МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Б.Ю. Собко
О.В. Ложніков
М.О. Чебанов

БУРОПІДРИВНІ РОБОТИ НА КАР'ЄРАХ

Навчальний посібник

Дніпро
НТУ «ДП»
2025

УДК: 622.235:622.271(075.8)
С 54

Рекомендовано вченою радою НТУ "Дніпровська політехніка"
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра спеціальності
184 Гірництво (протокол № 1 від 22.01.2025 р.)

Рецензенти:

Жуков С.О. – д-р техн. наук, проф. (Криворізький національний університет);
Іщенко К.С. – д-р техн. наук (Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.

Собко Б.Ю.
С 54 Буропідривні роботи на кар'єрах: навч. посіб. / Б.Ю. Собко, О.В. Ложніков, М.О. Чебанов; М-во освіти і науки України, НТУ «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – 213 с.

ISBN

У навчальному посібнику викладено основні засади технології буріння свердловин на кар'єрах. Наведено способи буріння та дані про бурові верстати, що застосовуються на кар'єрах. У посібнику розглянуто загальні відомості про вибух і вибухові речовини та способи ініціювання зарядів вибухових речовин. Викладено методи вибухових робіт на кар'єрах та раціональні конструкції свердловинних зарядів, методи руйнування негабаритів. У посібнику розглянуто питання підготовки фахівців із формування їх компетентності на основі сучасних геоінформаційних систем гірничо-геологічного моделювання: K-MINE, Micromine, Geovia Surpac для проєктування буропідривних робіт при відкритих гірничих роботах. Подано тестовий контроль знань, який можна використовувати для закріплення матеріалу, а також для оцінювання знань за темами розділів посібника.

Навчальний посібник рекомендується здобувачам освітнього рівня бакалавра спеціальності 184 «Гірництво».

УДК: 622.235:622.271(075.8)

ISBN
© Б.Ю. Собко, О.В. Ложніков, М.О. Чебанов, 2025
© НТУ «Дніпровська політехніка», 2025

ЗМІСТ

ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ТЕРМІНОЛОГІЯ 6
СКОРОЧЕНІ ПОЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕРМІНІВ 9
ПЕРЕДМОВА 10
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ БУРОВИХ РОБІТ НА КАР'ЄРАХ 14
1.1. Способи буріння 14
1.2. Бурові верстати на кар'єрах та їх основні параметри 16
1.2.1. Верстати обертального (шнекового) буріння 18
1.2.2. Верстати шарошкового буріння 20
1.2.3. Верстати ударно-обертального буріння 23
1.2.4. Верстати вогневого буріння 26
1.3. Продуктивність бурових верстатів 27
Контрольні запитання 30
Список рекомендованої літератури до розділу 1 30
РОЗДІЛ 2. ТЕОРІЯ ВИБУХУ ТА ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ 31
2.1. Загальні відомості про вибух і вибухові речовини 31
2.2. Механізм руйнування гірських порід зарядами вибухових речовин 34
2.3. Технологічна характеристика вибухових речовин 37
2.4. Класифікація вибухових речовин 41
2.5. Способи та засоби підривання зарядів ВР 52
2.5.1. Неелектричні системи ініціювання зарядів ВР 62
Контрольні запитання 73
Список рекомендованої літератури до розділу 2 73
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИБУХОВИХ РОБІТ ПРИ ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБОТАХ 75
3.1. Методи вибухових робіт на кар'єрах 75
3.2. Конструкції свердловинних зарядів ВР 77
3.2.1. Раціональні конструкції свердловинних зарядів 81
3.2.2. Свердловинні заряди ВР з повітряними проміжками 81
3.2.3. Підривання з внутрішньо-свердловинним уповільненням 83
3.2.4. Конструкція свердловинного заряду з інертним зазором між ВР і стінками свердловини 85
3.2.5. Комбіновані свердловинні заряди вибухових речовин 86
3.2.6. Свердловинний заряд з котловими розширеннями 87

3.2.7. Заряди вибухових речовин із зазором в верхній частині свердловини 89
3.2.8. Свердловинні заряди вибухових речовин змінного діаметра по висоті уступу 90
3.3. Конструкції набійки свердловинних зарядів ВР 92
3.4. Розрахунок параметрів свердловинних зарядів 93
3.5. Схеми підривання свердловинних зарядів 98
3.6. Характеристика розвалу підірваної гірничої маси 105
3.7. Методи руйнування негабаритів 110
3.8. Особливості вибухових робіт на кар'єрах облицювального каменю 115
3.9. Механізація вибухових робіт 116
Контрольні запитання 119
Список рекомендованої літератури до розділу 3 120
РОЗДІЛ 4. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ БУРОПІДРИВНИХ РОБОТАХ В КАР'ЄРАХ 121
4.1. Застосування інформаційних технологій при бурових роботах 121
4.2. Автоматизована система ведення буропідривних робіт з використанням ГІС K-MINE 128
4.2.1. Загальні положення 128
4.2.2. Проєктування бурових робіт 130
4.2.3. Інтеграція з буровим обладнанням 133
4.2.4. Розрахунок зарядів свердловин 136
4.2.5. Проєктування комутації блоку та засобів ініціювання 138
4.2.6. Формування звітності на масовий вибух 141
4.2.7. Обмін даними зі змішувально-зарядними машинами 142
4.2.8. Контроль гранулометричного складу гірничої маси 145
4.3. Проєктування буропідривних робіт з використанням сучасного гірничо-геологічного програмного забезпечення на прикладі Micromine Beyond 148
4.4. Проєктування буропідривних робіт із застосуванням системи гірничо-геологічного моделювання в Geovia Surpac 159
Контрольні запитання: 173
Список рекомендованої літератури до розділу 4 173
РОЗДІЛ 5. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА БЕЗПЕКА ВИКОНАННЯ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ НА КАР'ЄРАХ 176
5.1. Організація та основи безпеки виконання бурових робіт 176
5.2. Визначення безпечних відстаней при виконанні підривних робіт 181
5.3. Організація та безпека проведення вибухових робіт на кар'єрах 183

Контрольні запитання:..... 188
Список рекомендованої літератури до розділу 5..... 188
ТЕСТОВИЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНЬ..... 190
Тести до першого розділу 190
Тести до другого розділу..... 192
Тести до третього розділу..... 194
Тести до четвертого розділу 196
Тести до п'ятого розділу 198
Еталонні відповіді до тестів 200
КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ..... 202
Еталонні відповіді до контрольних завдань 204
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ..... 206
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК 210

ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ТЕРМІНОЛОГІЯ

Відбійка, дроблення і переміщення (викид та скидання) гірських порід при їх розробці здійснюється за допомогою зарядів ВР, що розміщуються в шпурах, свердловинах, камерах або траншеях.

Шпур – штучне циліндричне заглиблення в гірській породі діаметром не більше 75 мм та глибиною до 5 м.

Свердловина – штучне циліндричне поглиблення діаметром понад 75 мм при глибині до 5 м і будь-якого діаметра при глибині більше 5 м.

Для розміщення великих зарядів (до декількох тонн) застосовують зарядні камені зазвичай прямокутної форми.

Виробки – камери, призначені для розміщення зарядів ВР на кар'єрах та гідротехнічних об'єктах, що мають безпосередній вихід на поверхню.

Буровими називаються роботи з утворення шпурів або свердловин бурильними машинами.

Буріння – процес послідовного руйнування породи на вибої шпура або свердловини та видалення продуктів руйнування на поверхню.

Вибуховими називаються роботи з відбійки, дроблення та переміщення порід за допомогою вибухів зарядів ВР.

Заряд – певна кількість ВР, яка міститься у бойовику. Величина (маса) заряду вказується в кілограмах чи тоннах.

Заряджання – процес розміщення заряду в шпурі, свердловині, камері чи траншеї.

Зовнішнім (накладним) називається заряд, що розташовується на вибуховому об'єкті.

Внутрішнім є заряд, який розміщується в об'єкті, що вибухає, у шпурах, свердловинах чи камерах.

Зосередженим називається заряд, котрий має форму куба, кулі або циліндра. Його довжина не перевищує трьох власних діаметрів, або

паралелепіпеда з тим самим співвідношенням розмірів. Якщо довжина заряду більша за вказані величини, то його вважають подовженим (колонковим).

Суцільним називається заряд, не розділений проміжками.

Розосередженим є заряд, окремі частини якого розділені проміжками – повітрям, водою, породою, деревом тощо.

Вибуховими речовинами називаються хімічні сполуки або механічні суміші, котрі під дією зовнішнього імпульсу (нагрівання, удар, іскра вогню) здатні вибухати. Вибух промислових ВР відбувається у формі детонації.

Вибухом ВР називається його надзвичайно швидке (надзвукове) хімічне перетворення, при якому виділяється тепло і велика кількість газів, здатних виконувати механічну роботу руйнування і переміщення навколишнього середовища.

Вибух – процес ініціювання зарядів у заданій послідовності способами, що забезпечують безпеку та ефективність їх виконання.

При відкритих гірничих роботах застосовують вогневе, електровогневе та електричне підривання зарядів.

Вогневим є спосіб детонування зарядів за допомогою капсуля-детонатора (КД), що ініціюється з'єднаним з ним відрізком вогнепровідного шнура (ВШ).

Електровогневе підривання відрізняється від вогневого тим, що відрізок ДШ підпалюється за допомогою електрозапальника, струм в який подається від мережі або вибухових приладів з безпечного місця.

Електричне підривання – спосіб за допомогою електродетонаторів (ЕД), під'єднаних в електровибухову мережу, струм в яку подається підривником з безпечного місця.

Детонація – поширення вибуху від заряду ВР, обумовлене проходженням детонаційної хвилі з постійною надзвуковою швидкістю.

Детонаційною є хвиля стиснення, що поширюється від заряду з надзвуковою постійною швидкістю, яка забезпечує виникнення за переднім її фронтом швидкої хімічної реакції ВР, тобто вона являє собою сукупність ударної хвилі та наступної за нею зони хімічного перетворення ВР.

Ударною називається хвиля стиснення, що розповсюджується по середовищу з надзвуковою швидкістю, на передньому фронті якої миттєво (стрибкоподібно) змінюються всі термодинамічні параметри: тиск, щільність, температура.

Для підривання або детонування зарядів в них розміщують засоби ініціювання (ЗІ) – капсулі-детонатори, електродетонатори, детонуючий шнур або спеціальні проміжні детонатори. Вони значно чутливіші до зовнішніх впливів порівняно із зарядами та промисловими ВР.

Підривання детонуючого шнура (ДШ), введеного в заряди для їх детонування, виконується вогневим або електричним способом.

Капсуль-детонатор – невеликий заряд чутливих ініціюючих ВР, розміщений у металевій або картонній гільзі.

СКОРОЧЕНІ ПОЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕРМІНІВ

АС – аміачна селітра

АС-ДП (AN-FO) – суміш аміачної селітри з дизельним паливом

БВР – бризантні вибухові речовини

БПР – буропідривні роботи

ВР – вибухова речовина

ВС – вибухові суміші

ВМ – вибухові матеріали

ВШ – вогнепровідний шнур

ДШ – детонуючий шнур

ЕВР – емульсійні вибухові речовини

ЕД – електродетонатор

ЗІ – засоби ініціювання

ЗЗМ – змішувально-зарядна машина

ІВР – ініціюючі вибухові речовини

КД – капсуль-детонатор

КаС – калієва селітра

ЛНО – лінія найменшого опору

МВ – масовий вибух

НСІ – неелектричні системи ініціювання

ПБ – патрон-бойовик

ПВ – продукти вибуху

ПВР – промислові вибухові речовини

ППС – пило-повітряна суміш

ПГПС – пило-газо-повітряна суміш

ПД – проміжний детонатор

ТУ – технічні умови

УПХ – ударно-повітряна хвиля

ПЕРЕДМОВА

Початковим процесом технології відкритої розробки родовищ корисних копалин є відокремлення гірських порід від масиву та їх дроблення на шматки заданих розмірів. Найбільш універсальним та ефективним є вибухове руйнування гірських порід. Буропідривний спосіб є основним підчас підготовки гірського масиву до розробки на родовищах з напівскельними і скельними породами, за рахунок своєї універсальності, високій ефективності при руйнуванні гірських порід. Величезна потужність вибуху, яка виділяється практично миттєво, в мільйони разів перевищує всі відомі сучасні джерела енергії для руйнування та переміщення масивів гірських порід. Так, потужність вибуху шашки тротилу (400 г) перевищує потужність, що розвиває 1,2 млрд людей (200 г амоніту – 21,5 млн к. с).

Історія застосування вибуху людством починається з глибокої давнини, саме з відкриттям вибухових речовин. Протягом багатьох століть єдиною відомою людству вибухівкою був димний порох. Англійці вважають, що чорний порох відкрив їх співвітчизник Роджер Бекон (1216 – 1284 рр.). Італійські історики доводять, що порох був відомий жителям Болоньї ще у 1216 р. Німці приписують честь відкриття пороху ченцю Бертольду Шварцу (1354 р.).

Застосування буропідривних робіт в гірничій справі відомо з 17 століття, коли як вибухова речовина використовували димний порох. Вперше порох було задіяно при проходці штольні в Німеччині в 1627 р.

Удосконалення вибуховий технології було тісно пов'язане з розробкою нових ВВ і засобів буріння. Значне розширення обсягів вибухових робіт в гірських породах почалося з винаходами в 1831 р. в Англії Бікфордом вогнепроводного шнура, в 1865 р. гримучортутного мідного капсуля-детонатора (Д.І. Андрієвський), в 1867 р. динаміту в Швеції (А. Нобель). Вибухові роботи в Україні вперше застосовані у Донбасі (1838 р.) на шахтах Лисичого Байраку (м. Лисичанськ).

Тривалий час буріння шпурів велося вручну металевими забивними бурами глибиною близько 1 м. Пізніше з'явилися перфоратори з ручним приводом, а наприкінці XIX ст. – електричні бурові машини.

Збільшення інтенсивності та масштабів гірничого виробництва на початку минулого століття, особливо з розвитком відкритого способу розробки, зумовило збільшення глибини закладення і величини зарядів ВВ; для цього глибокі (5 – 6 м) шпури розширювали вибухами невеликих зарядів, при цьому вони приймали форму котла місткістю в кілька десятків кілограмів (котлові заряди вперше застосовані в 1913 р. при добуванні залізних руд у Криворізькому залізорудному басейні.

