядами зарядів

$$b = 0,85W_p = 0,85 \cdot 1,2 = 1,0 \text{ м.}$$

9. Кількість зарядів у двох рядах

$$N = [(A/a) + 1] \cdot 2 = [(40/1,3) + 1] \cdot 2 = 64.$$

10. Необхідна кількість амоніту 6ЖВ

$$Q = NQ_3 = 64 \cdot 1,21 = 77,44 \text{ кг.}$$

11. Обсяг бурових робіт

$$V_{\text{бур}} = Nl = 64 \cdot 1,2 = 76,8 \text{ м.}$$

12. Об'єм мерзлого ґрунту, що буде розпушений двома рядами зарядів

$$V_{\text{зр}} = (b^l + b)HA = (1,2 + 1,0) \cdot 1,6 \cdot 40 = 141 \text{ м}^3.$$

13. Зазначаються заходи з ТБ відповідно до [2].

11.7. Розрахунок розташування й величин малокамерних зарядів (при наявності двох відкритих поверхонь і потужності мерзлого шару більше 2 м)

Послідовність розрахунку: складається схема розташування зарядів (рис. 11.6); визначається величина лінії опору, глибина рукавів, маса заряду ВР, відстань між рукавами.

Величина лінії опору задається такою, що дорівнює потужності мерзлого шару, тобто $W_p = H$.

Глибина рукава, що розташований в поталому ґрунті, $l = (1,0 \dots 1,2)W_p$, м, де W_p – величина лінії опору, м.

Маса заряду ВР визначається за формулою

$$Q_3 = kW_p^3, \text{ кг,}$$

де k – питомі витрати ВР, кг/м^3 , $k = 1 - 1,25$ для амоніту 6ЖВ.

Приклад. Визначити обсяг робіт по проходці рукавів, необхідну кількість амоніту № 9 та обсяг мерзлого глинистого ґрунту, що буде розпушений. Кількість малокамерних зарядів $n_{\text{зар}} = 10$. Потужність мерзлого шару $H = 2,8$ м. Пи-

томі витрати ВР $k = 1,0 \text{ кг/м}^3$. Відносна відстань між зарядами в ряду $m = 1,2$ (табл. Д.12).

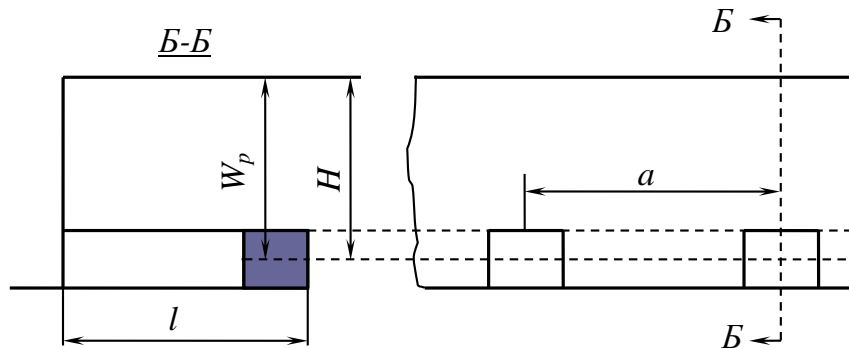


Рис. 11.6. Схема розташування малокамерних зарядів при розпушенні мерзлих ґрунтів

РОЗВ'ЯЗОК

1. Складаємо схему розташування зарядів (рис. 11.6) і робимо відповідні розрахунки.

2. Величина лінії опору дорівнює потужності мерзлого шару, тобто

$$W_p = H = 2,8 \text{ м.}$$

3. Глибина рукавів

$$l = 1,1W_p = 1,1 \cdot 2,8 = 3,1 \text{ м.}$$

4. Маса заряду ВР

$$Q_z = kW_p^3 = 1,0 \cdot 2,8^3 \cdot 1,2 = 26,34 \text{ кг.}$$

5. Відстань між зарядами

$$a = mW_p = 1,2 \cdot 2,8 = 3,36 \text{ м.}$$

6. Об'єм мерзлого ґрунту, що буде розпушений десятьма малокамерними зарядами,

$$V_{сп} = Hlan_{зар} = 2,8 \cdot 3,1 \cdot 3,36 \cdot 10 = 291,6 \text{ м}^3.$$

7. Обсяг робіт по проходці рукавів

$$V_{бур} = n_{зар}l = 3,1 \cdot 10 = 31 \text{ м.}$$

8. Необхідна кількість амоніту № 9

$$Q = n_{зар}Q_z = 26,34 \cdot 10 = 263,4 \text{ кг.}$$

9. Зазначаються заходи з ТБ відповідно до [2].

11.8. Поглиблення дна ріки шпуровим (свердловинним) методом

Підривні роботи на ріках й інших водних басейнах застосовуються для поглиблення дна фарватеру, утворення траншей для прокладання різних комунікацій тощо.

Під водою заряди підривають закладеними в шпури (рис. 11.7) або свердловини, а також використовують зовнішні заряди, що покладені безпосередньо на дно водяного басейну. Метод зовнішніх зарядів застосовується при глибині розпушування до 0,6 м і в неміцних скельних породах.

При шпуровому (свердловинному) методі підводного підривання масу заряду в шпурі (свердловині) визначають за формулою

$$Q_z = kW_p^3, \text{ кг},$$

де k – розрахункові питомі витрати ВР (табл. Д.4) для амоніту бЖВ, кг/м³; W_p – величина лінії опору, задають такою, що дорівнює глибині заданого розпушування, м.

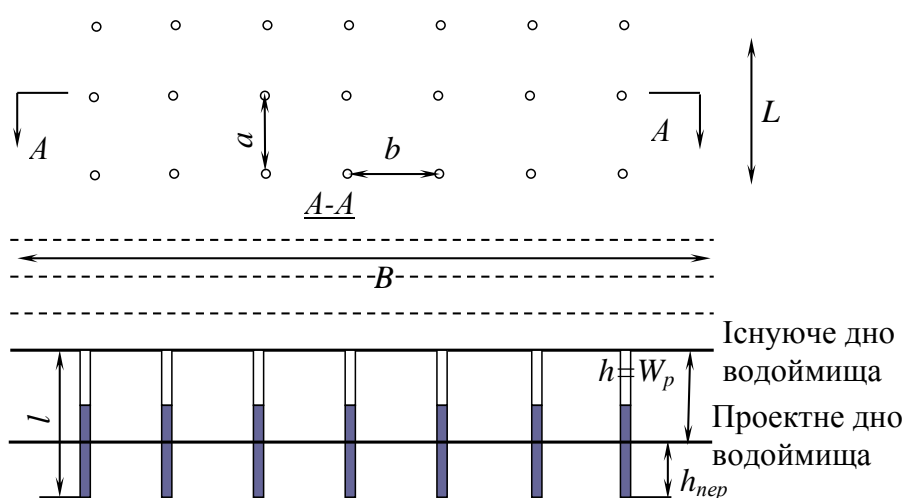


Рис. 11.7. Схема розташування шпурових або свердловинних зарядів при днопоглиблювальних роботах

Глибина шпурів (свердловин) повинна бути більше на 1 м глибини заданого розпушування, за винятком, коли невелика глибина розпушування, тобто до 0,6 м, тоді величина перебудування становить 0,4 – 0,5 м.