У 60-х роках минулого століття отримали старт фундаментальні роботи із застосування повітряних проміжків в свердловинних і камерних зарядах, почалося вивчення та впровадження уповільненого відривання; уводиться в дію підривання на неприбрану гірську масу (буферне підривання), підривання на кар'єрах високих уступів і короткоуповільнене підривання частин розосереджених зарядів в свердловині. Застосування масових вибухів для будівництва великих кар'єрів, гідротехнічних споруд дозволило розробити раціональні методи розрахунку основних параметрів, організувати роботи із практичного здійснення таких вибухів. Бурхливий розвиток відкритих гірничих робіт спричинив створення в історично короткий період потужних ВР і засобів підривання.

Якість виконання вибуху під час видобутку корисних копалин, що характеризується здебільшого крупністю шматків гірської породи, впливає на ефективність наступних технологічних процесів: навантаження, транспортування, механічне дроблення на дробильно-збагачувальних фабриках. На кар'єрах використовується потужне високопродуктивне виймально-навантажувальне та транспортне обладнання, яке успішно працює тільки при якісному подрібненні гірничої маси. Так, на кар'єрах завдяки хорошому дробленню породи вибухом продуктивність екскаваторів збільшується в 1,5 – 2 рази і більше, а надійність і довговічність їх роботи зростає в 2 – 3 рази.

Впровадження на великих кар'єрах циклічно-потокової технології та ефективне її функціонування значною мірою залежить від забезпечення при вибухових роботах інтенсивного та рівномірного подрібнення гірських порід.

В наш час на кар'єрах збільшується використання сучасних емульсійних ВР, приготовлених безпосередньо перед вибухом у спеціальних машинах або на стаціонарних пунктах. Для бурових робіт застосовуються сучасні бурові верстати шарошкового буріння вертикальних та похилих свердловин діаметром 215 – 455 мм, зокрема – моделі Atlas Copco з дистанційним управлінням.

Все це сприяє підвищенню якості та ефективності буропідривних робіт на кар’єрах, але одночасно підвищує вимоги до кваліфікації персоналу, що виконує їх.

Впроваджені у гірниче виробництво методи регулювання ступеня дроблення гірських порід шляхом зміни діаметра заряду, питомої витрати ВР та її типу, конструкції заряду та способів його ініціювання, схем короткоуповільненого підривання, а також застосування способів підривання на підпірну стінку тощо. Заданих результатів вибуху можна досягти лише на основі глибоких знань процесу та закономірностей дроблення масивів гірських порід вибухом різних систем зарядів при забезпеченні всіх умов виконання підривних робіт.

Майбутній фахівець мусить знати основи теорії вибуху; типи і властивості вибухових речовин, сферу їх раціонального застосування; способи і засоби підривання зарядів вибухових речовин; методи розрахунку параметрів буропідривних робіт на кар’єрах; методи розрахунку безпечних відстаней за сейсмічною дією вибуху, дією ударних хвиль та за розльотом шматків гірської породи.

Підготовлений за допомогою даного навчального посібника спеціаліст отримає знання про загальні поняття технології бурових робіт на кар’єрах, механізми руйнування гірських порід вибуховими зарядами, технологічну характеристику вибухових речовин, що застосовуються на відкритих гірничих роботах, способи підривання та ініціювання зарядів ВР, складання паспортів

буропідривних робіт та проєктування параметрів масових вибухів в умовах відкритого видобутку корисних копалин.

Книгу написано за матеріалами лекцій, що автори викладали протягом останніх років здобувачам вищої освіти спеціальностей: «Гірництво», «Будівництво та цивільна інженерія», «Хімічні технології та інженерія».

Навчальний посібник складається з п'ятьох розділів, у яких викладено технологію бурових робіт на кар'єрах, основні поняття теорії дії вибуху на гірський масив; відомості про вибухові речовини та засоби ініціювання, їх властивості та класифікації, способи та методи підривання зарядів ВР, наведено схеми комутації вибухових мереж на вибуховому блоці, організацію та безпеку виконання буропідривних робіт на кар'єрах.

Наприкінці кожного розділу є список додаткових джерел літератури для використання здобувачами при самостійній роботі. Перелік питань для самоконтролю охоплює всі ключові положення теоретичного курсу з технології та безпеки виконання буропідривних робіт на кар'єрах.

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ БУРОВИХ РОБІТ НА КАР'ЄРАХ

У розділі наведено основи процесу буріння вибухових свердловин; основні способи буріння свердловин, що використовують на відкритих гірничих роботах; технічну характеристику бурових верстатів та бурових доліт; методику визначення продуктивності верстатів.

Спираючись на матеріал розділу, студент повинен уміти: визначати ефективний спосіб буріння свердловин в гірських породах з різними фізико-механічними властивостями; визначати продуктивність бурових верстатів та їх необхідну кількість.

1.1. Способи буріння

Процес буріння складається з руйнування породи у вибої свердловини (шпурі) буровим інструментом та видалення продуктів буріння (бурового дрібняку) з нього.

Нині застосовуються обертальний, ударно-поворотний, ударно-обертальний і обертально-ударний способи буріння шпурів та свердловин (механічні способи буріння), а також вогневе та комбіноване буріння. Досліджується ефективність застосування енергії ВР при вибуховому бурінні свердловин, а також високовольтних електричних розрядів при електро-імпульсному бурінні.

За всіх способів буріння виконуються такі основні операції: підготовка та встановлення бурильного верстату для початку робіт, буріння з очищенням вибою свердловини від продуктів руйнування, нарощування бурового ставу для досягнення необхідної глибини буріння та його розбирання після закінчення робіт, зміна зношеного бурового інструмента та пересування машини на нове місце.

При бурінні свердловини інструмент обертається навколо її осі і одночасно з певним зусиллям подається на забій. Величина зусилля задається за умови перевищення межі міцності породи на вдавлювання на площі контакту

різальних лез інструмента з гірською породою. При цьому відбувається послідовне руйнування породи від вдавлювання та сколювання її частинок у вибої. Продукти руйнування видаляють за допомогою шнеків, промиванням забою водою або продуванням повітрям.

Здебільшого, на відкритих гірничих роботах застосовують обертальне (шнекове) буріння свердловин різцями та алмазним інструментом за допомогою бурових верстатів.

При ударному способі буріння інструмент (долото чи коронка) завдає удару по вибою і руйнує породу під лезом. Після кожного удару інструмент повертається на певний кут, чим забезпечується послідовне руйнування всієї площі вибою та отримання круглого перерізу свердловини.

При ударно-обертальному бурінні звичайним і занурювальними бурильними молотками (перфораторами) інструмент повертається уривчасто тільки в проміжках між ударами вмонтованим в нього поворотним пристроєм. При ударно-обертальному бурінні занурювальними пневмоударниками з незалежним обертанням удари наносяться по інструменту, що безперервно обертається. Руйнування породи за цих способів буріння відбувається лише внаслідок дії бурової коронки при ударах.

При обертально-ударному бурінні удари наносяться по інструменту, що безперервно обертається під великим осьовим зусиллям. Руйнування триває як у результаті дії інструмента при ударах, так і через сколювання породи при обертанні інструмента.

Шарошкове буріння виконується бурошарошковими долотами (як і при ударному та обертально-ударному способі), зуби шарошок яких перекочуючись по вибою, зрізають породу ковзаючим рухом вздовж поверхні вибою.

При вогневому бурінні руйнування породи у вибої свердловин відбувається за рахунок термонапруг, що виникають при швидкому нагріванні поверхні породи потоками розпечених газів ($T=2$ тис. °С), що вилітають із сопел пальника із надзвуковою швидкістю (понад 2 тис. м/с).

При вибуховому бурінні руйнування породи у вибої свердловин триває завдяки послідовним вибухам невеликих зарядів ВР. Відомі два методи такого буріння: патронний (за допомогою патронів рідких або твердих ВР, що вибухають у вибої від удару або детонатора) та струменевий (при якому через бур на вибій подаються рідкі компоненти ВР (паливо і окислювач) і відбувається формування рідкого плоского заряду).

При електроімпульсному бурінні руйнування порід у вибої свердловини спричиняється внаслідок електричної дії на його ділянку високовольтним (до 200 кВ) розрядом. Миттєво виділяється енергія в каналі пробою, що руйнує породу, яку з вибою видаляють потоком діелектрика, який циркулює в свердловині (солярова олія, вода тощо).

В наш час розробляються комбіновані способи буріння, сутність яких полягає у спільній дії на вибій ударного інструмента і шарошки (ударно-шарошковий спосіб), різців і шарошок (різально-шарошковий спосіб), шарошок та вогневого пальника (термо-шарошковий спосіб), вогневого пальника та ударного інструменту (термо-ударний спосіб).

1.2. Бурові верстати на кар'єрах та їх основні параметри

Сфера застосування верстатів різних типів залежить від властивостей масиву обсягу бурових робіт, виду виймально-навантажувального обладнання, що використовується.

Більшість бурових верстатів скомпоновано за загальною конструктивною схемою (рис. 1.1): гусеничний ходовий візок – 1, платформа – 2, на якій змонтовані всі виконавчі системи верстата (щогла, стійки, робочий орган, електродвигуни, компресори).

Перед бурінням платформу верстата встановлюють у горизонтальне положення за допомогою домкратів – 3. Переведення щогли в робоче та транспортне положення здійснюється гідродомкратами. Електроенергію подають до верстатів за допомогою пересувних комплектних трансформаторних підстанцій (КТП) по гнучкому кабелю.

Буріння вибухових свердловин на кар'єрах здійснюють механізмами різних типів. Розрізняють три групи бурових механізмів: з механічним впливом бурового інструмента на вибій свердловини, з фізичними методами впливу (термічним, ультразвуковим, плазмовим, електроімпульсним, лазерним бурінням тощо).

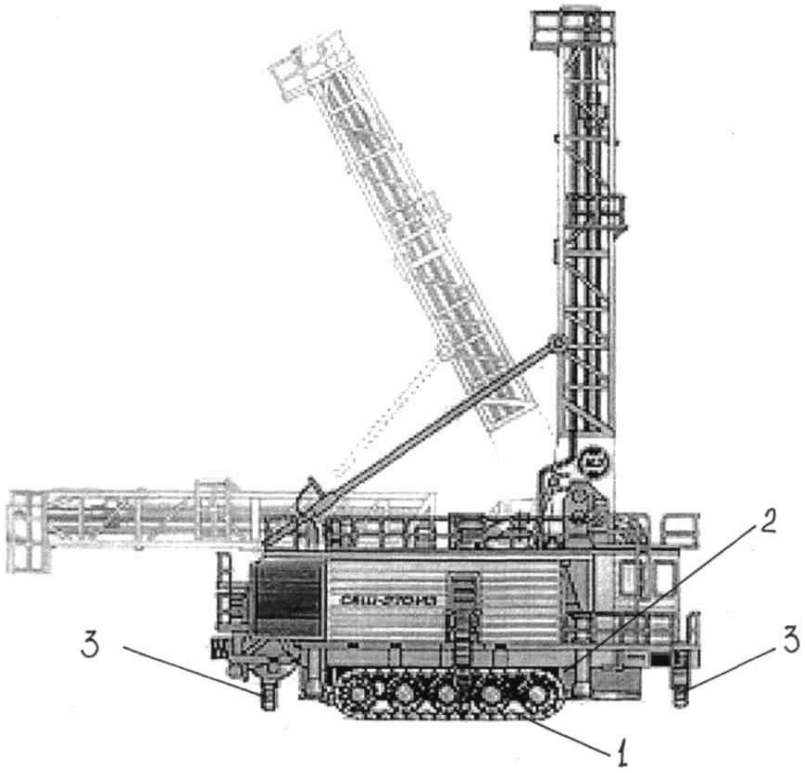


Рис. 1.1. Загальний вид бурового верстата: 1 – ходовий візок; 2 – платформа; 3 – упорні домкрати

Найбільшого поширення в світі отримали верстати з механічним впливом на вибій свердловини. Виділяють три їх типи таких бурових верстатів: СБР– обертальне буріння коронками з діаметром буріння 160 і 200 мм; СБШ – шарошкове буріння з діаметром буріння від 160 до 400 мм; СБУ – ударно-обертальне буріння з занурювальними пневмоударниками з діаметром свердловин 100, 125, 160 мм. Всі верстати забезпечують буріння свердловин під кутами нахилу по вертикалі 0˚, 15˚ і 30˚ (90˚, 75˚, 60˚ по горизонталі).

Освоєно також верстати комбінованого – термомеханічного буріння СБТМ-20-20, верстати шарошкового буріння з терморозширювачем СБШ-250 МНР і різально-шарошкові СБШК-200-50 і СБШК-400-60.

Сфера застосування верстатів різних типів залежить від властивостей масиву, обсягу бурових робіт, виду виймально-навантажувального обладнання в кар'єрі. В табл. 1.1 наведено сферу застосування верстатів різних типів за показником міцності гірських порід (класифікація проф. М.М. Протод'яконова).

Таблиця 1.1.

Сфера застосування бурових верстатів

Типи бурових верстатів	Показники	
	Діаметр свердловин, мм	Коефіцієнт міцності гірських порід за проф. М.М. Протод'яконовим, *f*
СБР-200-50	200	4 ... 10
СБР-160А-24	160, 200	2…..6
СБР-2М	160, 200	2….10
2СБШ- 300-32, 2СБШ-200-40, 3СБШ-200-60, 4СБШ-200-40	216,250	16….18
СБШ-250-55 СБШ-250-32МН	250	12….18
СБШ-320	320	12….18
СБШ-250-МНР	243, 269, 400	12….20
СБУ-105-35 СБП-100-35 СБУ-125А-32	105,125	10….16
СБУ-125У-52	125	18….20
СБУ-160	160	12….20
СБУ-200	200	12….20

1.2.1. Верстати обертального (шнекового) буріння

Обертальне буріння складає 20 – 25 % від обсягу бурових робіт на кар'єрах та використовують в породах з міцністю гірських порід – $f = 2 – 6$.

Руйнування масиву при обертальному бурінні свердловини відбувається за рахунок зминання, роздавлювання та сколювання породи під впливом обертання різців (коронок) та примусової подачі їх на вибій.

Передачу робочому інструменту крутного моменту і зусилля подачі, а також видалення бурового дрібняку з вибою забезпечують шнекові штанги з

ребордами гвинтової форми. Режим буріння характеризують зусилля подачі, частота обертання та ефективність видалення продуктів руйнування. При збільшенні міцності порід осьовий тиск має зростати, а частота обертання зменшуватиметься.

Загальний вигляд верстата СБР-160 наведено на рис. 1.2. Технічна характеристика верстатів обертального буріння СБР-125 та СБР-160 показано в табл. 1.2.



Рис. 2. Загальний вигляд верстата СБР-160

Таблиця 1.2

Технічна характеристика верстатів обертального буріння

Параметри	**СБР-125**	**СБР-160**
Діаметр свердловини, мм	125	160
Глибина свердловини, м	24	24-32
Частота обертання бурового інструмента, об/хв	220	80, 124, 160, 248
Осьове зусилля на буровий інструмент, кН	до 10	до 80
Потужність двигуна, кВт	22	40
Маса верстата, т	2	12

1.2.2. Верстати шарошкового буріння

На відкритих гірничих роботах найбільш поширене шарошкове буріння свердловин (70 % загального обсягу бурових робіт) здійснюють долотами, що мають конусоподібні шарошки з фрезерованими зубами або штирями, армованими твердим сплавом. При виборі типу долота враховують міцність порід. Під дією осьового тиску, що передається через буровий став, зуби шарошки уводяться в породу на певну глибину. При обертанні ставу навантажені шарошки перекочуються по вибою, а зуби б'ють по породі, сколюючи її. Видалення бурового дрібняку зі свердловини триває стисненим повітрям або водоповітряною сумішшю, для чого на платформі верстата встановлені потужні гвинтові компресори.

Для буріння порід з $f = 6 – 8$ використовують шарошкові верстати легкого типу (СБШ-160), в породах – з $f = 8 – 14$ – середнього типу (2СБШ-200-32, 3СБШ-200-60, СБШ-250МНА-60), а при f більше 14 – верстати важкого типу (СБШ-320-36, СБШ-400-55). На рис. 1.3 наведено загальний вигляд верстата СБШ-250МНА-60.



Рис. 1.3. Загальний вигляд верстата СБШ-250-МНА-60

На рис. 1.4 – загальний вигляд шарошкових доліт. В табл. 1.3 вказано основні технічні характеристики верстатів шарошкового буріння.



Рис. 1.4. Шарошкові долота

Таблиця 1.3.

Основні параметри бурових верстатів шарошкового буріння

Тип верстата	Діаметр долота, мм	Глибина свердловини, м	Частота обертання, $с^{-1}$	Зусилля на долото, кН	Кут нахилу сверд. до вертикалі, градус	Маса верстата, т
СБШ-160	160	12; 32	0.2,5	150	0; 15; 30	35
2СБШ-200МН	200	12; 32	0.2,5	240	0; 15; 30	55
СБШ-250МН	250	15; 32	0.2,5	300	0; 15; 30	75
СБШ-320	320	15; 32	0.2,17	600	0	140
СБШ-400	400	32	0.2,17	600	0	160

У породах з меншою міцністю збільшують частоту обертання і знижують осьове зусилля. Із зростанням міцності порід роблять навпаки. Верстати шарошкового буріння відрізняються високою продуктивністю і досить економічні. Ударно-обертальне буріння застосовують в міцних і дуже міцних породах з $f > 10$. На їх частку припадає 6 – 8 % загального обсягу бурових робіт в кар'єрах.

Провідними світовими фірмами, що випускають верстати шарошкового буріння, є «Інгерсол-Ренд» (США) (8 типорозмірів з діаметром буріння від 89 мм до 311 мм.), «Бьюсайрус-Ірі» (США) (верстати з діаметром буріння 229 –

455 мм), «Дрілтекс» (США), «Тамрок» (Фінляндія) (верстати з діаметром буріння 127 – 311 мм). В табл. 1.4 наведено технічну характеристику шарошкових доліт.

Таблиця 1.4.

Технічна характеристика шарошкових доліт

Діаметр, мм	Позначення різьби	Конусність	Профіль різьби	Висота долота, мм	Допустиме осьове зусилля, кН	Маса долота, кг
76	3 - 42	1: 5	I	125	40	2,5
98,4	3 - 66	1: 5	I	136	50	3,4
112	3 - 88	1: 5	I	190	70	7
146	3 - 88	1: 5	I	240	120	15
165,1	3 - 117	1: 5	I	290	150	14
190,5	3 - 117	1: 4	II	330	200	32
215,9	3 - 117	1: 4	II	350	250	40
222,3	3 - 152	1: 4	II	360	250	42
244,5	3 - 152	1: 4	II	390	320	62
250,8	3 - 152	1: 6	IV	400	320	65
269,0	3 - 152	1: 6	IV	410	400	95
320	3 - 152	1: 6	IV	440	450	110

Найбільшими є популярні верстати моделей Atlas Copco. Компанія випускає бурові установки серій Roc, Pit Viper, Diamec, Simba, Boomer і інші. На рис. 1.5 продемонстровано загальний вигляд бурового верстата Atlas Copco Pit Viper.

Практика експлуатації верстатів шарошкового буріння показала, що в їх конструкції переважають значні осьові зусилля при обмеженій частоті обертання через вібрації бурового ставу внаслідок тертя стінки свердловин.

Збільшення частоти обертання до 300 – 360 об/хв стало можливим під час встановлення на буровому ставі центраторів на підшипниках. При цьому стійкість шарошкових доліт при частоті обертання 360 об/хв виявилося вдвічі вищою, ніж при частоті 150 об/хв, а зношування бурових штанг взагалі не було відзначено.

Промислова експлуатація зазначених верстатів показала, що зі збільшенням частоти обертання продуктивність бурових верстатів зростає в 1,5 - 2,0 рази. Підвищуються також ресурсні показники бурового інструмента,

основних приводів та верстата загалом. Швидкість обертання може бути підвищена до 450 – 500 об/хв, що дозволить перейти на вибухову відбійку свердловинними зарядами середнього діаметра (150 – 160 мм).



Рис. 1.5. Буровий верстат Atlas Copco Pit Viper

1.2.3. Верстати ударно-обертального буріння

Ударно-обертальне буріння застосовують у міцних і дуже міцних, породах, що важко буряться, з $f > 10$. Верстати цього типу легкі, маневрені, прості в обслуговуванні, але продуктивність їх у 2 – 3 рази нижча, а витрати на буріння у 1,5 – 2,5 рази вищі, ніж у шарошкових верстатів. На їх частку припадає 6 – 8 % загального обсягу бурових робіт у кар'єрах.

Робочим органом верстата є занурювальний пневмоударник. За допомогою клапанного пристрою стиснене повітря, що надходить по бурових штангах, спричиняє зворотно-поступальний рух поршня з бійком, що завдає ударів по хвостовику бурової коронки (долота) з частотою 28 – 42 удари в секунду. Загальна енергія удару пневмоударників, що серійно випускаються,

становить 95 – 147 Дж, у перспективних – 74 – 410 Дж. Обертання бурового ставу здійснює обертач, розташований на щоглі. Масив руйнується за рахунок уведення леза долота (коронки) у вибій після кожного удару та сколювання породи внаслідок його обертання.

Кращі зразки закордонних верстатів ударно-обертального буріння з гідроперфораторами можуть успішно застосовуватися при річній продуктивності кар'єрів до 3 – 5 млн $м^3$ гірничої маси. Подібні установки забезпечують швидкість буріння у породах середньої міцності до 35 – 40 м/год.

На випуску таких верстатів спеціалізуються фірми «Tamrok» (діаметр доліт від 51 мм до 250 мм, енергія одиничного удару – 15,5 – 22 кВт, частота ударів – 35 – 62 об/с) та «Atlas-Copco» (діаметр доліт від 35 до 122 мм, частота ударів 40 – 80 об/с, частота обертання 0 – 210 об/хв, осьове зусилля – 8 – 20 кН).

Серед найбільш використовуваних при розробці кар'єрів є машини на гусеничному ходу сімейства Roc фірми Atlas-Copco. Їх робочий інструмент – перфоратор і занурювальний пневмоударник залежно від серії.

На рис. 1.6 наведено загальний вигляд бурового верстата Atlas Copco ROC L8 із зворотною циркуляцією. Його буровий механізм оснащений подвійною (коаксіальною) трубою. На її просторі в бур під великим тиском подається стиснене повітря, що піднімає шлам з дна вибою. Але на відміну від старих інструментів, у цьому частки видмухуються на поверхню не через затрубний простір, а по внутрішній трубі. Тепер, навіть якщо є тріщина в породі, потік не зникне, видобутий дріб'язок не заб'є свердловину і не заклинить буровий став. Бурові верстати Atlas Copco можуть працювати на будь-яких ґрунтах. Вони невибагливі в обслуговуванні, відрізняються високою швидкістю буріння та продуктивністю.

Буровий верстат Atlas Copco Roc L8 бурить свердловини діаметром від 110 до 178 мм. Частота обертання інструмента в різних комплектаціях може бути від 20 до 130 обертів на хвилину, крутний момент – від 3250 до 6200 Нм. Швидкість проходки – від 6 – 10 м/год у особливо міцних породах до 40 м/год –

у пухких. Свердловина виходить чиста, точно витримується її геометрична форма.



Рис. 1.6. Загальний вигляд верстата Atlas Copco ROC L8

Параметри верстатів ударно-обертального буріння наведені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Параметри верстатів ударно-обертального буріння

Тип верстата	Діаметр долота, мм	Глибина свердловини, м	Кут нахилу сверд. до вертикалі, градус	Маса верстата, т
СБУ-100	100	24	0; 15; 30	4
СБУ-125	125	24	0; 15; 30	10
СБУ-160	160	18; 32	0; 15; 30	30
СБУ-200	200	18; 32	0; 15; 30	40
Atlas Copco ROC F7	105-127	30	0 – 30	15,1
Atlas Copco ROC L8	110-220	53	0 – 30	19,9
Atlas Copco ROC F9	110	30	0 – 30	15,5
Atlas Copco ROC D7	64-115	28	0 – 30	14,5
Atlas Copco ROC T30	90	30	0 – 30	11,9
Sandvik DI100	70-115	30	0 – 80	8,5
Sandvik DI200	70-115	40	0 – 80	13
Sandvik DI300	89-127	40	0 – 80	18,5

В Україні найбільш поширені машини з пневмоударником фірм Sandvik і Epiroc. За конструкцією такий тип верстата можна порівняти зі звичним для багатьох відбійним молотком. Пневмоударник знаходиться у трубі

безпосередньо над коронкою. Ці машини можуть бурити вертикальні і похилі свердловини діаметром від 76 до 305 мм, частіше – від 130 до 150 мм.

1.2.4. Верстати вогневого буріння

Верстати вогневого (термічного) буріння використовують при наявності міцних кварцевмістних порід з *f>14*. Робочим органом служить вогнеструменевий пальник, вільно підвішений над вибоєм свердловини. Породи руйнуються за рахунок нагрівання тонкого поверхневого шару порід у свердловині високотемпературним (2500 – 3200 °С) газовим струменем, що виривається із сопла пальника із надзвуковою швидкістю (1800 – 2000 м/с). В результаті термічної напруги відшаровуються шматочки породи, які виносяться відпрацьованими газами. Процес безперервного видалення бурового дрібняку зі свердловини є важливою умовою для нормального режиму буріння, оскільки дрібні частинки породи можуть утворювати повітряні проміжки з поверхнею вибою свердловини. В такому разі може виникнути процес не руйнування породи, а її плавлення. Обертанням термобура забезпечують рівномірне нагрівання всієї площі вибою.

Як паливо використовують бензин, гас, природний газ. Окислювачем, зазвичай, служить стиснене повітря. Пальне та окислювач із баків, змонтованих на верстаті, подають трубопроводами через штангу в камеру згоряння. Охолодження пальника та пилоподавлення здійснюють водою та стисненим повітрям. Швидкість буріння може досягати 10 – 12 м/год. Режим буріння залежить від температури та швидкості струменя газу, частоти обертання пальника, що становить зазвичай 0,25 – 0,5 об/с. Сучасні верстати мають автоматичну систему регулювання, що забезпечує підтримку оптимальних відстаней між вибоєм та пальником та співвідношення робочих компонентів.

Основні недоліки верстатів цього типу – можливість буріння в породах, що містять від 15 % кварцу, велика витрата рідкого палива та окислювача. На 1 м свердловини потрібно 50 – 70 м^3 окислювача і 15 – 20 кг гасу.

Існує безперечний інтерес використання цього принципу в верстатах

комбінованого типу для терморозширення свердловин малого діаметра, пробурених шарошковими долотами або іншим механічним способом.

Загальний вигляд верстата вогневого буріння на буропідривному блоці наведено рис. 1.7.



Рис. 1.7. Загальний вигляд бурового верстата вогневого буріння

1.3. Продуктивність бурових верстатів

Бурові верстати відносяться до машин циклічної дії. Цикл робіт включає буріння та допоміжні операції: опускання, нарощування, підйом, розбирання бурового ставу (оскільки довжина бурових штанг зазвичай є меншою, ніж глибина свердловини), заміну інструмента, переїзд на нову свердловину, центрування і установку на домкрати. При розрахунку змінної експлуатаційної продуктивності враховують тривалість підготовчо-заключних операцій і

регламентованих перерв. Змінну експлуатаційну продуктивність верстата $Q_б$ (м) можна визначити за формулою:

$$Q_б = \left(T_c - T_{пз} - T_p - T_{пр}\right) \Big/ \left(\frac{1}{V_б} + t_в\right),$$

де T_c, $T_{пз}$, T_p, $T_{пр}$ – тривалість, відповідно, зміни, підготовчо-заключних операцій, регламентованих перерв і внутрішньо змінних простоїв, ч; $V_б$ – технічна швидкість буріння, що встановлюється за прийнятими параметрами режиму буріння, м/ч; *tв* – допоміжний час на буріння 1 м свердловини, год.

Для навчальних розрахунків можна приймати наступні параметри: $(T_{пз} + T_p) = 0{,}5 \div 1$ год, $T_{пр} = 0{,}9 \div 1{,}3$ год, значення $V_б$ – з табл. 1.6. Тривалість допоміжних операцій для верстатів шнекового буріння $t_в$ = 0,03–0,08 год/м, шарошкового – $t_в$ = 0,03–0,07 год/м, ударно-обертального – $t_в$ = 0,07–0,13 год/м.

Таблиця 1.6.

Технічна швидкість буріння бурових верстатів, м/год

Буровий верстат	Коефіцієнт міцності гірських порід	$V_б$	Буровий верстат	Коефіцієнт міцності гірських порід	$V_б$
2СБР-125-30	2–3	18–22	СБШ-250МНА-32	8–10	14–15
	3–4	15–18		10–12	11–12
	4–5	8–12		12–14	12–14
СБР-160А-24	2–3	25–30	СБШ-320-36	10–12	12–13
	3–4	20–25		12–14	10–11
	4–5	14–16		14–16	7–8
	5–6	10–11		16–18	6–7
2СБШ-200-32	6–8	16–18	СБУ 125-24	12–4	6–7
	8–10	13–15		14–16	5–6
	10–12	8–12	СБУ-160-19	14–16	6–7
				16–18	5–6

Річну продуктивність бурових верстатів *Q б.г.,* (м) можна визначити за формулою:

$$Q_{б.г} = Q_б \cdot (N_к - N_{р.б.}) \cdot n_{см},$$

де $N_к$ – кількість робочих днів кар'єру протягом року, діб; $N_{р.б.}$ – простій бурового верстата в ремонтах за рік, добу. За нормами інституту «Гіпроруда»

для СБР і СБУ при бурінні скельних порід $N_{р.б.}$ = 13,8 діб; для верстатів СБШ та СБУ-200 $N_{р.б.}$= 40,7 діб.