Відстань між шпурами (свердловинами) задають: у ряді й між рядами $(1...1,25)W_p$ – при щільному ґрунті, у ряді $(1,75...2,0)W_p$ та між рядами $(1,5...1,75)W_p$ – при тріщинуватому ґрунті.

Діаметр шпуру (свердловини) визначають за формулою

$$d = 0,43h\sqrt{\frac{k}{\Delta}}, \text{ дм},$$

де h – величина шару, що підривається, м; k – питомі витрати ВР, кг/м³; Δ – щільність заряджання, кг/дм³.

Приклад. Вибухом шпурових зарядів потрібно поглибити дно ріки на $h = 1,5$ м, щоб забезпечити рух важких катерів. Породи, що підлягають розпу-

шуванню, складені скельними породами без тріщин. Ділянка, яку необхідно поглибити, має ширину $B = 10$ м і довжину $L = 150$ м. ВР – пресований тротил.

Визначити масу заряду в шпурі, глибину й діаметр шпурів, відстань між зарядами в ряду й між рядами, кількість рядів зарядів, кількість шпурів, витрати ВР й обсяг бурових робіт (табл. Д.13).

РОЗВ'ЯЗОК

1. Маса заряду в шпурі.

Відповідно до табл. Д.4 питомі витрати ВР $k = 1,86$ кг/м³. Величину лінії опору W_p має дорівнювати глибині заданого розпушування, тобто $W_p = h = 1,5$ м, тоді $Q_3 = kW_p^3 = 1,86 \cdot 1,5^3 = 6,3$ кг.

2. Глибина шпурів з урахуванням перебуру (1,0 м)

$$l = h + I = 1,5 + 1 = 2,5 \text{ м.}$$

3. Діаметр шпуру

$$d = 0,43h\sqrt{\frac{k}{\Delta}} = 0,43 \cdot 1,5 \sqrt{\frac{1,86}{0,9}} = 0,93 \text{ дм,}$$

відповідно до табл. Д.2 щільність заряджання $\Delta = 0,9$ кг/дм³.

Розрахунок показує, що необхідно бурити свердловини.

4. Відстань між зарядами в ряду

$$a = 1,0W_p = 1,0 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ м.}$$

5. Відстань між рядами зарядів

$$b = 1,0W_p = 1,0 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ м.}$$

6. Кількість рядів зарядів

$$n_{\text{ряд}} = B/b + 1 = 10/1,5 + 1 = 7.$$

7. Кількість свердловин на весь обсяг робіт

$$N = [(L/a) + 1] n_{\text{ряд}} = [(150/1,5) + 1] \cdot 7 = 707.$$

8. Обсяг бурових робіт

$$V_{\text{бур}} = Nl = 707 \cdot 2,5 = 1767,5 \text{ м.}$$

9. Необхідна кількість пресованого тротилу

$$Q = NQ_3 = 707 \cdot 6,3 = 4454,1 \text{ кг.}$$

10. Зазначаються заходи з ТБ відповідно до [2].

11.9. Утворення ополонки

Послідовність розрахунку: визначають довжину ополонки вище й нижче мосту, величину лінії найменшого опору, заряд ВР, відстань між зарядами в ряду й між рядами зарядів. Довжина ополонки вище мосту задається такою, що дорівнює подвійній ширині русла. Нижче мосту утвориться ополонка такої ж довжини. Величина лінії найменшого опору (ЛНО) визначається за формулою

$$W = 2,5h, \text{ м.}$$

Тут W – глибина занурення заряду у воду під лід від верхньої поверхні льоду;
 h – товщина льоду, м.

Величина заряду ВР Q_3 обчислюється так:

$$Q_3 = kW^3, \text{ кг,}$$

де k – розрахункові питомі витрати для амоніту 6ЖВ і пресованого тротилу,
 $k = 0,85 \text{ кг/м}^3$.

Відстань між зарядами і між рядами

$$a = 4W, \text{ м.}$$

Приклад. Визначити необхідну кількість пресованого тротилу для утворення ополонки вище й нижче залізничного мосту. Ширина русла ріки в місці розташування мосту $B = 24$ м. Товщина льоду $h = 0,8$ м (табл. Д.14).

РОЗВ'ЯЗОК

1. Довжина ополонки

$$L_{on} = 2B = 2 \cdot 24 = 48 \text{ м.}$$

Загальна довжина ополонки вище й нижче мосту

$$L_{заг.он} = 2L_{on} = 2 \cdot 48 = 96 \text{ м.}$$

2. Величина ЛНО

$$W = 2,5h = 2,5 \cdot 0,8 = 2,0, \text{ м.}$$

3. Маса заряду пресованого тротилу

$$Q_3 = kW^3 = 0,85 \cdot 2^3 = 6,8 \text{ кг.}$$

4. Відстань між зарядами і між рядами

$$a = 4W = 4 \cdot 2 = 8 \text{ м.}$$

5. Кількість рядів зарядів

$$n_{ряд} = B/a = 24/8 = 3.$$

6. Кількість зарядів у ряду для утворення ополонки вище мосту

$$n_{зар} = (L_{on}/a) + 1 = (48/8) + 1 = 7,$$

задаємо у ряду нижче мосту також 7 зарядів.

7. Необхідна кількість зарядів пресованого тротилу

$$N_{зар} = n_{зар}n_{ряд} = 2 \cdot 7 \cdot 3 = 42.$$

8. Необхідна кількість пресованого тротилу

$$Q = N_{зар}Q_3 = 42 \cdot 6,8 = 285,6 \text{ кг.}$$

9. Зазначаються заходи з ТБ відповідно до [2].

Додаток

Таблиця Д.1

Розрахункові питомі витрати амоніту 6ЖВ

Назва породи	Питомі витрати ВР, кг/м ³
Суглинок важкий	0,35 – 0,4
Глина ломова	0,35 – 0,45
Лес	0,3 – 0,4
Крейда, вилужений мергель	0,25 – 0,3
Гіпс	0,35 – 0,45
Вапняк-черепашник	0,35 – 0,6
Опока, мергель	0,3 – 0,4
Туфи тріщинуваті, щільні, важка пемза	0,35 – 0,5

Таблиця Д.2

Значення щільності ВР

Назва ВР	Щільність патронованих ВР, кг/дм ³	Щільність заряджання ВР, кг/дм ³
Алюматол	0,95 – 1,1	0,95
Амоніт № 6	1,0 – 1,15	0,7 – 0,9
Амоніт 6ЖВ	1,0 – 1,2	0,8 – 0,9
Амоніт № В-3 порошок	0,95 – 1,1	0,7 – 0,9
Амоніт № 9	0,8 – 0,9	0,7 – 0,9
Грануліт АС	0,9 – 0,95	0,85 – 0,9
Зерногрануліт 80/20	0,85 – 0,9	0,85 – 0,9
Динафталіт	0,9 – 1,1	0,9 – 1,1
Детоніти В-А, 10-А і М	1,1 – 1,3	1,0 – 1,2
Пресований тротил	1,4 – 1,55	0,9
Скельний амоніт № 1	1,45 – 1,5	1,2 – 1,3