Інвентарний парк верстатів $N_{б.і.}$ (од.) встановлюють з урахуванням річного обсягу бурових робіт:

$$N_{б.і.} = \frac{1{,}15 \cdot A_к}{\varphi \cdot Q_{б.г}},$$

де $A_к$ – річна продуктивність кар'єру, м^3; φ – вихід гірничої маси з 1 м свердловини, м^3

В табл. 1.7 наведено показники продуктивності верстатів шарошкового буріння для гірських порід різної міцності.

Таблиця 1.7.

Показники продуктивності верстатів шарошкового буріння

Коефіцієнт міцності гірських порід,	Змінна продуктивність бурових верстатів, м/зміну, при діаметрах доліт, м					
	2 СБШ - 200Н		СБШ - 250 МН		СБШ-320	СБШ-320М
	0,125	*0,243*	*0,243*	*0,250*	*0,320*	*0,320*
3	115	104,5	123,9	112,4	-	-
4	101,2	92,0	112,4	101,8	-	-
5	97,2	83,5	100,9	89,8	-	-
6	84,2	75,8	89,3	79,5	108,2	136,2
7	75,5	67,8	83,2	74,0	100,6	125,8
8	71,1	63,8	77,2	68,5	93,0	116,2
9	66,6	59,7	68,5	60,1	79,1	98,9
10	62,1	55,4	64,3	56,9	74,8	93,5
11	58,6	52,3	60,2	53,8	70,6	88,2
12	55,1	49,2	55,5	50,3	66,9	83,6
13	51,6	46,0	50,9	46,8	63,3	79,1
14	48,2	42,9	48,1	43,5	60,0	75,0
15	43,1	38,4	45,4	40,2	56,7	70,9
16	37,9	33,5	43,7	38,4	54,6	68,2
17	33,7	29,7	41,9	36,6	52,6	65,8
18	30,0	26,3	40,2	34,8	50,5	63,1
19	26,0	22,5	34,6	30,5	44,9	56,1
20	20,0	16,5	30,5	26,1	39,8	49,8

Контрольні запитання

1. Що називають процесом буріння свердловини?

2. Які способи буріння застосовують на відкритих гірничих роботах?

3. У чому полягає особливість обертального (шнекового) буріння?

4. Які переваги має шарошкове буріння свердловин?

5. Яким діаметром буряться свердловини шарошковими верстатами?

6. У чому полягає ударно-обертальне бурінні свердловин?

7. Яким чином відбувається видалення бурового дрібняку зі свердловини при бурінні?

8. Особливості вогневого буріння свердловин.

9. Сфера застосування різних типів бурових верстатів на кар'єрах.

10. Які виробничі операції враховують при розрахунку експлуатаційної продуктивності бурового верстата?

11. Від яких показників залежить продуктивність бурового верстата (формула визначення продуктивності)?

Список рекомендованої літератури до розділу 1

1. Ataei, M., KaKaie, R., Ghavidel, M., & Saeidi, O. (2015). Drilling rate prediction of an open pit mine using the rock mass drillability index. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 73, 130-138.

2. AyalaCarcedo, F. (2017). Drilling and blasting of rocks. Routledge.

3. Abbaspour, H., Drebenstedt, C., Badroddin, M., & Maghaminik, A. (2018). Optimized design of drilling and blasting operations in open pit mines under technical and economic uncertainties by system dynamic modelling. International Journal of Mining Science and Technology, 28(6), 839-848.

4. Froyland, G., Menabde, M., Stone, P., & Hodson, D. (2018). The value of additional drilling to open pit mining projects. Advances in applied strategic mine planning, 119-138.

5. Altiti, H., Alrawashdeh, R., & Alnawafleh, H. (2021). Open pit mining. Mining techniques: Past, present and future.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРІЯ ВИБУХУ ТА ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ

У розділі наведені основні питання теорії вибуху та механізму руйнування гірських порід зарядами вибухових речовин; класифікацію промислових вибухових речовин за складом, умовами застосування, способи і засоби підривання зарядів ВР.

Спираючись на матеріал розділу, студент повинен уміти:

– класифікувати вибухові матеріали за складом, умовами застосування та групами;

– аналізувати гірничо-геологічні й гірничотехнічні умови залягання гірських порід та на основі аналізу вибирати промислові вибухові речовини;

– проводити вибір ефективного способу підривання та засобів ініціювання свердловинних зарядів на вибуховому блоці.

2.1. Загальні відомості про вибух і вибухові речовини

Вибухом вибухової речовини називається її надзвичайно швидке (надзвукове) хімічне перетворення, при якому виділяється тепло і велика кількість газів, здатних виконувати механічну роботу руйнування і переміщення навколишнього середовища. У широкому розумінні вибухом називається надзвичайно швидке перетворення вибухової речовини, яке супроводжується швидкісним переходом її потенційної енергії у механічну роботу.

За своєю природою та характером перебігу процесу зміни вибухової речовини вибухи класифікують на фізичні, хімічні і ядерні.

При фізичних вибухах здійснюється тільки фізичне перетворення із одного стану в інший (вибух парових котлів, балонів із стисненим газом чи з газостворювальними речовинами, електричні розряди та ін.).

При хімічних вибухах відбувається хімічне перетворення складу речовини з виділенням великої кількості тепла 3400 – 6000 кД/кг і газів (вибухи ВР, метану, вугільного або іншого органічного пилу).

При ядерних вибухах виникає ланцюгова реакція ділення ядер із створенням нових елементів. Нині два способи виділення атомної енергії при вибуху: перетворення важких ядер на легші (радіоактивний розпад і розподіл атомних ядер урану і плутонію) та утворення з легких ядер важчих (синтез атомних ядер).

У гірничовидобувній промисловості практично всюди використовуються хімічні вибухи, котрі можна характеризувати як надзвичайно швидке хімічне перетворення речовини, що супроводжується виділенням великої кількості тепла і газів, які виконують роботу за рахунок різкого підвищення тиску у місці їх створювання. Під час вибуху в оточуючому середовищі виникають ударна і звукова хвилі.

Вибуховими речовинами (ВР) називають хімічні сполуки або суміші речовин, здатні під зовнішнім впливом надзвичайно швидко перетворюватися в газоподібні продукти з високими температурою і тиском.

Для більшості вибухових речовин (ВР) кількість газів, що виділяються при вибуху 1 кг ВР знаходиться в межах 0,3 – 1 $м^3$, кількість тепла – 500 – 1500 ккал (2,1 – 6,3 МДж), а швидкість вибуху коливається від 100 до 10 000 м/с.

Виникнення і поширення вибуху пов'язані з передачею через заряд потужного стиснення, що приводить до швидкого і сильного нагрівання ВР.

Процес вибуху характеризується великою концентрацією енергії в об’ємі ВР, надзвуковою швидкістю її виділення із утворенням великої кількості газів (600 – 1000 л/кг), нагрітих до температури 2500 – 4500 К, і ударною хвилею. Розділяють дві форми вибухового хімічного перетворення речовини: вибухове горіння і детонація. При вибуховому горінні швидкість переміщення по заряду ВР зони хімічної реакції відносно невелика (200 – 400 м/с), оскільки збудження хімічної реакції у прилеглому шарі ВР здійснюється шляхом теплопередачі від сусіднього шару, а це є процес порівняно повільний. Детонація збудження хімічної реакції в ВР здійснюється за рахунок ударної хвилі (УХ), яка розповсюджується зі швидкістю 2000 – 9000 м/с.

Під впливом зовнішнього імпульсу (нагрівання, тертя, удар тощо) ВР детонують. При цьому в них відбувається надзвичайно швидка хімічна реакція з виділенням тепла та газів, здатних руйнувати та переміщати гірську породу.

Вибухова реакція (детонація) поширюється з постійною, характерною для даного ВР і діаметра заряду, швидкістю, тобто мамо процес, що самопоширюється, при цьому він не вимагає додаткового підведення енергії.

Енергія при вибуху ВР виділяється внаслідок хімічної реакції окислення водню у воду і вуглецю в окис (CO) і двоокис (CO_2) вуглецю киснем, що входить до складу молекул компонентів ВР. За рахунок цього досягається висока концентрація енергії в одиниці об’єму ВР, у той час як горіння речовин окислення горючих елементів відбувається за рахунок кисню повітря.

При цьому теплова енергія, що припадає на 1 кг ВР (теплота вибуху 1 кг ВР), значно менша від теплоти згоряння звичайних горючих: гасу – 47 000 кДж/кг, кам'яного вугілля – 29 300 кДж/кг тощо. У промислових ВР значна швидкість поширення реакції забезпечує отримання надзвичайно великої потужності при вибуху, що характеризується кількістю енергії, що виділяється за одиницю часу.

У момент вибуху утворюється значна кількість газів, які нагріваються до високої температури внаслідок великої швидкості детонації, малого часу виділення енергії і дуже малого теплообміну продуктів вибуху з навколишнім середовищем.

У зв'язку з великою швидкістю детонації в зоні заряду в початковий момент розвивається дуже високий тиск, який забезпечує велику руйнівну (бризантну) дію вибуху поблизу заряду. Вибух супроводжується звуковим ефектом, оскільки ударна хвиля, що поширюється від вибуху із надзвуковою швидкістю на деякій відстані від його епіцентру, в повітрі переходить у звукову.

Таким чином, ознаками вибуху ВР є: надзвичайно висока об'ємна концентрація енергії, велика надзвукова швидкість поширення хімічної реакції по заряду ВР, екзотермічність реакції, велика потужність, високий тиск у зоні вибуху, утворення газоподібних продуктів.

2.2. Механізм руйнування гірських порід зарядами вибухових речовин

Руйнування гірської породи під дією вибуху – складний процес, характер якого залежить від багатьох факторів. Продукти вибуху, діючи на стінки зарядної свердловини, камери, створюють в масиві нестаціонарне поле напруження, швидкість поширення якого залежить від фізико-механічних властивостей і тріщинуватості порід. Поблизу заряду виникають ударні хвилі, що викликають руйнування гірських порід і ущільнення роздроблених частинок, які формують зони стиснення. На відстані 1 – 5 діаметрів заряду ударна хвиля втрачає свої початкові параметри і переходить в хвилю напруження, швидкість переміщення якої залежить від пружних властивостей і будови масиву. Дроблення порід відбувається внаслідок утворення радіальних тріщин, що розповсюджуються вглиб масиву і до вільної поверхні. В результаті відображення хвилі напружень від поверхні виникає зовнішня зона дроблення. Між радіальними з'являються концентричні тріщини (рис. 2.1), зумовлені дією відбитої хвилі.

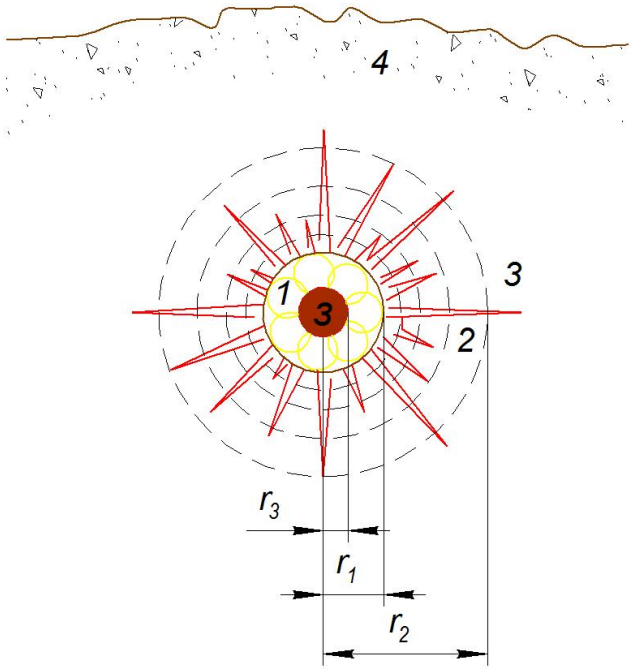


Рис. 2.1.Принципова схема руйнування гірських порід вибухом одиночного заряду. ***З*** – заряд до вибуху; 1 – зона витиснення; 2 – зона руйнації; 3 – зона струсу; 4 – зона відколу; r_1 – радіус зони витиснення; r_2 – радіус зони руйнації; r_1 – радіус зони заряду

В утворену систему тріщин проникають продукти вибуху. Вони завершують руйнування масиву, викликаючи переміщення шматків і формування розвалу гірничої маси. Експериментальним шляхом встановлено, що в монолітних породах 75 – 88 % загального обсягу руйнування пов'язане з хвильовими процесами і тільки 12 – 25 % – з дією розширення продуктів вибуху.

Під час вибуху циліндричного подовженого заряду в гірському масиві утворюються три зони: зминання або роздавлювання, тріщинуватості і пружних деформацій. Дослідженнями Б.Н. Кутузова і А.П. Андрієвського встановлено, що радіус зони зминання прямо пропорційний діаметру вибуховий порожнини, тиску, що розвивається продуктами детонації застосовуваного ВР і обернено пропорційний межі міцності руйнування масиву на стискання.

Для руйнування (підривання) масиву гірських порід з метою проходки в них виробок або їх дроблення при видобутку використовують заряди ВР: накладні, внутрішні, розташовані у шпурі, свердловині або камері. Зовнішні заряди застосовують в основному для дроблення великих негабаритних шматків породи, внутрішні – для проходки виробок і відбійки порід з метою їхнього дроблення та подальшої переробки.

Під час вибухових робіт в кар’єрах переважно застосовують суцільні подовжені заряди, не розділені проміжками і рідше розріджені, в яких заряд розділений на частини проміжками повітря, дрібної породи, води тощо.

За характером дії розрізняють заряд відкольний, при вибуху якого відбувається відколювання породи біля відкритої поверхні та руйнування навколо заряду; заряд рихлення, що викликає дроблення породи на всій відстані від центру заряду до відкритої поверхні в обсязі вирви вибуху; заряд викиду, що викликає дроблення і викид породи за межі вирви вибуху. Зміна характеру дії заряду може бути досягнута зі зменшенням глибини закладення заряду постійної величини, так і збільшенням маси заряду при постійній глибині закладення.

Розрізняють такі елементи вирви вибуху (рис. 2.2): глибина закладення заряду, або л. н. о. W – найкоротша відстань від центру заряду до найближчої

відкритої поверхні; кут напівтвору вирви вибуху; радіус дії вибуху заряду – R; радіус вирви вибуху r; показник дії вибуху $n=r/W= tga$.