Таблиця Д.3

Значення перевідних коефіцієнтів для різних ВР

Назва ВР	Перевідний коефіцієнт
Алюматол	0,9
Амонал ВА-4	0,9
Амоніт № 6, 6ЖВ № В-3	1,0
Амоніт № 7 і 7ЖВ	1,0
Амоніт № 9 і 10	1,2
Грануліт АС	1,0
Грануліт С та ігданіт	1,2
Зерногрануліт 80/20	1,0
Зерногрануліт 30/70	1,1
Детоніти В-А, 10-А і М	0,8
Динафталіт	1,2
Пресований тротил	1,0
Скельний амоніт № 1	0,8

Таблиця Д.4

**Значення питомих витрат ВР *k* для підривання в різних грунтах
при днопоглиблювальних роботах**

Грунти	Значення питомих витрат ВР для шпурових зарядів, кг/м ³
Пухкий пісок та пливун	0,40
Гравілісті породи	0,70
Щільний пісок з дрібною галькою	0,90
Міцний, дуже щільний пісок або щільний пісок з крупною галькою	1,10
Щільний суглинок	1,35
Міцна синя глина	1,40
Скельні породи м'які з природними порушеннями	1,53
Скеля вапнякова (без тріщин) та інші скельні породи середньої міцності	1,86
Скеля гранітна	2,20

Таблиця Д.5

Витрати ВР (амоніту 6ЖВ) на корчування пнів

Грунти	Діаметр, м	Глибина підкопу, см	Давність рубання								
			Дуб, бук, береза			Сосна, смерека, ялиця			Вільха, осика		
			менше 1-го року	1 – 3 роки	понад 3 роки	менше 1-го року	1 – 3 роки	понад 3 роки	менше 1-го року	1 – 3 роки	понад 3 роки
Піщаний	15	25	0,45	0,38	0,30	0,38	0,30	0,28	0,30	0,23	0,15
	20	30	0,60	0,50	0,40	0,50	0,40	0,30	0,40	0,30	0,20
	30	45	0,90	0,75	0,60	0,75	0,60	0,45	0,60	0,45	0,30
	40	60	1,20	1,00	0,80	1,0	0,80	0,60	0,80	0,60	0,40
	50	75	1,50	1,25	1,00	1,25	1,00	0,75	1,00	0,75	0,50
	60	90	1,80	1,50	1,20	1,50	1,20	0,90	1,20	0,90	0,60
	70	100	2,00	1,75	1,40	1,75	1,40	1,00	1,40	1,00	0,70
	80	120	2,40	2,00	1,60	2,00	1,60	1,20	1,60	1,20	0,80
	90	135	2,70	2,25	1,80	2,25	1,80	1,35	1,80	1,35	0,90
100	150	3,00	2,50	2,00	2,50	2,00	1,50	2,00	1,50	1,00	
Глинистий	15	25	0,53	0,45	0,38	0,45	0,38	0,30	0,38	0,30	0,23
	20	30	0,70	0,60	0,50	0,60	0,50	0,40	0,50	0,40	0,30
	30	45	1,05	0,90	0,75	0,90	0,75	0,60	0,75	0,60	0,45
	40	60	1,40	1,20	1,00	1,20	1,00	0,80	1,00	0,80	0,60
	50	75	1,75	1,50	1,25	1,50	1,25	1,00	1,25	1,00	0,75
	60	90	2,10	1,80	1,50	1,80	1,50	1,20	1,50	1,20	0,90
	70	100	2,45	2,10	1,75	2,10	1,75	1,40	1,75	1,40	1,00
	80	120	2,80	2,40	2,00	2,40	2,00	1,60	2,00	1,60	1,20
	90	135	3,15	2,70	2,25	2,70	2,25	1,80	2,25	1,80	1,35
100	150	3,50	3,00	2,50	3,00	2,50	2,00	2,50	2,00	1,50	
Рослинний	15	25	0,60	0,53	0,45	0,53	0,45	0,38	0,45	0,38	0,30
	20	30	0,80	0,70	0,60	0,70	0,60	0,50	0,60	0,50	0,40
	30	45	1,20	1,05	0,90	1,05	0,90	0,75	0,90	0,75	0,60
	40	60	1,60	1,40	1,20	1,40	1,20	1,00	1,20	1,00	0,80
	50	75	2,00	1,75	1,50	1,75	1,50	1,25	1,50	1,25	1,00
	60	90	2,40	2,10	1,80	2,10	1,80	1,50	1,80	1,50	1,20
	70	100	2,80	2,45	2,10	2,45	2,10	1,75	2,10	1,75	1,40
	80	120	3,20	2,80	2,40	2,80	2,40	2,00	2,40	2,00	1,60
	90	135	3,60	3,15	2,70	3,15	2,70	2,25	2,70	2,25	1,80
100	150	4,00	3,50	3,00	3,50	3,00	2,50	3,00	2,50	2,00	

Вихідні дані до задачі підроз. 11.1

№ варіанта	Об'єм порожнини $V_n, \text{м}^3$	Тип породи	Показник прострілення $P_{np}, \text{дм}^3/\text{кг}$	Глибина закладення порожнини $W_{np}, \text{м}$	Тип ВР
1	150	Глина ломова	120	11	Амоніт 6ЖВ
2	160	Суглинок важкий	140	12	Амоніт № 9
3	170	Глина ломова	160	13	Пресований тротил
4	180	Лес	180	14	Скельний амоніт № 1
5	190	Крейда, вилужений мергель	120	15	Детоніт М
6	200	Гіпс	140	16	Динафталіт
7	150	Вапняк-черепашник	160	17	Алюматол
8	160	Опока, мергель	180	11	Амоніт 6ЖВ
9	170	Гіпс	120	12	Амоніт № 9
10	180	Глина ломова	140	13	Пресований тротил
11	190	Суглинок важкий	160	14	Скельний амоніт № 1
12	200	Глина ломова	180	15	Детоніт М
13	150	Лес	120	16	Динафталіт
14	160	Крейда, вилужений мергель	140	17	Алюматол
15	170	Гіпс	160	11	Амоніт 6ЖВ
16	180	Вапняк-черепашник	180	12	Амоніт № 9
17	190	Опока, мергель	120	13	Пресований тротил
18	200	Лес	140	14	Скельний амоніт № 1
19	150	Глина ломова	160	15	Детоніт М
20	160	Суглинок важкий	180	16	Динафталіт
21	170	Глина ломова	120	17	Алюматол
22	180	Лес	140	11	Амоніт 6ЖВ
23	190	Крейда, вилужений мергель	160	12	Амоніт № 9
24	200	Гіпс	180	13	Пресований тротил
25	150	Вапняк-черепашник	120	14	Скельний амоніт № 1
26	160	Опока, мергель	140	15	Детоніт М
27	170	Вапняк-черепашник	160	16	Динафталіт
28	180	Глина ломова	180	17	Алюматол
29	190	Суглинок важкий	120	11	Амоніт 6ЖВ
30	200	Глина ломова	140	12	Амоніт № 9
31	150	Лес	160	13	Пресований тротил
32	160	Крейда, вилужений мергель	180	14	Скельний амоніт № 1
33	170	Гіпс	120	15	Детоніт М
34	180	Вапняк-черепашник	140	16	Динафталіт
35	190	Опока, мергель	160	17	Алюматол
36	200	Суглинок важкий	180	11	Амоніт 6ЖВ
37	150	Глина ломова	120	12	Амоніт № 9
38	160	Суглинок важкий	140	13	Пресований тротил
39	170	Глина ломова	160	14	Скельний амоніт № 1
40	180	Лес	180	15	Детоніт М
41	190	Крейда, вилужений мергель	120	16	Динафталіт
42	200	Гіпс	140	17	Алюматол
43	150	Вапняк-черепашник	160	11	Амоніт 6ЖВ
44	160	Опока, мергель	180	12	Амоніт № 9
45	170	Лес	120	13	Пресований тротил
46	180	Глина ломова	140	14	Скельний амоніт № 1
47	190	Суглинок важкий	160	15	Детоніт М
48	200	Глина ломова	180	16	Динафталіт
49	150	Лес	120	17	Алюматол
50	160	Глина ломова	140	11	Амоніт 6ЖВ

Вихідні дані до задачі підроз. 11.2

№ варіанта	Ширина настипу поверху B , м	Глибина виторфовування H , м	Ширина поперечних траншей $D_{\text{пол}}$, м	Висота настипу над рівнем болота h_3 , м	Кут нахилу свердловини до горизонту α , град	Тип ВР	Зольність торфу, %
1	5,2	2,0	4,1	1,7	45	Амоніт 6ЖВ	20
2	5,4	2,2	4,4	1,9	50	Амоніт № 9	30
3	5,6	2,4	4,6	2,1	55	Пресований тротил	40
4	5,8	2,6	4,8	1,7	60	Скельний амоніт № 1	50
5	6,0	2,8	4,1	1,9	45	Детоніт М	60
6	6,2	2,0	4,4	2,1	50	Амоніт 6ЖВ	70
7	6,4	2,2	4,6	1,7	55	Амоніт № 9	20
8	6,6	2,4	4,8	1,9	60	Пресований тротил	30
9	5,2	2,6	4,1	2,1	45	Скельний амоніт № 1	40
10	5,4	2,8	4,4	1,7	50	Детоніт М	50
11	5,6	2,0	4,6	1,9	55	Амоніт 6ЖВ	60
12	5,8	2,2	4,8	2,1	60	Амоніт № 9	70
13	6,0	2,4	4,1	1,7	45	Пресований тротил	20
14	6,2	2,6	4,4	1,9	50	Скельний амоніт № 1	30
15	6,4	2,8	4,6	2,1	55	Детоніт М	40
16	6,6	2,0	4,8	1,7	60	Амоніт 6ЖВ	50
17	5,2	2,2	4,1	1,9	45	Амоніт № 9	60
18	5,4	2,4	4,4	2,1	50	Пресований тротил	70
19	5,6	2,6	4,6	1,7	55	Скельний амоніт № 1	20
20	5,8	2,8	4,8	1,9	60	Детоніт М	30
21	6,0	2,0	4,1	2,1	45	Амоніт 6ЖВ	40
22	6,2	2,2	4,4	1,7	50	Амоніт № 9	50
23	6,4	2,4	4,6	1,9	55	Пресований тротил	60
24	6,6	2,6	4,8	2,1	60	Скельний амоніт № 1	70
25	5,2	2,8	4,1	1,7	45	Детоніт М	20
26	5,4	2,0	4,4	1,9	50	Амоніт 6ЖВ	30
27	5,6	2,2	4,6	2,1	55	Амоніт № 9	40
28	5,8	2,4	4,8	1,7	60	Пресований тротил	50
29	6,0	2,6	4,1	1,9	45	Скельний амоніт № 1	60
30	6,2	2,8	4,4	2,1	50	Детоніт М	70
31	6,4	2,0	4,6	1,7	55	Амоніт 6ЖВ	20
32	6,6	2,2	4,8	1,9	60	Амоніт № 9	30
33	5,2	2,4	4,1	2,1	45	Пресований тротил	40
34	5,4	2,6	4,4	1,7	50	Скельний амоніт № 1	50
35	5,6	2,8	4,6	1,9	55	Детоніт М	60
36	5,8	2,0	4,8	2,1	60	Амоніт 6ЖВ	70
37	6,0	2,2	4,1	1,7	45	Амоніт № 9	20
38	6,2	2,4	4,4	1,9	50	Пресований тротил	30
39	6,4	2,6	4,6	2,1	55	Скельний амоніт № 1	40
40	6,6	2,8	4,8	1,7	60	Детоніт М	50
41	5,2	2,0	4,1	1,9	45	Амоніт 6ЖВ	60
42	5,4	2,2	4,4	2,1	50	Амоніт № 9	70
43	5,6	2,4	4,6	1,7	55	Пресований тротил	20
44	5,8	2,6	4,8	1,9	60	Скельний амоніт № 1	30
45	6,0	2,8	4,1	2,1	45	Детоніт М	40
46	6,2	2,0	4,4	1,7	50	Амоніт 6ЖВ	50
47	6,4	2,2	4,6	1,9	55	Амоніт № 9	60
48	6,6	2,4	4,8	2,1	60	Пресований тротил	20
49	5,2	2,6	4,1	1,7	45	Скельний амоніт № 1	30
50	5,4	2,8	4,4	1,9	50	Детоніт М	40

Вихідні дані до задачі підроз. 11.3

№ варіанта	Довжина насипу <i>A</i> , м	Відстань від поверхні болота до мінерального дна <i>H</i> , м	Тип ВР	Зольність торфу, %
1	15	1,8	Амоніт 6ЖВ	30
2	20	1,9	Амоніт № 9	40
3	25	2,0	Пресований тротил	50
4	30	2,1	Скельний амоніт № 1	60
5	35	2,2	Детоніт М	70
6	40	2,3	Динафталіт	20
7	45	2,4	Алюматол	30
8	15	2,5	Амоніт 6ЖВ	40
9	20	2,6	Амоніт № 9	50
10	25	2,7	Пресований тротил	60
11	30	2,8	Скельний амоніт № 1	70
12	35	2,9	Детоніт М	20
13	40	1,8	Динафталіт	30
14	45	1,9	Алюматол	40
15	15	2,0	Амоніт 6ЖВ	50
16	20	2,1	Амоніт № 9	60
17	25	2,2	Пресований тротил	70
18	30	2,3	Скельний амоніт № 1	20
19	35	2,4	Детоніт М	30
20	40	2,5	Динафталіт	40
21	45	2,6	Алюматол	50
22	15	2,7	Амоніт 6ЖВ	60
23	20	2,8	Амоніт № 9	70
24	25	2,9	Пресований тротил	20
25	30	1,8	Скельний амоніт № 1	30
26	35	1,9	Детоніт М	40
27	40	2,0	Динафталіт	50
28	45	2,1	Алюматол	60
29	15	2,2	Амоніт 6ЖВ	70
30	20	2,3	Амоніт № 9	20
31	25	2,4	Пресований тротил	30
32	30	2,5	Скельний амоніт № 1	40
33	35	2,6	Детоніт М	50
34	40	2,7	Динафталіт	60
35	45	2,8	Алюматол	70
36	15	2,9	Амоніт 6ЖВ	20
37	20	1,8	Амоніт №9	30
38	25	1,9	Пресований тротил	40
39	30	2,0	Скельний амоніт № 1	50
40	35	2,1	Детоніт М	60
41	40	2,2	Динафталіт	70
42	45	2,3	Алюматол	20
43	15	2,4	Амоніт 6ЖВ	30
44	20	2,5	Амоніт № 9	40
45	25	2,6	Пресований тротил	50
46	30	2,7	Скельний амоніт № 1	60
47	35	2,8	Детоніт М	70
48	40	2,9	Динафталіт	20
49	45	1,8	Алюматол	30
50	15	1,9	Амоніт 6ЖВ	40