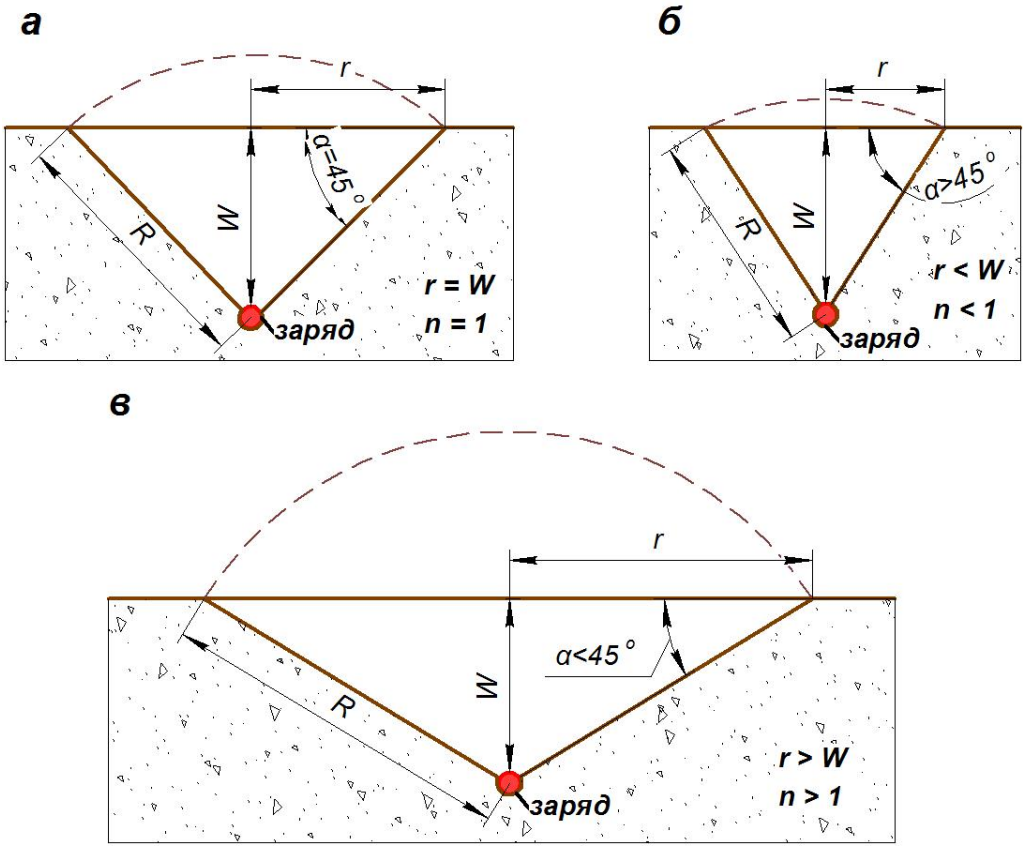


Рис. 2.2. Елементи вирви вибуху: а – вирва нормального викиду; б – вирва зменшеного викиду; в – вирва посиленого викиду.

Залежно від величини показника дії вибуху розрізняють три різновиди зарядів викиду: нормальний – при n = 1, посилений – при n > 1 і зменшений – при n <1.

Безпосередньо у районі закладення заряду під дією ударних хвиль і газів вибуху утворюється зона стиснення чи подрібнення. У межах цієї зони відбувається роздавлювання та сильне подрібнення породи з утворенням у місці розташування заряду порожнини певних розмірів. Порода у зоні подрібнення перетворюється на дрібнороздроблену масу.

За межами зони подрібнення знаходиться зона розпушення, або тріщинуватості, в ній відбувається дроблення породи, поділ її тріщинами без зміни структури.

При дробленні вибухом скельних масивів у гірничій справі практичне значення має сукупність зон стиснення і розпушення, що називають зоною руйнування. Радіус цієї зони називають радіусом руйнування, або дії вибуху заряду.

Робота вибуху виконується за рахунок потенційної енергії ВР газами вибуху, що розширюються. Роботу розширення газів вибуху до атмосферного тиску називають повною ідеальною роботою вибуху:

Повна робота вибуху витрачається на різноманітні форми механічної роботи: подрібнення середовища поблизу заряду ВР, руйнування об’єму середовища на більші чи менші шматки, викид середовища, створення повітряної ударної хвилі, нагрів навколишнього середовища тощо.

Корисна форма роботи вибуху, яка йде безпосередньо на виконання бажаного технологічного процесу, складає тільки частку повної роботи вибуху. Розрахунки доводять, що, наприклад, при підриванні на викид на корисну роботу вибуху витрачається усього 3 – 7 % від його повної роботи. При розпушенні гірських порід вибухом ця величина зростає до 20 – 25 %.

За межами зони руйнування енергія вибуху, що поширюється, викликає сейсмічну дію на масив породи, споруди навколо епіцентру вибуху, а зона, де проявляється цей вплив, називається зоною сейсмічної дії вибуху.

2.3. Технологічна характеристика вибухових речовин

Головними енергетичними характеристиками ВР є обсяг газоподібних продуктів, теплота, температура та тиск вибуху. Перші три характеристики є найважливішими константами ВР, а тиск залежить не тільки від складу ВР, а й умов підривання.

ВР за умовами застосування, зберігання і фізико-хімічними властивостями поділяють на основні типи і об'єднують в групи.

Промислові ВР класифікують за хімічним складом, фізичним станом, найбільш характерними особливостями їх властивостей або рецептурним складом, за сферою та умовами застосування.

Всі ВР за хімічним складом поділяють на індивідуальні хімічні сполуки і механічні суміші, компоненти яких вступають в реакцію хімічної взаємодії при вибуху.

Вибухові хімічні сполуки являють собою відносно нестійкі хімічні системи, здатні під дією зовнішніх впливів до швидких екзотермічних перетворень (з виділенням тепла), у результаті яких відбувається розрив хімічних сполук як між молекулами, так і між атомами в молекулах, а далі з'єднання вільних (атомів або іонів) в термодинамічно стійкі нові сполуки (молекули газу, тверді ультрадисперсні частинки, що містять вуглець – алмаз, графіт та ін.).

Вибухові суміші являють собою такі системи, які складаються, принаймні, з двох компонентів, котрі пов'язані хімічно між собою. Один з компонентів, як правило, є речовиною, багатою на кисень, а другий складається переважно з горючих елементів, при цьому не містить кисню, або містить, але в кількості, недостатній для повного внурішньомолекулярного окиснення.

До сучасних промислових ВР висувається ряд вимог, головні з яких:

- достатня потужність, яка забезпечує необхідну механічну роботу;
- простота і безпека при виготовленні;
- зручність і безпека при поводженні з ними;
- сталість властивостей при тривалому зберіганні та застосуванні;
- безвідмовність дії при достатньому ініціюючому імпульсі;
- технічно й економічно доступні у виготовленні.

За індивідуальними особливостям ВР поділяють на *ініціюючі і бризантні.*

Ініціючі ВР легко вибухають від удару, вогню або іскри, завдяки чому їх використовують для збудження (ініціювання) процесу детонації і передачі його у вигляді детонаційної хвилі іншою менш чутливою ВР. У чистому вигляді їх не застосовують, а використовують тільки в структурі засобів ініціювання – капсулях-детонаторах (КД) і електродетонаторах (ЕД). Основними ініціюючими ВР є *гримуча ртуть, азид свинцю, тенерес.*

Гримуча ртуть (фульминат ртуті) $Hg(ONC)_2$ – ртутна сіль гримучої кислоти. Являє собою дрібнокристалічний порошок білих кольорів із шовковистим блиском і насипною щільністю 1,22 г/см^3. Добре пресується при відносно невисокому питомому тиску (25–30 МПа). Щільність запресовування в чашечку – в межах 3 – 4 г/см^3. При більш високій щільності і зволоженні ініціююча здатність знижується, можливі відмови детонації. За потужністю, а отже і ініціюючою здатністю, гримуча ртуть трохи поступається азиду свинцю. При швидкому нагріванні до 150 – 175 °С вона вибухає. Чутливість до удару і тертя гримучої ртуті, як і азиду свинцю, дуже висока. Вона краще, ніж азид свинцю, запалюється від полум'я ВШ і не вимагає проміжного заряду іншої ВР.

Азид свинцю $Pb(N3)_2$ – свинцева сіль азотисто-водневої кислоти. Являє собою дрібно кристалічний порошок білого кольору, що на світлі згодом жовтіє. Не гігроскопічний, у холодній воді не розчиняється, у гарячій – незначно. При виготовленні КД і ЕД його використовують як первинний заряд з масою у 2,5 рази менше, ніж у гримучої ртуті. На відміну від гримучої ртуті, азид свинцю не боїться перепресування і перезволоження, добре детонує у воді, але він менш чутливий до променя вогню.

Бризантні ВР (що дроблять) включають нітросполуки *(тротил, тетрил, гексоген)* і нітроефіри (нітрогліцерин, ТЕН). З них при вибухових роботах самостійно використовують лише тротил у вигляді гранулотола, литих і пресованих тротилових шашок – детонаторів. Решту застосовують як компоненти промислових ВР для підвищення їх потужності і детонаційної здатності (гексоген) або в засобах ініціювання (тетрил, ТЕН, рідше гексоген).

Принципова відмінність нітросполук від нітроефірів полягає в тому, що молекули перших містять нітрогрупи NO_2, а нітроефіри – нітратні групи ONO_2.

До бризантних ВР прийнято відносити також всі види вибухових сумішей, які отримали найбільше поширення на кар'єрах. Як основний компонент в них входить *аміачна селітра.*

Існує цілий перелік ВР, які застосовуються виключно у військовій справі. Багато ВР широко використовуються в будівництві, геології, машинобудівних

та інших галузях промисловості. Найбільша кількість промислових ВР (близько 90 %) задіяна в гірничій справі при видобутку корисних копалин.

У цій групі більшість ВР – це органічні з'єднання, що містять кисень, здатні до часткового або повного внутрішньо-молекулярного горіння.

До складу промислових ВР, як правило, входять кілька компонентів, які забезпечують необхідний процес перебігу реакції вибуху, основними з яких є:

- *окиснювачі* – речовини, що містять надлишковий кисень, котрий витрачається при вибуху на окислення горючих елементів. Серед них – аміачна, натрієва та калієва селітри;

- *горючі домішки* – тверді чи рідинні речовини, які містять вуглець і водень, наприклад, деревне борошно, тонко здрібнене вугілля, бавовникова макуха, алюмінієва пудра, мінеральне мастило та ін. Вони сприяють підвищенню енергії вибуху;

- *сенсибілізатори* – речовини, що вводяться до складу ВР для підвищення його чутливості до початкового імпульсу. Здебільшого, для цього використовують високочутливі ВР у такій кількості, щоб отримати потрібну чутливість сумішної ВР;

- *стабілізатори* – добавки для підвищення фізичної і хімічної стійкості ВР (крейда, сода, деревне борошно та ін.);

- *флегматизатори* – домішки для зниження чутливості ВР до механічної дії, що забезпечують більш безпечні умови її використання (вазелін, парафін, тальк, мінеральні мастила);

- *полум'ягасники* – домішки для зниження температури вибуху ВР. Додаються тільки до складу запобіжних ВР, придатних для ведення підривних робіт у шахтах, небезпечних за газом чи пилом. Серед них хлористий калій, хлористий натрій, хлористий амоній та ін.

Перелічені компоненти ВР забезпечують достатню ефективність ВР і безпечність її використання у належних гірничо-геологічних умовах ведення підривних робіт.

2.4. Класифікація вибухових речовин

Усі ВР класифікують за низкою ознак.

За фізичним станом:

- газові суміші (метан + повітря);
- рідинні речовини (нітрогліцерин, нітрогліколь);
- суміші рідинних речовин (нітробензол + азотна кислота);
- суміші рідинних і твердих речовин (динаміт: нітрогліцерин + селітра);
- тверді речовини і їх суміші (амоніт: тротил + аміачна селітра).

За складом:

- хімічні з'єднання (індивідуальні ВР);
- механічні суміші вибухових хімічних з'єднань чи їх суміші із невибуховими компонентами (сумішні ВР).

За галуззю використання:

- ініціюючі (для виготовлення засобів підриву);
- другорядні ініціюючі (для виготовлення сумішних промислових ВР і засобів підриву);
- промислові (для підривних робіт у різноманітних галузях господарювання).

За умовами використання:

- незапобіжні (для підривних робіт тільки на земній поверхні; для підривних робіт на земній поверхні та у вибоях підземних виробок);
- запобіжні ВР (для підривання лише породи у вибоях підземних виробок);
- спеціальні (незапобіжні та запобіжні ВР і вироби з них, призначені для спеціальних підривних робіт; вибухові роботи на земній поверхні: імпульсна обробка металів; ініціювання свердловинних і зосереджених зарядів; контурне підривання для укосу уступів; руйнування мерзлих ґрунтів; дроблення негабаритних шматків гірничої маси).

За характером дії на навколишнє середовище:

- високобризантні (швидкість детонації 1500 – 9000 м/с);
- бризантні (швидкість детонації 3500 – 4500 м/с);

- низькобризантні (швидкість детонації 2000 – 3500 м/с);

- метальні (швидкість детонації менше 1000 м/с).

За механічним станом:

- порошкоподібні;

- гранульовані;

- пресовані;

- литі;

- пластичні;

- рідкі.

Залежно від рецептурного і гранулометричного складів, а також фізичного стану в складі сумішевих ВР прийнято виділяти наступні групи:

- порошкоподібні і гранульовані ВР на основі щільної аміачної селітри (амоніт №6 ЖВ, всі грамоніти, грануліти М, АС-8, АС-4В, ігданіт і ін. (табл. 2.1);

- водомісткі ВР суспензійного типу (акватол, акваніти, акванали, карбатоли, іфзаніти і ін.) (табл. 2.2);

- емульсійні ВР суспензійного типу (табл. 2.3-2.4).

Особливу групу складають ВР, розроблені з утилізованих вибухових матеріалів (боєприпасів і твердого ракетного палива) (табл. 2.5).

Порошкоподібні ВР залежно від складу змішувальних матеріалів поділяють на суміші, на основі аміачної селітри і тротилу (амоніти), нітроефірмісткі (детоніти) і запобіжні ВР. Останні призначені для ведення вибухових робіт у вибоях шахт і копалень, небезпечних через виділення горючих газів і вибухового вугільного (сланцевого) пилу.