Таблиця Д.9

Вихідні дані до задачі підроз. 11.4

№ варіанта	Довжина насипу A , м	Глибина болота H , м	Товщина верхнього покриву болота h_1 , м	Зольність торфу, %	Відстань від основи насипу до мінерального дна h_2 , м	Висота насипу h , м	Ширина насипу поверху B , м	Тип ВР
1	50	2,5	0,8	20	0,5	3,5	5,6	Детоніт М
2	60	2,7	0,9	30	0,6	3,6	5,8	Амоніт 6ЖВ
3	70	2,8	1,1	40	0,7	3,7	6,0	Амоніт № 9
4	80	2,9	1,2	40	0,8	3,8	6,2	Пресований тротил
5	90	3,0	0,8	50	0,9	3,9	6,4	Скельний амоніт № 1
6	50	2,5	0,9	60	1,0	4	6,4	Детоніт М
7	60	2,7	1,1	70	0,5	3,5	5,6	Динафталіт
8	70	2,8	1,2	20	0,6	3,6	5,8	Алюматол
9	80	2,9	0,8	30	0,7	3,7	6,0	Амоніт 6ЖВ
10	90	3,0	0,9	40	0,8	3,8	6,2	Амоніт № 9
11	50	2,5	1,1	40	0,9	3,9	6,4	Пресований тротил
12	60	2,7	1,2	50	1,0	4	6,4	Скельний амоніт № 1
13	70	2,8	0,8	60	0,5	3,5	5,6	Детоніт М
14	80	2,9	0,9	70	0,6	3,6	5,8	Динафталіт
15	90	3,0	1,1	20	0,7	3,7	6,0	Алюматол
16	50	2,5	1,2	30	0,8	3,8	6,2	Амоніт 6ЖВ
17	60	2,7	0,8	40	0,9	3,9	6,4	Амоніт № 9
18	70	2,8	0,9	40	1,0	4	6,4	Пресований тротил
19	80	2,9	1,1	50	0,5	3,5	5,6	Скельний амоніт № 1
20	90	3,0	1,2	60	0,6	3,6	5,8	Детоніт М
21	50	2,5	0,8	70	0,7	3,7	6,0	Динафталіт
22	60	2,7	0,9	20	0,8	3,8	6,2	Алюматол
23	70	2,8	1,1	30	0,9	3,9	6,4	Амоніт 6ЖВ
24	80	2,9	1,2	40	1,0	4	6,4	Амоніт № 9
25	90	3,0	0,8	40	0,5	3,5	5,6	Пресований тротил
26	50	2,5	0,9	50	0,6	3,6	5,8	Скельний амоніт № 1
27	60	2,7	1,1	60	0,7	3,7	6,0	Детоніт М
28	70	2,8	1,2	70	0,8	3,8	6,2	Динафталіт
29	80	2,9	0,8	20	0,9	3,9	6,4	Алюматол
30	90	3,0	0,9	30	1,0	4	6,4	Амоніт 6ЖВ
31	50	2,5	1,1	40	0,5	3,5	5,6	Амоніт № 9
32	60	2,7	1,2	40	0,6	3,6	5,8	Пресований тротил
33	70	2,8	0,8	50	0,7	3,7	6,0	Скельний амоніт № 1
34	80	2,9	0,9	60	0,8	3,8	6,2	Детоніт М
35	90	3,0	1,1	70	0,9	3,9	6,4	Динафталіт
36	50	2,5	1,2	20	1,0	4	6,4	Алюматол
37	60	2,7	0,8	30	0,5	3,5	5,6	Амоніт 6ЖВ
38	70	2,8	0,9	40	0,6	3,6	5,8	Амоніт № 9
39	80	2,9	1,1	40	0,7	3,7	6,0	Пресований тротил
40	90	3,0	1,2	50	0,8	3,8	6,2	Скельний амоніт № 1
41	50	2,5	0,8	60	0,9	3,9	6,4	Детоніт М
42	60	2,7	0,9	70	1,0	4	6,4	Динафталіт
43	70	2,8	1,1	20	0,5	3,5	5,6	Алюматол
44	80	2,9	1,2	30	0,6	3,6	5,8	Амоніт 6ЖВ
45	90	3,0	0,8	40	0,7	3,7	6,0	Амоніт № 9
46	50	2,5	0,9	40	0,8	3,8	6,2	Пресований тротил
47	60	2,7	1,1	50	0,9	3,9	6,4	Скельний амоніт № 1
48	70	2,8	1,2	60	1,0	4	6,4	Детоніт М
49	80	2,9	0,8	70	0,5	3,5	5,6	Динафталіт
50	90	3,0	0,9	20	0,6	3,6	5,8	Алюматол

Вихідні дані до задачі підроз. 11.5

№ варіанта	Тип ґрунту	Вид деревини	Площа ви-корчову-вання S, га	Гущина пнів q, на 1 га	Давнина рубання, роки	Діаметр пня d, см	Тип ВР	Процентне спів-відношення від загальної кількості
1	Піщаний	Дуб	8	500	4	20/40/60	Амоніт 6ЖВ	60/30/10
2	Глинистий	Сосна	9	600	2	30/45/50	Амоніт № 9	40/40/20
3	Рослинний	Смерека	10	700	0,5	15/60/90	Пресований тротил	30/30/40
4	Піщаний	Вільха	11	800	4	20/40/60	Скельний амоніт № 1	40/20/40
5	Глинистий	Береза	12	500	2	30/45/50	Детоніт М	60/30/10
6	Рослинний	Дуб	8	600	0,5	15/60/90	Динафталіт	40/40/20
7	Піщаний	Сосна	9	700	4	20/40/60	Алюматол	30/30/40
8	Глинистий	Смерека	10	800	2	30/45/50	Амоніт 6ЖВ	40/20/40
9	Рослинний	Вільха	11	500	0,5	15/60/90	Амоніт № 9	60/30/10
10	Піщаний	Береза	12	600	4	20/40/60	Пресований тротил	40/40/20
11	Глинистий	Дуб	8	700	2	30/45/50	Скельний амоніт № 1	30/30/40
12	Рослинний	Сосна	9	800	0,5	15/60/90	Детоніт М	40/20/40
13	Піщаний	Смерека	10	500	4	20/40/60	Динафталіт	60/30/10
14	Глинистий	Вільха	11	600	2	30/45/50	Алюматол	40/40/20
15	Рослинний	Береза	12	700	0,5	15/60/90	Амоніт 6ЖВ	30/30/40
16	Піщаний	Дуб	8	800	4	20/40/60	Амоніт № 9	40/20/40
17	Глинистий	Сосна	9	500	2	30/45/50	Пресований тротил	60/30/10
18	Рослинний	Смерека	10	600	0,5	15/60/90	Скельний амоніт № 1	40/40/20
19	Піщаний	Вільха	11	700	4	20/40/60	Детоніт М	30/30/40
20	Глинистий	Береза	12	800	2	30/45/50	Динафталіт	40/20/40
21	Рослинний	Дуб	8	500	0,5	15/60/90	Алюматол	60/30/10
22	Піщаний	Сосна	9	600	4	20/40/60	Амоніт 6ЖВ	40/40/20
23	Глинистий	Смерека	10	700	2	30/45/50	Амоніт № 9	30/30/40
24	Рослинний	Вільха	11	800	0,5	15/60/90	Пресований тротил	40/20/40
25	Піщаний	Береза	12	500	4	20/40/60	Скельний амоніт № 1	60/30/10
26	Глинистий	Дуб	8	600	2	30/45/50	Детоніт М	40/40/20
27	Рослинний	Сосна	9	700	0,5	15/60/90	Динафталіт	30/30/40
28	Піщаний	Смерека	10	800	4	20/40/60	Алюматол	40/20/40
29	Глинистий	Вільха	11	500	2	30/45/50	Амоніт 6ЖВ	60/30/10
30	Рослинний	Береза	12	600	0,5	15/60/90	Амоніт № 9	40/40/20
31	Піщаний	Дуб	8	700	4	20/40/60	Пресований тротил	30/30/40
32	Глинистий	Сосна	9	800	2	30/45/50	Скельний амоніт № 1	40/20/40
33	Рослинний	Смерека	10	500	0,5	15/60/90	Детоніт М	60/30/10
34	Піщаний	Вільха	11	600	4	20/40/60	Динафталіт	40/40/20
35	Глинистий	Береза	12	700	2	30/45/50	Алюматол	30/30/40
36	Рослинний	Дуб	8	800	0,5	15/60/90	Амоніт 6ЖВ	40/20/40
37	Піщаний	Сосна	9	500	4	20/40/60	Амоніт № 9	60/30/10
38	Глинистий	Смерека	10	600	2	30/45/50	Пресований тротил	40/40/20
39	Рослинний	Вільха	11	700	0,5	15/60/90	Скельний амоніт № 1	30/30/40
40	Піщаний	Береза	12	800	4	20/40/60	Детоніт М	40/20/40
41	Глинистий	Дуб	8	500	2	30/45/50	Динафталіт	60/30/10
42	Рослинний	Сосна	9	600	0,5	15/60/90	Алюматол	40/40/20
43	Піщаний	Смерека	10	700	4	20/40/60	Амоніт 6ЖВ	30/30/40
44	Глинистий	Вільха	11	800	2	30/45/50	Амоніт № 9	40/20/40
45	Рослинний	Береза	12	500	0,5	15/60/90	Пресований тротил	60/30/10
46	Піщаний	Дуб	8	600	4	20/40/60	Скельний амоніт № 1	40/40/20
47	Глинистий	Сосна	9	700	2	30/45/50	Детоніт М	30/30/40
48	Рослинний	Смерека	10	800	0,5	15/60/90	Динафталіт	40/20/40
49	Піщаний	Вільха	11	500	4	20/40/60	Алюматол	60/30/10
50	Глинистий	Береза	12	600	2	30/45/50	Амоніт 6ЖВ	40/40/20

Вихідні дані до задачі підроз. 11.6

№ варіанта	Тип ВР	Тип ґрунту	Потужність мерзлого шару H , м	Довжина вибою A , м	Відносна відстань між зарядами в ряді m
1	Амоніт 6ЖВ	Глинистий і з будівельним сміттям	1,2	10	1,1
2	Амоніт № 9	З галькою	1,3	20	1,2
3	Детоніт М	Рослинний і піщаний	1,4	30	1,3
4	Скельний амоніт № 1	Глинистий і з будівельним сміттям	1,5	40	1,4
5	Амоніт 6ЖВ	З галькою	1,6	50	1,5
6	Амоніт № 9	Рослинний і піщаний	1,7	10	1,0
7	Детоніт М	Глинистий і з будівельним сміттям	1,8	20	1,1
8	Скельний амоніт № 1	З галькою	1,2	30	1,2
9	Амоніт 6ЖВ	Рослинний і піщаний	1,3	40	1,3
10	Амоніт № 9	Глинистий і з будівельним сміттям	1,4	50	1,4
11	Детоніт М	З галькою	1,5	10	1,5
12	Скельний амоніт № 1	Рослинний і піщаний	1,6	20	1,0
13	Амоніт 6ЖВ	Глинистий і з будівельним сміттям	1,7	30	1,1
14	Амоніт № 9	З галькою	1,8	40	1,2
15	Детоніт М	Рослинний і піщаний	1,2	50	1,3
16	Скельний амоніт № 1	Глинистий і з будівельним сміттям	1,3	10	1,4
17	Амоніт 6ЖВ	З галькою	1,4	20	1,5
18	Амоніт № 9	Рослинний і піщаний	1,5	30	1,0
19	Детоніт М	Глинистий і з будівельним сміттям	1,6	40	1,1
20	Скельний амоніт № 1	З галькою	1,7	50	1,2
21	Амоніт 6ЖВ	Рослинний і піщаний	1,8	10	1,3
22	Амоніт № 9	Глинистий і з будівельним сміттям	1,2	20	1,4
23	Детоніт М	З галькою	1,3	30	1,5
24	Скельний амоніт № 1	Рослинний і піщаний	1,4	40	1,0
25	Амоніт 6ЖВ	Глинистий і з будівельним сміттям	1,5	50	1,1
26	Амоніт № 9	З галькою	1,6	10	1,2
27	Детоніт М	Рослинний і піщаний	1,7	20	1,3
28	Скельний амоніт № 1	Глинистий і з будівельним сміттям	1,8	30	1,4
29	Амоніт 6ЖВ	З галькою	1,2	40	1,5
30	Амоніт № 9	Рослинний і піщаний	1,3	50	1,0
31	Детоніт М	Глинистий і з будівельним сміттям	1,4	10	1,1
32	Скельний амоніт № 1	З галькою	1,5	20	1,2
33	Амоніт 6ЖВ	Рослинний і піщаний	1,6	30	1,3
34	Амоніт №9	Глинистий і з будівельним сміттям	1,7	40	1,4
35	Детоніт М	З галькою	1,8	50	1,5
36	Скельний амоніт № 1	Рослинний і піщаний	1,2	10	1,0
37	Амоніт 6ЖВ	Глинистий і з будівельним сміттям	1,3	20	1,1
38	Амоніт № 9	З галькою	1,4	30	1,2
39	Детоніт М	Рослинний і піщаний	1,5	40	1,3
40	Скельний амоніт № 1	Глинистий і з будівельним сміттям	1,6	50	1,4
41	Амоніт 6ЖВ	З галькою	1,7	10	1,5
42	Амоніт №9	Рослинний і піщаний	1,8	20	1,0
43	Детоніт М	Глинистий і з будівельним сміттям	1,2	30	1,1
44	Скельний амоніт №1	З галькою	1,3	40	1,2
45	Амоніт 6ЖВ	Рослинний і піщаний	1,4	50	1,3
46	Амоніт № 9	Глинистий і з будівельним сміттям	1,5	10	1,4
47	Детоніт М	З галькою	1,6	20	1,5
48	Скельний амоніт № 1	Рослинний і піщаний	1,7	30	1,0
49	Амоніт 6ЖВ	Глинистий і з будівельним сміттям	1,8	40	1,1
50	Амоніт № 9	З галькою	1,2	50	1,2