До складу гранульованих ВР входять основні компоненти (тротил і аміачна селітра) у вигляді гранул, а також добавки з невибухових матеріалів – мастила, деревної муки, алюмінію. У цю ж групу переліком промислових ВР включені гранульований тротил (гранулотол) і сплав гранульованого тротилу з алюмінієвим порошком (алюмотол).

Таблиця 2.1

Основні характеристики порошкових та гранульованих ВР на основі аміачної селітри

Найменування ВР	Перевідний коефіцієнт ВР	Теплота вибуху, ккал/кг	Концентрація енергії, ккал/дм^3	Насипна щільність, г/см^3	Швидкість детонації, км/с
Аммоніт 6ЖВ (порошок в мішках)	1,0	1030	876	0,85–09	3,6–4,8
Аммонал скельний №1 (патронований)	0,80	1343	1343	0,95–1,0	4,0–4,5
Детоніт М (патронований)	0,83	1200	1380	1,0–1,25	3,9–5,3
Граммоніт 79/21	1,0	1030	876	0,8–0,85	3,0–3,6
Граммоніт 82/18	1,01	1010	859	0,85–0,9	3,0–3,4
Граммоніт 50/50	1,01	880	792	0,85–0,9	3,6–5,6
Граммоніт 30/70	1,14	911	820	0,85–0,9	3,8–6,0
Гранулiт М	1,13	920	828	0,9	2,5–3,6
Гранулiт АС-8	0,89	1242	1118	0,87–0,92	3,0–3,6
Гранулiт АС-4В	0,98	1080	918	0,8–0,85	2,6–3,2
Ігданіт	1,13	920	820	0,8–0,9	2,2–2,7
Гранулотол	1,20	980	980	1,0	5,0–5,2
Алюмотол	0,97	1260	1260	0,95–1,0	5,5–6,0

При підриванні сухих свердловин особливо ефективні гранульовані ВР на основі пористої аміачної селітри (ПАС): тротилові (граммотол, амматол) і безтротилові (гранулiти РП, Т, ПМ, ПФ, гексоніт П). Відмінною особливістю нових ВР є наявність в складі різних видів твердих вибухових і невибухових горючих добавок в обов'язковому поєднанні з рідким вуглеводневим пальним. Їх детонаційна здатність і роботоздатність вище, ніж у штатних гранульованих ВР на щільній селітрі.

Таблиця 2.2

Основні вибухотехнічні характеристики ВР нового покоління на основі пористої аміачної селітри

Найменування	Насипна щільність, г/см^3	Теплота вибуху, ккал/кг	Об'ємна концент. енергії, ккал/дм^3	Об'єм газоподібних продуктів вибуху, л/кг	Кисневий баланс, %	Критичний діаметр детонації, мм	Швидкість детонації, км/с	Чутливість до механічних впливів		Коефіцієнт відносної роботоздатності стосовно вирви вибуху (еталон-аммоніт 6ЖВ)
								удар, %	тертя, МПа	
Грануліт РП, РП-1, РП-2, РП-3	0,7–0,8 0,8–0,85 0,85–0,9	907 907 907	635–726 726–771 771–816	980–990 980–990 980–990	–0,35 –0,35 –0,35	60–70 80–90 60–70	3,0–3,2 2,9–3,2 3,3–3,5	0 0 0	300 300 300	1,05–1,1 1,1–1,15 1,0–1,05
Грануліт Т	0,75–0,8	886	709–797	969	–0,33	50–60	3,0–3,2	0	>600	1,03–1,06
Грануліт ПМ	0,8–0,85	1092	874–928	896	–0,12	40–60	3,1–3,3	0	>450	0,9–1,0
Грануліт ПФ	0,78–0,82	1030	803–845	893	–0,32	50–60	2,9–3,2	0	493	0,95–1,0
Амметол тип 1 тип 2	0,78–0,81 0,78–0,82	1056 1083	824–855 845–888	874 854	–0,25 –0,17	40–50 40	3,0–3,3 3,2–3,5	0 0	493 493	0,95–1,0 0,93–0,98
Граммотол -5 -10 -15 -20	0,8 0,85 0,85 0,85	924 947 963 980	739 758 819 830	955 938 926 914	–0,12 –0,42 –1,45 –2,47	50 50 45 40	3,3 3,4 3,5 3,7	4–16 4–16 4–16 4–16	290 290 290 245	1,05–1,1 1,0–1,05 0,95–1,0 0,9–0,95
Гексоніт П тип 2 тип 3	0,8-0,85	988 957	790–840	943 954	–0,2 –0,32	<40 <50	3,3–3,5	0 0	>300 >300	0,85–0,9 0,95–0,98

Нині вартість нових ВР на основі ПАС знижена за рахунок: зменшення вмісту в них тротилу, наприклад, до 5 – 15 % в грамотолі замість 21 % в грамоніті 79/21; використання порівняно недорогих невибухових горючих

компонентів, наприклад, порошку феросиліцію (5 %) в гранулах ПФ і в гранулах АС-8 замість дорогої алюмінієвої пудри (8 %). Науково-технічними організаціями створені принципово нові типи ВР на основі ПАС з низькою чутливістю до механічних впливів – аметол на базі тротилу і феросиліцію і гексоніт П з використанням 5 – 15 % нефлегматизованого гексогену.

Залежно від технології виготовлення розрізняють водонаповнені і розчинонаповнені водомісткі ВР. Вода з селітрою в складі таких речовин утворюють насичений розчин, що становить рідку фазу суспензії. Крім того, в них наявні пластифікуючі добавки і загусники. Більшість водомістких ВР виготовляють безпосередньо поблизу місць їх застосування на вибухових блоках в кар'єрі. Вибухотехнічні характеристики водомістких ВР наведені в табл. 2.3.

Емульсійні вибухові речовини засновані на емульсіях типу «вода в мастилі». Здебільшого вони складаються з водного розчину неорганічної окислювача, який у вигляді дрібних крапельок являє собою дисперсну фазу, і рідкого палива, що є безперервною фазою. Співвідношення окислювача і пального в емульсійної суміші становить приблизно 10:1.

Таблиця 2.3

Основні вибухотехнічні характеристики водовмісних ВР

Найменування	Перевідний коефіцієнт ВР	Теплота вибуху, ккал/кг	Концентрація енергії, ккал/дм^3	Щільність, г/см^3	Швидкість детонації, км/с
Граммоніт РЗ-30	1,19	862	1207	1,35–1,40	4,5–5,0
Акватол М-15	0,76	1470	1660	1,35–1,40	4,8–5,8
Акватол Т-20М	1,16	890	1380	1,5–1,6	4,6–5,0
Акватол Т-20 (іфзаніти Т-20, Т-60, Т-80)	1,16	890	1340	1,5–1,6	4,6–5,0
Іфзаніт Т-40	1,15	880	1300	1,38–1,40	4,8–5,0
ГЛТ-20	1,15	880	1320	1,40–1,45	4,9–5,0
Акванал (іпконіт)	0,97	1062	1460	1,40–1,45	3,8–4,6
Карбатол ГЛ-10В	0,8	1360	2108	1,55–1,60	4,5–5,1
Карбатол ГЛ-15Т	1,2	820	1230	1,4–1,6	4,5–4,8
Акваніт КТ-Х	1,16	840	1260	1,45–1,50	5,0–5,5

Як окислювач найчастіше використовують аміачну селітру окремо або в суміші з іншими селітрами. При цьому оптимальний вміст окислювача в суміші становить 60 – 85 %, а води 8 – 16 %. Рідкою горючою речовиною в сумішах зазвичай є органічні види палива (мінеральні мастила, дизельне паливо і т.д.) або їх суміші. Оптимальним є вміст 3 – 7 % рідкого палива. Для підвищення енергетичних характеристик в склад емульсійних ВР іноді додають тверде пальне: сірку, алюмінієвий порошок.

Для розподілу дрібних крапельок розчину окислювача, що мають розміри від частинок до 1 – 10 мкм, в безперервної фазі рідкого пального застосовують емульгатори. Найбільш ефективними емульгаторами є ефіри сорбіту і жирних кислот (стеаринової, олеїнової).

Велика поверхня контакту між окислювачами і горючою речовиною сприяє емульсійні ВР без будь-якої іншої сенсибілізації детонувати від потужного проміжного детонатора.

На відміну від водомістких сумішей емульсії не загущуються і не желатинізуються.

Водостійкість емульсійних ВР вище, ніж суспензійних і водногелевих через те, що кожна крапелька розчину окислювача покрита тонкою плівкою рідкого пального, що оберігає від контакту із зовнішнім водою і розведення нею.

Перспективними напрямками у виробництві ВР є виготовлення концентрованих вибухових сумішей з емульсійних ВР, аміачної селітри і дизельного палива, змішаних таким чином, щоб емульсія заповнювала міжгранульний простір. В результаті отримують вибухові речовини, що володіють підвищеною об'ємною концентрацією енергії, більш високою водостійкістю і меншою вартістю, ніж власне емульсійні ВР. Змінюючи співвідношення між окремими компонентами, за даними компанії «Амакс Коул Ко», можна оптимізувати розміри сітки свердловин і збільшувати вихід підірваної породи з однієї свердловини.

Вибухотехнічної характеристики емульсійних ВР приведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Основні вибухотехнічні характеристики емульсійних ВР

Найменування ВР	Перевідний коефіцієнт ВР	Теплота вибуху, ккал/кг	Концентрація енергії, ккал/дм	Щільність, г/см^3	Швидкість детонації, км/с
Пороміт 1 ИМ-Н	1,49	689	861	1,25	4,9–5,2
Пороміт 1 ИМ-К	1,49	693	865	1,25	4,9–5,2
Пороміт 1 МТ-Н	1,45	709	885	1,25	4,9–5,2
Пороміт 1 МТ-К	1,42	726	908	1,25	4,9–5,2
Пороміт 1А	1,43	720	900	1,20	4,9–5,1
Пороміт М-4А	1,18	870	1130	1,30	4,8–5,1
Пороміт М-8А	0,99	1040	1400	1,35	4,9–5,3
Пороміт МК-8К	1,13	910	1230	1,35	4,8–5,2
Пороміт МК-8КА	1,14	900	1170	1,30	4,85,1
Гранеміт 30/70	1,29	800	1080	1,35	4,9–5,2
Гранеміт 50/50	1,23	835	1170	1,40	4,8–5,2
Гранеміт 70/30	1,18	870	1130	1,30	3,5–4,0
Емулін Т	1,21	850	-	1,25	2,9–3,2
Емулін П	1,21	850	-	1,10	3,0–3,6

Українт ПП-1 – емульсійна ВР підвищеної потужності (розробники – НТУ «Дніпровська політехніка», Український державний хіміко -технологічний університет і ТОВ «Екком»). *Українт ПП-1* створений як водостійка емульсійна ВР для дроблення міцних і дуже міцних порід методом свердловинних зарядів на кар'єрах.

Утворення емульсійної вибухової речовини здійснюється на місці проведення вибухових робіт після змішування невибухових компонентів у змішувально-зарядній машині (ЗЗМ). Готовий *Українт* з дозатора ЗЗМ насосом нагнітається в свердловину. Основні технічні характеристики і вибухові властивості *Українту*, наведені в табл. 2.5.

У порівнянні з кращими світовими зразками емульсійних ВР переваги *Українту* наступні:

- низька чутливість до механічних впливів; значно нижча чутливість до вибухового імпульсу, що пов'язано з високим вмістом кальцієвої селітри;
- висока щільність;

- швидкість детонації в середньому на 500 м/с менше, а критичний діаметр детонації в кілька разів більше;

- зарядка свердловин проводиться за допомогою ЗЗМ приготовленою ВР (знижується ступінь безпеки);

- висока стабільність при перебуванні до 5 діб в обводненому середовищі.

Таблиця 2.5

Деякі характеристики емульсійних ВР українського виробництва

Показники	Україніт-ПП-1	Емульхім ШМ-2	Анемікс (пауергель)
Швидкість детонації, м/с	4300-4500	4800-5200	4800-5100
Теплота вибуху, кДж/кг	4100-4400	4300	3200
Тротиловий еквівалент	0,97-1,05	1,02	0,75
Об'єм газів вибуху, л/кг	720-750	1067	1007
Кількість шкідливих газів у перерахунку на СО, л/кг	21,5	24	76
Кисневий баланс, %	–0,05 - –4,3	–0,6	–0,98 - –1,95
Щільність, кг/м3	1520-1550	1150-1350	1200-1370
Масова частка води, %	13-16	12-16,5	13-18
Критичний діаметр детонації, мм	120-150 *в сталевій трубці*	50 *у паперовій оболонці*	85
В'язкість емульсії, сПз	2500-3000	200-1500	18000-20000
Температура займання, C^o	198	103	
Чутливість до КД	Нечутливі	Нечутливі	
Стабільність емульсії, місяців	6		
Чутливість до тертя, Н	325-360	1186 кгс/см^2	
Водостійкість при витримці у воді 1 добу, кг/см^3	Не більше 0,02	Не більше 0,16	Не більше 0,1
Клас / підклас небезпеки	1 / 1,4	1 / 1,5	1 / 1,5

Важливішими показниками промислових ВР є критичний діаметр (від 10 до 120 мм), а також кисневий баланс і об'єм газів (від 895 до 980 л/кг). З екологічної точки зору найбільш ефективними є емульсійні ВР. Наприклад , в емульсійних ВР типу Україніт та Анемікс умовне СО складає 20 – 25 л/кг проти 275 л/кг у Гранулотола і 64,9 л/кг у Ігданіта.

Нині на кар'єрах в Україні використовують в основному (до 90 %) емульсійні ВР (на залізорудних кар'єрах) і частково на нерудних кар'єрах.

Таким чином в Україні домінуючою вибуховою речовиною для руйнування гірських порід є емульсійні ВР.

Встановлено, що всі позитивні властивості емульсійних ВР – висока швидкість детонації, водостійкість, екологічна чистота – досягаються за рахунок емульсійної структури, яка забезпечує максимальну поверхню контакту окисника і пального, а також високу щільність заряду.

Вибух більшості ВР заснований на окисленні горючих речовин (вуглецю та водню). У промислових ВР носієм кисню є селітри та деякі інші речовини. Певні ВР дають при вибуху реакцію простого розпаду молекул на атоми з виділенням тепла, яке було витрачено при утворенні молекул цих ВР (наприклад, азид свинцю).

Кисневим балансом (КБ) називають достатню, надмірну або недостатню кількість кисню в складі ВР в порівнянні з кількістю, що необхідна для повного окиснення в ньому вуглецю, водню та інших елементів, здатних окиснюватися під час вибуху.

Залежно від надлишку або нестачі кисню у ВР розрізняють *нульовий, позитивний та негативний кисневий баланс.*

Нульовим називають такий кисневий баланс, за якого кількість кисню у складі ВР дорівнює кількості, необхідної для повного окислення всіх горючих елементів, що входять до складу ВР. Якщо у складі ВР є надлишок кисню, то кисневий баланс вважається *позитивним*, і якщо нестача – *негативним*.