Вихідні дані до задачі підроз. 11.7

№ варіанта	Тип ВР	Кількість малокамерних зарядів $n_{зар}$	Потужність мерзлого шару H , м	Відносна відстань між зарядами в ряду m
1	Амоніт 6ЖВ	7	2,5	1,5
2	Амоніт № 9	8	2,6	1,4
3	Детоніт М	9	2,7	1,3
4	Скельний амоніт № 1	10	2,8	1,2
5	Амоніт 6ЖВ	11	2,9	1,1
6	Амоніт № 9	7	3,0	1,5
7	Детоніт М	8	3,1	1,4
8	Скельний амоніт № 1	9	2,5	1,3
9	Амоніт 6ЖВ	10	2,6	1,2
10	Амоніт № 9	11	2,7	1,1
11	Детоніт М	7	2,8	1,5
12	Скельний амоніт № 1	8	2,9	1,4
13	Амоніт 6ЖВ	9	3,0	1,3
14	Амоніт № 9	10	3,1	1,2
15	Детоніт М	11	2,5	1,1
16	Скельний амоніт № 1	7	2,6	1,5
17	Амоніт 6ЖВ	8	2,7	1,4
18	Амоніт № 9	9	2,8	1,3
19	Детоніт М	10	2,9	1,2
20	Скельний амоніт № 1	11	3,0	1,1
21	Амоніт 6ЖВ	7	3,1	1,5
22	Амоніт № 9	8	2,5	1,4
23	Детоніт М	9	2,6	1,3
24	Скельний амоніт № 1	10	2,7	1,2
25	Амоніт 6ЖВ	11	2,8	1,1
26	Амоніт № 9	7	2,9	1,5
27	Детоніт М	8	3,0	1,4
28	Скельний амоніт № 1	9	3,1	1,3
29	Амоніт 6ЖВ	10	2,5	1,2
30	Амоніт № 9	11	2,6	1,1
31	Детоніт М	7	2,7	1,5
32	Скельний амоніт № 1	8	2,8	1,4
33	Амоніт 6ЖВ	9	2,9	1,3
34	Амоніт № 9	10	3,0	1,2
35	Детоніт М	11	3,1	1,1
36	Скельний амоніт № 1	7	2,5	1,5
37	Амоніт 6ЖВ	8	2,6	1,4
38	Амоніт №9	9	2,7	1,3
39	Детоніт М	10	2,8	1,2
40	Скельний амоніт №1	11	2,9	1,1
41	Амоніт 6ЖВ	7	3,0	1,5
42	Амоніт № 9	8	3,1	1,4
43	Детоніт М	9	2,5	1,3
44	Скельний амоніт № 1	10	2,6	1,2
45	Амоніт 6ЖВ	11	2,7	1,1
46	Амоніт № 9	7	2,8	1,5
47	Детоніт М	8	2,9	1,4
48	Скельний амоніт № 1	9	3,0	1,3
49	Амоніт 6ЖВ	10	3,1	1,2
50	Амоніт № 9	11	2,5	1,1

Вихідні дані до задачі підроз. 11.8

№ варіанта	Величина поглиблення дна ріки h , м	Тип порід	Ширина ділянки B , м	Довжина ділянки L , м	Тип ВР
1	1	Пухкий пісок та пливун	6	100	Детоніт М
2	1,1	Гравілісті породи	7	110	Скельний амоніт № 1
3	1,2	Щільний пісок з дрібною галькою	8	120	Амоніт 6ЖВ
4	1,3	Пухкий пісок та пливун	9	130	Амоніт № 9
5	1,4	Щільний суглинок	10	140	Детоніт М
6	1,5	Міцна синя глина	11	150	Скельний амоніт № 1
7	1,6	Щільний суглинок	12	100	Амоніт 6ЖВ
8	1,7	Гравілісті породи	6	110	Амоніт № 9
9	1,8	Скеля гранітна	7	120	Детоніт М
10	1	Пухкий пісок та пливун	8	130	Скельний амоніт № 1
11	1,1	Гравілісті породи	9	140	Амоніт 6ЖВ
12	1,2	Щільний пісок з дрібною галькою	10	150	Амоніт № 9
13	1,3	Міцна синя глина	11	100	Детоніт М
14	1,4	Щільний суглинок	12	110	Скельний амоніт № 1
15	1,5	Міцна синя глина	6	120	Амоніт 6ЖВ
16	1,6	Пухкий пісок та пливун	7	130	Амоніт № 9
17	1,7	Щільний пісок з дрібною галькою	8	140	Детоніт М
18	1,8	Скеля гранітна	9	150	Скельний амоніт № 1
19	1	Пухкий пісок та пливун	10	100	Амоніт 6ЖВ
20	1,1	Гравілісті породи	11	110	Амоніт № 9
21	1,2	Щільний пісок з дрібною галькою	12	120	Детоніт М
22	1,3	Міцний, дуже щільний пісок або щільний пісок з крупною галькою	6	130	Скельний амоніт № 1
23	1,4	Щільний суглинок	7	140	Амоніт 6ЖВ
24	1,5	Міцна синя глина	8	150	Амоніт № 9
25	1,6	Скельні породи м'які з природними порушеннями	9	100	Детоніт М
26	1,7	Скеля вапнякова (без тріщин) та інші скельні породи середньої міцності	10	110	Скельний амоніт № 1
27	1,8	Скеля гранітна	11	120	Амоніт 6ЖВ
28	1	Пухкий пісок та пливун	12	130	Амоніт № 9
29	1,1	Гравілісті породи	6	140	Детоніт М
30	1,2	Щільний пісок з дрібною галькою	7	150	Скельний амоніт №1
31	1,3	Міцний, дуже щільний пісок або щільний пісок з крупною галькою	8	100	Амоніт 6ЖВ
32	1,4	Щільний суглинок	9	110	Амоніт № 9
33	1,5	Міцна синя глина	10	120	Детоніт М
34	1,6	Скельні породи м'які з природними порушеннями	11	130	Скельний амоніт № 1
35	1,7	Скеля вапнякова (без тріщин) та інші скельні породи середньої міцності	12	140	Амоніт 6ЖВ
36	1,8	Скеля гранітна	6	150	Амоніт № 9
37	1	Пухкий пісок та пливун	7	100	Детоніт М
38	1,1	Гравілісті породи	8	110	Скельний амоніт № 1
39	1,2	Щільний пісок з дрібною галькою	9	120	Амоніт 6ЖВ
40	1,3	Пухкий пісок та пливун	10	130	Амоніт № 9
41	1,4	Щільний суглинок	11	140	Детоніт М
42	1,5	Міцна синя глина	12	150	Скельний амоніт № 1
43	1,6	Пухкий пісок та пливун	6	100	Амоніт 6ЖВ
44	1,7	Щільний пісок з дрібною галькою	7	110	Амоніт № 9
45	1,8	Скеля гранітна	8	120	Детоніт М
46	1	Пухкий пісок та пливун	9	130	Скельний амоніт № 1
47	1,1	Гравілісті породи	10	140	Амоніт 6ЖВ
48	1,2	Щільний пісок з дрібною галькою	11	150	Амоніт № 9
49	1,3	Скеля гранітна	12	100	Детоніт М
50	1,4	Щільний суглинок	6	110	Скельний амоніт № 1

Вихідні дані до задачі підроз. 11.9

№ варіанта	Тип ВР	Ширина русла ріки B , м	Товщина льоду h , м
1	Детоніт М	10	0,5
2	Скельний амоніт № 1	11	0,6
3	Амоніт 6ЖВ	12	0,7
4	Амоніт № 9	13	0,8
5	Детоніт М	14	0,9
6	Скельний амоніт № 1	15	1,0
7	Амоніт 6ЖВ	16	1,1
8	Амоніт №9	17	1,2
9	Детоніт М	18	0,5
10	Скельний амоніт № 1	19	0,6
11	Амоніт 6ЖВ	20	0,7
12	Амоніт № 9	21	0,8
13	Детоніт М	22	0,9
14	Скельний амоніт № 1	23	1,0
15	Амоніт 6ЖВ	24	1,1
16	Амоніт № 9	25	1,2
17	Детоніт М	26	0,5
18	Скельний амоніт № 1	27	0,6
19	Амоніт 6ЖВ	28	0,7
20	Амоніт № 9	29	0,8
21	Детоніт М	30	0,9
22	Скельний амоніт № 1	10	1,0
23	Амоніт 6ЖВ	11	1,1
24	Амоніт № 9	12	1,2
25	Детоніт М	13	0,5
26	Скельний амоніт № 1	14	0,6
27	Амоніт 6ЖВ	15	0,7
28	Амоніт №9	16	0,8
29	Детоніт М	17	0,9
30	Скельний амоніт №1	18	1,0
31	Амоніт 6ЖВ	19	1,1
32	Амоніт № 9	20	1,2
33	Детоніт М	21	0,5
34	Скельний амоніт № 1	22	0,6
35	Амоніт 6ЖВ	23	0,7
36	Амоніт № 9	24	0,8
37	Детоніт М	25	0,9
38	Скельний амоніт № 1	26	1,0
39	Амоніт 6ЖВ	27	1,1
40	Амоніт № 9	28	1,2
41	Детоніт М	29	0,5
42	Скельний амоніт № 1	30	0,6
43	Амоніт 6ЖВ	10	0,7
44	Амоніт № 9	11	0,8
45	Детоніт М	12	0,9
46	Скельний амоніт № 1	13	1,0
47	Амоніт 6ЖВ	14	1,1
48	Амоніт № 9	15	1,2
49	Детоніт М	16	0,5
50	Скельний амоніт № 1	17	0,6

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Физика взрыва / Ф.А. Баум [и др.]. – М. : Наука, 1975. – 704 с.
2. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення: НПАОП 0.00-1.66-13 : затв. М-вом енергетики та вугіл. пром-сті України 12.06.2013. – Луганськ : Луганський ЕТЦ, 2013. – 194 с.
3. Кутузов Б.Н. Взрывные работы / Б.Н. Кутузов. – М. : Недра, 1988. – 383 с.
4. Взрывное дело / С.А. Ловля [и др.]. – М. : Недра, 1976. – 272 с.
5. Лабораторные и практические работы по разрушению горных пород взрывом / Б.Н. Кутузов [и др.]. – М. : Недра, 1981. – 256 с.
6. Богацкий В.Ф. Сейсмическая безопасность при взрывных работах / В.Ф. Богацкий, В.Х. Пергамент. – М. : Недра, 1978. – 128 с.
7. Дубнов Л.В. Промышленные взрывчатые вещества / Л.В. Дубнов, Н.С. Бахаревич, А.И. Романов. – М. : Недра, 1988. – 358 с.
8. Справочник по буровзрывным работам / М.Ф. Друкованый [и др.]. – М. : Недра, 1976. – 631 с.
9. Детонационные волны в конденсированных средах / А.Н. Дремин [и др.]. – М. : Наука, 1970. – 164 с.
10. Станюкович К.П. Неустановившиеся движения сплошной среды / К.П. Станюкович. – М. : Наука, 1971. – 856 с.
11. Гласс И.И. Ударные волны и человек / И.И. Гласс. – М. : Мир, 1977. – 191 с.
12. Таранов П.Я. Разрушение горных пород взрывом / П.Я. Таранов, А.Г. Гудзь. – М. : Недра, 1976. – 253 с.
13. Унифицированные типовые сечения горных выработок: в 3-х т. – К. : Будівельник, 1971. – Т. 1. – 416 с.
14. Руйнування гірських порід вибухом: підруч. для ВНЗ / М.Р. Шевцов [та ін.]. – 4-е вид., переробл. і допов. – Донецьк : Лебідь, 2003. – 272 с.
15. Суханов А.Ф. Разрушение горных пород взрывом / А.Ф. Суханов, Б.Н. Кутузов. – М. : Недра, 1983. – 334 с.
16. Машины и оборудование для угольных шахт: справочник / под ред. В.Н. Хорина. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1987. – 424 с.
17. Росинский Н.Л. Мастер-взрывник / Н.Л. Росинский, М.А. Магойченков, Ф.М. Галаджий. – М. : Недра, 1988. – 348 с.
18. Эстеров Я.Х. Задачник по взрывным работам на карьерах / Я.Х. Эстеров, Г.А. Васильев. – М. : Недра, 1967. – 148 с.
19. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. Взрывные технологии в промышленности / Б.Н. Кутузов. – М. : МГГУ, 1994. – 352 с.

ТАБЛИЦІ ОДИНИЦЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Зв'язок між одиницями маси			
Одиниця	кг	г	т
1 т	10^3	10^6	–
1 кг	–	10^3	10^{-3}
1 г	10^{-3}	–	10^{-6}
Зв'язок між одиницями сили			
Одиниця	Н	дин	кгс
1 Н	–	10^5	0,102
1 дин	10^{-5}	–	$1,02 \cdot 10^{-6}$
1 кгс	9,81	$9,81 \cdot 10^5$	–

Зв'язок між одиницями тиску

Одиниця	Па	кгс/м ²	кгс/см ²	бар	атм
1 Па	1	0,1	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}
1 кгс/м ²	10	1	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
(мм вод. ст.)					
1 кгс/см ²	10^5	10^4	1	1	1
1 бар	10^5	10^4	1	1	1
1 атм	10^5	10^4	1	1	1

Зв'язок між одиницями роботи й енергії

Одиниця	Дж	ерг	кгс·м	кал	ккал
1 Дж	1	10^7	0,1	0,239	$2,39 \cdot 10^{-4}$
1 ерг	10^{-7}	1	10^{-8}	$2,39 \cdot 10^{-8}$	$2,39 \cdot 10^{-11}$
1 кгс·м	10	10^8	1	2,34	$2,34 \cdot 10^{-3}$
1 кал	4,19	$4,19 \cdot 10^7$	0,427	1	10^{-3}
1 ккал	$4,19 \cdot 10^3$	$4,19 \cdot 10^{10}$	427	10^3	1

Навчальне видання

Соболєв Валерій Вікторович
Усик Ігор Іванович
Терещук Роман Миколайович

ТЕХНОЛОГІЯ ТА БЕЗПЕКА ВИКОНАННЯ ВИБУХОВИХ РОБІТ
ПРАКТИКУМ

Підручник

Редактор Ю.В. Рачковська

Підп. до друку 15.07.2014. Формат 30×42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 9,6.
Обл.-вид. арк. 9,6. Тираж 300 пр. Зам. №____

Підготовлено до друку та видруковано
у Державному вищому навчальному закладі
«Національний гірничий університет».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842
від 11.06. 2004.

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.