Нітрогліколь відноситься до ВР з нульовим кисневим балансом, оскільки у ньому кисню достатньо лише для повного згоряння вуглецю та водню. Тротил є вибуховою речовиною з негативним кисневим балансом Під час вибуху тротилу виділяються отруйний газ – окис вуглецю, частково вільний вуглець.

Реакція вибуху ВР з невеликим позитивним або нульовим кисневим балансом триває з повним згорянням вуглецю і водню та максимальною енергією. Змішуючи в певній пропорції ВР з негативним і з позитивним кисневим балансом (наприклад, тротил та аміачну селітру), отримуємо ВР з нульовим або близьким до нуля кисневим балансом та з великою енергією.

Прикладом такої вибухової суміші є амоніт № 6ЖВ. Його питома потенційна енергія становить 1030 ккал/кг, тоді як питома потенційна енергія тротилу – 1000 ккал/кг, а аміачної селітри – 363 ккал/кг.

Додаючи до ВР з позитивним кисневим балансом горючі добавки (наприклад, до аміачної селітри мінеральну олію, або деревне борошно), можна отримати вибухову суміш більшої роботоздатності, оскільки за рахунок надлишкового кисню вибухового компонента згорятимуть вуглець і водень паливної добавки, підвищуючи енергію ВР.

Чим більше відхиляється кисневий баланс від нульового значення, тим менша потенційна енергія ВР порівняно з тим рівнем її, який був би при нульовому кисневому балансі, та тим більше виділяється отруйних газів. При надлишку кисню виділяється велика кількість окису азоту, а за браку кисню виділяється окис вуглецю.

При виготовленні промислових ВР їх склад підбирають так, щоб отримувати ВР з нульовим або з невеликим (0,2 – 3 %) позитивним кисневим балансом. ВР з невеликим позитивним або нульовим кисневим балансом теоретично не повинні виділяти отруйних газів при вибуху.

У загальному вигляді хімічну формулу більшості ВР можна зобразити так: $C_aH_вN_cO_d$, де коефіцієнти а, в, с, d визначають відповідно кількість вуглецю, водню, азоту та кисню у ВР.

Кисневий баланс ВР розраховується за рівнянням:

$$K_б = (16\ n / M_{вр})\ 100,\ \%,$$

де *16* – атомна маса кисню; $M_{вр}$ – молекулярна маса ВР, кг/моль; *n* – кількість надлишкового або недостатнього кисню у ВР.

$$n = d - (2a + в/2)$$

Кількість газів вибуху визначають теоретично щодо реакції вибуху та дослідним шляхом.

До числа промислових ВР слід віднести і порохи. Вони являють собою тверді багатокомпонентні системи, що містять горючі речовини і окислювачі.

У гірничій промисловості застосовують спеціальний «мінний порох», який є різновидом димного пороху і є зернистою масою з величиною зерен від 1,5 до 8,5 мм. Щільність дійсна – 1,6-1,75 г/см^3, насипна – 0,9-1,0 г/см^3.

Димний порох складається з калієвої селітри (75 %), деревного вугілля (15 %) і сірки (10 %). Селітра служить окислювачем, вугілля – пальним, а сірка – додатковим пальним і цементатором частинок окислювача з пальним, що має кращу запалюючу здатність, ніж вугілля. Димним його називають через утворення при горінні великої кількості диму, що складається з оксиду і діоксиду вуглецю та сірки, твердого оксиду калію й не повністю згорілих порохових зерен. Він ще має назву чорний за сірувато-чорні кольори. Вибух димного пороху впливає на масив гірських порід менш жорстко, ніж вибух бризантних ВР. Тому його застосовують, головним чином, при видобутку блоків облицювального каменю, а також для виготовлення вогнепровідних шнурів.

Промисловість випускає кілька марок димного пороху. Марка ДШП призначена для виготовлення ВШ; марки ДРП-2ПР і ДРП-3ПР використовують для виготовлення пресованих виробів, що застосовуються у засобах запалювання; марка ДВП (димний вибуховий порох) необхідна як ВР при видобутку блочного каменю.

Залежно від способу ініціювання порох може горіти або детонувати. При підпалюванні заряду пороху в шпурі і свердловині променем вогню відбувається вибухове горіння зі швидкістю близько 400 м/с, при ініціюванні через проміжні детонатори він детонує зі швидкістю 2 – 3 км/с. Теплота його вибухового розкладання 2,31 МДж/кг. Димний порох більш небезпечний в експлуатації, ніж бризантні промислові ВР. За ступенем небезпеки при зберіганні і перевезенні в умовах споживачів він, як і ВШ, належить до класу 1, підкласу 1.1, групи сумісності Д згідно з "Єдиними правилами безпеки при вибухових роботах" (ЄПБ при ВР).

Бездимні порохи виготовляють з нітратів целюлози з різним вмістом азоту шляхом розчинення їх у вибухових і невибухових розчинниках. До складу таких порохів вводять добавки, що гасять полум'я.

Розрізняють піроксилінові і нітрогліцеринові порохи. Перші отримують обробкою нітрату целюлози летким розчинником, а другі – слаболетким нітрогліцерином. Високу детонаційну здатність, особливо в воді, мають піроксилінові порохи.

Для порівняльної оцінки ефективності різних ВР використовують перевідний коефіцієнт, що являє собою відношення повної ідеальної роботи вибуху еталонного (амоніт 6ЖВ, грамоніт 79/21) і порівнюється з другим ВР.

Для вибору конкурентоспроможних вибухових матеріалів, з числа яких буде обраний економічно найбільш доцільний, можна також скористатися рекомендаціями Р. Густафссона: «Руйнування масиву можливе тільки в тому випадку, якщо швидкість детонації ВР перевищує швидкість поширення поздовжніх хвиль в масиві».

Більшість бризантних ВР мають знижену чутливість. Для створення потужного первинного імпульсу в свердловинних зарядах використовують проміжні детонатори. Ними можуть служити стандартні патрони амоніту або іншої ВР, спеціально виготовлені шашки-детонатори – заряди стандартних форм і розмірів.

Марку шашки – детонатора зазвичай позначають буквами і числом. Букви вказують найменування ВР, а число – його масу. У більшості випадків для ініціювання свердловинного заряду достатньо однієї шашки-детонатора масою 400 – 500 г. При підриванні зарядів з допомогою гранулотола або алюмотола загальна маса проміжного детонатора повинна бути збільшена до 800 – 1000 г.

2.5. Способи та засоби підривання зарядів ВР

Переважна більшість бризантних ВР, в тому числі і шашки-детонатори, стійкі до зовнішнього механічного та теплового імпульсу. Для детонації їм потрібен ударно-хвильовий вплив. Сам процес збудження детонації називають ініціюванням. Для цієї мети використовують засоби ініціювання (ЗІ).

Ефективність застосування енергії вибухових речовин при виконанні вибухових робіт, безпека в експлуатації залежать від якості засобів ініціювання.

У зв’язку з цим до них висуваються наступні вимоги:

– безвідмовність дії – надійне спрацьовування від відповідних початкових імпульсів, що залежить від чутливості засобів ініціювання до даного виду початкового імпульсу;

– спрацьовування заряду, що ініціюється, з максимальним коефіцієнтом корисної дії;

– потужність засобів ініціювання має забезпечити не тільки безвідмовну, але й одноманітну дію зарядів, що ініціюються;

– безпека в експлуатації: при транспортуванні, під час ударів, які неминучі у виробництві засобів ініціювання і при їхньому використанні. Допустимі напруження визначаються в кожному окремому випадку відповідно до ТУ;

– збереження первісних якостей протягом установленого часу зберігання;

– виробничо-економічні вимоги: простота конструкції; стандартизація та уніфікація засобів ініціювання; застосування доступних, недефіцитних матеріалів.

За видом початкового імпульсу виділяють наступні способи ініціювання: вогневий, електричний, електровогневий, безкапсульний. На кар'єрах поширене електричне та безкапсульне підривання.

За часом підривання окремих зарядів (або груп зарядів) існують: миттєве, короткосповільнене і сповільнене підривання.

Миттєвим називають підривання, коли заряди підриваються одночасно.

До недоліків миттєвого підривання слід віднести те, що всі заряди практично підриваються одночасно. Як наслідок, масив порід зазнає тільки одноразової дії вибухових навантажень.

Короткоуповільненим називають підривання, коли заряди підриваються з інтервалами в 10 – 30 мсек.

Сповільненим називають такий спосіб підривання зарядів, коли інтервали сповільнення дорівнюють 0,5 – 10 сек.

На кар'єрах найбільш розповсюджене *короткоуповільнене* підривання зарядів.

Короткоуповільненим є послідовне підривання серії чи окремих зарядів з інтервалами в тисячні частки секунди. При цьому, вперше короткоуповільнене підривання використано в 1934 р. На кар'єрах нашої країни – з 1954 р. Ефективність руйнування порід при короткоуповільненому підриванні визначається наступними факторами: подовження часу дії вибуху на масив, інтерференція хвиль напружень від сусідніх зарядів; створення додаткових відкритих поверхнень, співударіння шматків породи, що розлітаються в процесі вибуху сусідніх зарядів.

Вогневий спосіб ініціювання зарядів дозволяється застосовувати на земній поверхні і тільки в тих випадках, коли він не може бути замінений електричним або іншим способом (у т.ч. неелектричними системами ініціювання).

До засобів ініціювання відносять: капсулі-детонатори, електродетонатори, вогнепровідний (ВШ) і детонуючий (ДШ) шнури, низькоенергетичні неелектричні системи ініціювання, засоби займання вогнепровідного шнура, електропідпалювачі, піротехнічні (детонаційні) реле.

Вогневий спосіб ініціювання (вогневе підривання) базується на застосуванні запалювальних трубок, які складаються з капсуля-детонатора і уведеного в нього відрізка вогнепровідного шнура.

Капсулі-детонатори призначені для ініціювання початку детонації зарядів ВР у процесі проведення промислових вибухових робіт за температури навколишнього середовища від – 60 до +45 °С.

Вони являють собою відкриту з одного кінця мідну, алюмінієву, біметалічну або паперову гільзу, в якій запресований заряд ініціюючої речовини (рис. 2.3). Первинна ініціююча ВР (гримуча ртуть, азид свинцю) вміщена в металеву чашечку кольорового металу, що має в середині отвір. Як вторинну ініціюючу ВР використовують тетрил, ТЕН або гексоген.

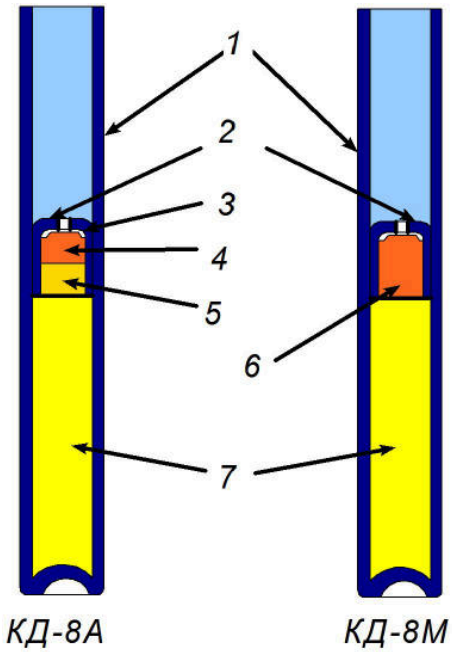


Рис. 2.3. Конструкція капсуля-детонатори: 1 – гільза; 2 – чашечка; 3 – сітка; 4 – тенерес; 5 – азид свинцю; 6 – гримуча ртуть; 7 – тетрил (ТЕН або гексоген)

Для передачі пучка іскор капсуля-детонатора служить вогнепровідний шнур ВШ з серцевиною димного пороху, центральною напрямною бавовняною ниткою, оболонкою, виконаноною з декількох шарів бавовняних і лляних ниток із зовнішнім гідроізолюючим покриттям або суцільною оболонкою із пластикату (рис. 2.4).

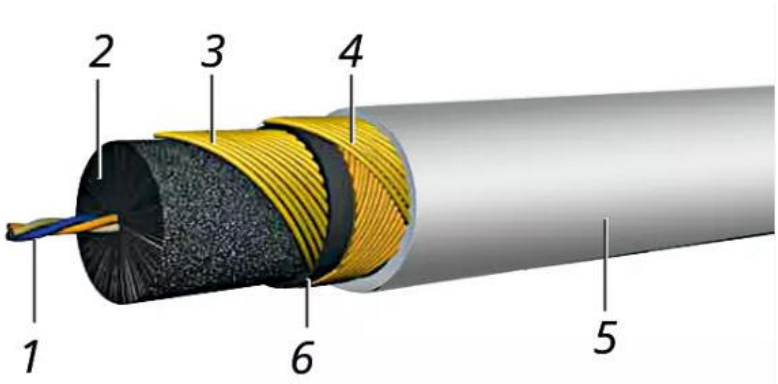


Рис. 2.4. Вогнепровідний шнур: 1 – напрямні нитки; 2 – вибухова серцевина – порох; 3 – спіральні обплетення; 4 – двошарове оплетення; 5 – оболонка з асфальту або пластику; 6 – шар водоізолюючої мастики

Випускають наступні чотири марки ВШ, що розрізняють між собою за температурною і водостійкістю залежно від вологоізолюючого матеріалу в їхній оболонці: ВША – асфальтований із тришаровою нитяною опліткою; ВШДА – двічі асфальтований (третя і четверта нитяні оплітки підвищеної водостійкості); ВШП – пластикатовий високої водостійкості з полівінілхлоридною оболонкою. Кольори шнурів – темно-сірий або чорний, залежно від кольорів вологоізолюючого покриття.

Швидкість горіння ВШ – 1 см/с. Відрізок ВШ вставляють в дульце капсуля-детонатора, яке обжимають, якщо гільза металева, або щільно обв'язують шпагатом, коли вона паперова.

На відкритих гірничих роботах допущені до застосування три типи капсулів-детонаторів, з них один (КДБІ-8) не містить ініціюючих ВР. Капсулі – детонатори КД-8МА мають алюмінієву гільзу, а КД-8С – сталеву або біметалічну. Нині випускають капсулі-детонатори КД-8С. Їх застосовують у сухому і мокрому гірських масивах, крім того, також при виготовленні багатьох типів електродетонаторів.

Для їх підпалювання використовують відрізки ВШ, гноти, або запальні патрони ЗП-Б1 і ЗП-Б5 з внутрішнім діаметром від 16 до 43 мм.

У засобах електровогневого ініціювання застосовують електрозапалювальні патрони (трубки) ЕЗ-ВШ і ЕЗТ-2 індивідуального і групового підпалювання. Електрозапальні ЕЗ-ВШ можуть бути використані для підпалювання ВША в комплекті з запалювачами ЗП-Б. Внутрішні діаметри їх однакові.

Електропідривання трває при всіх методах вибухових робіт в умовах, безпечних за блукаючими струменями і струменями електромагнітної індукції.

Засобами електричного способу ініціювання слугують електродетонатори (ЕД), дроти, постійні або переносні джерела електричного струму, контрольно-вимірювальні прилади. ЕД складаються із КД-8С та електрозапалювача. У електродетонаторах капсуль-детонатор з'єднаний з електрозапалювачелем (рис.

2.5), що мають вивідні дроти і місток розжарювання, оточений запалювальною головкою, покритою нітролаком.

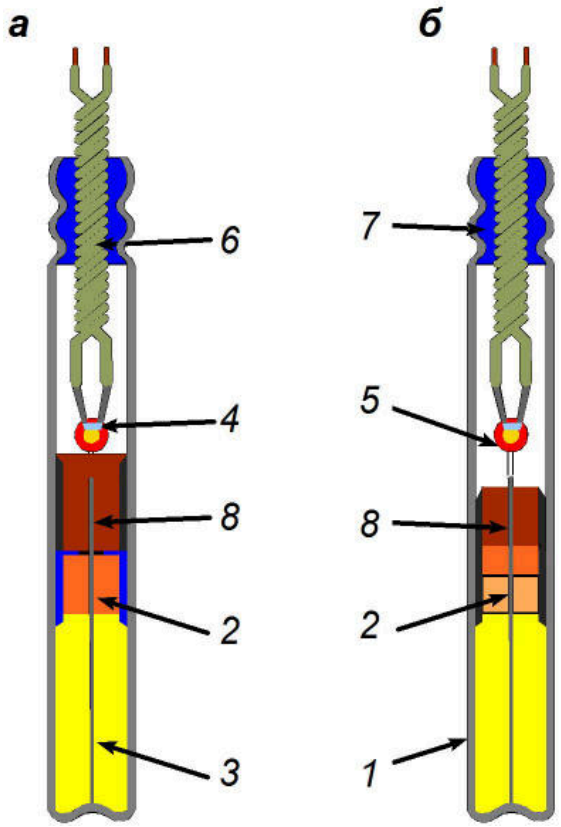


Рис. 2.5. Конструкція електродетонатора уповільненого дії (а) та короткоуповільненої дії (б): 1 – гільза; 2 – первинна ініціююча ВР; 3 – вторинна ініціююча ВР; 4 – ніхромовий місток; 5 – електрозапальник; 6 – електродроти; 7 – пластмасова пробка; 8 – гільзовий уповільнювач.

Як дріт застосовують одножильні мідні, біметалічні або сталеві. Ізоляцію проводів виготовляють з гуми, поліхлорвінілу або гуми в бавовняної опліткою. Довжина дроту – від 1 до 4 м. Вільні кінці проводів замикають накоротко.

Допущені до застосування на кар'єрах 3 типи незапобіжних електродетонаторів миттєвої дії (ЕД-8Ж з жорстко закріпленим містком накалювання, ЕД-8Е – з еластично закріпленим містком накалювання, ЕДС-1 – підвищеної водостійкості з жорстко закріпленим містком накалювання),

уповільненої дії ЕД-У-23 (*х* серій з номінальним часом від 20 до 10 000 мс), що дозволяє збільшити кількість зарядів, котрі підривають, у групі і, відповідно, підвищити ефективність вибухових робіт. У всіх цих ЕД затримку здійснюють за допомогою піротехнічної сполуки, уповільнювача певної маси і щільності, що згоряє з постійною швидкістю і запалює заряд ІВР, який, у свою чергу, ініціює заряд БВР. Заданий час спрацьовування ЕД забезпечують підбором висоти і щільності стовпчика уповільнювача ПС або зміною його рецептури. ЕД короткоуповільненої та уповільненої дій виготовляють тільки із твердим кріпленням містка накалювання.

Призначення ДШ – передача детонаційного імпульсу з однієї вихідної точки (зазвичай віддаленої на значну відстань) кожному заряду та ініціювання в ньому детонації. У вихідній точці магістральну нитку ДШ підривної мережі ініціюють від ЕД або КД із відрізком ВШ.

При відкритих гірничих роботах, якщо існує небезпека для ЕД від блукаючих струмів, застосовуються, як правило, безкапсульний і неелектричний способи висадження, тобто без застосування ЕД і КД. У таких умовах найчастіше заряди ВР ініціюють за допомогою ДШ, особливо, якщо доводиться підривати великі серії (до 1000 зарядів і більше). При монтажі вибухових зовнішніх мереж для групового висадження зарядів безпосередньо в свердловинах або через проміжний детонатор ДШ використовується як магістральна нитка, і як відгалуження.

Для вибухових робіт у середовищах з високими температурами і тиском використовують спеціальні термостійкі ДШ. Причому вони слугують для передачі детонаційного імпульсу до зарядів ВР або підривних пристроїв (наприклад, розташованих у глибоких свердловинах).

Детонуючі шнури являють собою гнучкі подовжені пристрої, що складаються із серцевини потужної ВР (рис. 2.6), що безвідмовно детонує в подовженому заряді малого діаметра, декількох опліток з бавовняної або синтетичної пряжі із вологоізолюючим зовнішнім покриттям, можлива також

оболонка з поліетиленової композиції або пластикату. ДШ розрізняють за потужністю, водостійкістю та морозостійкістю.

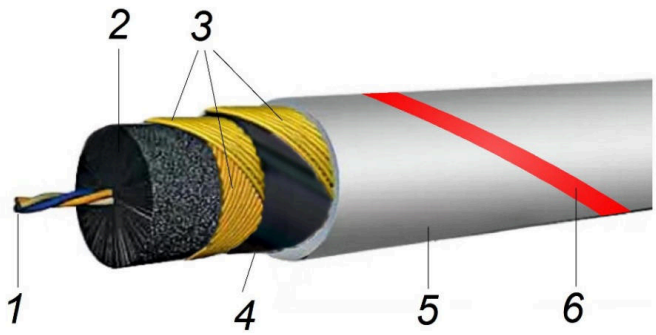


Рис. 2.6. Детоноючий шнур: 1 – напрямні нитки; 2 – високобризантна ВР; 3 – спіральні обплетення; 4 – шар водоізолюючої мастики; 5 – зовнішня водоізолююча оболонка; 6 – розпізнавальна червона нитка.

Серцевина ДШ містить високобризантну ВР (зазвичай ТЕН, в термостійких ДШ – гексаген, пентоліт, октоген і ін.) Зі швидкістю детонації не менше 6,5 км/с вони здатні створювати необхідний ініціюючий імпульс. Для відмінності детонуючого шнура від вогнепровідного його пластикатову оболонку фарблюють у червоні кольори різних відтінків, а в нитяну зовнішню оплітку шнура марки ДША вплітають дві червоні або коричневі нитки.

«Держпрацею» рекомендовані до застосування на відкритих гірничих роботах 13 марок ДШ, що розрізняються за типом покриття зовнішнього обплетення і масою вибухової серцевини (г) на 1 м ДШ.

З'єднання між собою двох відрізків ДШ або відгалуження з магістральним шнуром дозволяється робити внакладку, внакрутку (рис. 2.7) або способами, зазначеними в інструкції, що знаходиться в ящику з детонуючим шнуром.

Всі з'єднання ДШ повинні виконуватися під прямим або тупим кутами з таким розрахунком, щоб напрямок поширення детонації по шнуру збігався з напрямком відгалуження поширення детонації по магістральному шнуру.

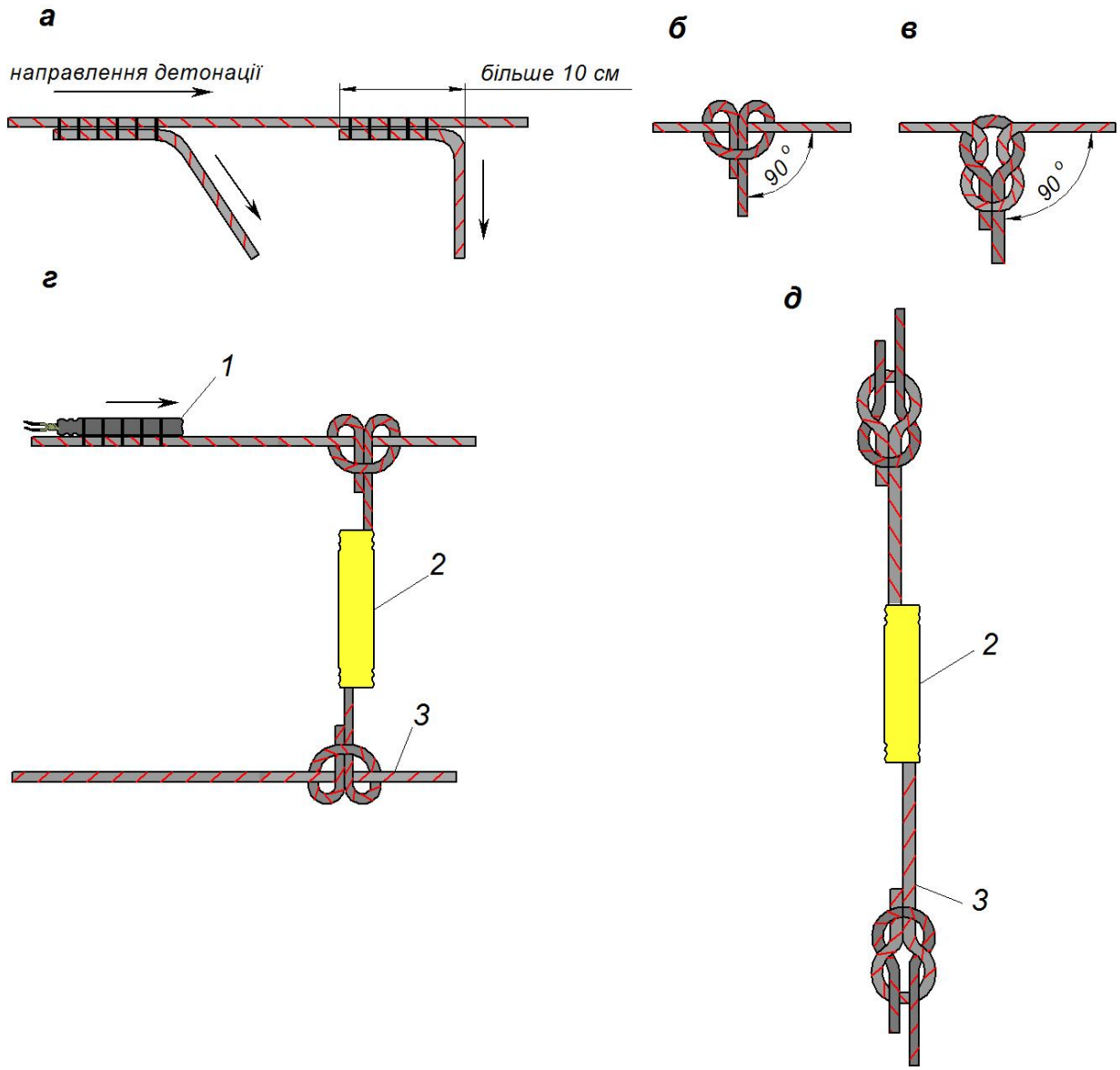


Рис. 2.7. Способи з'єднання ДШ: а – внакладку; б – простим вузлом; в – морським вузлом; г і д – способи з'єднання РП-Н і детонуючого шнура; 1 – електродетонатор; 2 – піротехнічні реле РП-Н; 3 – ДШ.

Для підриву свердловинних зарядів ДШ з'єднують з шашками-детонаторами або патронами ВР. При виготовленні проміжних детонаторів з порошкоподібних патронів ВР кінець детонуючого шнура в патроні повинен зав'язуватися не менше ніж удвічі. Дозволяється обмотувати ДШ навколо патрона вибухових речовин.

За необхідності висадження серії зарядів з різним ступенем уповільнення використовують піротехнічне детонаційне реле РП-8 двосторонньої дії.

Для створення уповільнень між сусідніми зарядами застосовують піротехнічні реле РП-8М, РП-Н, РП-Д (рис. 2.8) двосторонньої дії з інтервалами уповільнення 20, 35, 50 мс (РП-8М і РП-Н) і 20, 30, 45 60, 80, 100 мс (РП-Д). Залежно від інтервалу уповільнення типи реле відрізняються кольором з'єднувача (табл. 2.6).

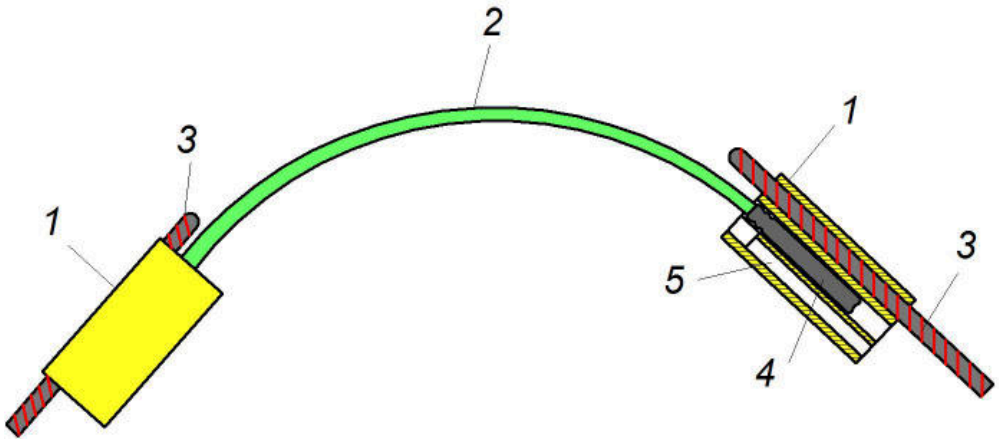


Рис. 2.8. Піротехнічне реле РП-Д: 1 – корпус монтажного елемента; 2 – ударнохвильова трубка; 3 – ДШ; 4 – капсуль-детонатор з уповільнюючим складом; 5 – наскрізні отвори для розміщення ДШ

Таблиця 2.6

Характеристика піротехнічного реле РП-Д

Тип реле	Уповільнення, м	Колір з'єднання
РП-Д-20	20	Червоно-помаранчевий
РП-Д-30	30	Жовтий
РП-Д-45	45	Червоний
РП-Д-60	60	Синій
РП-Д-80	80	Зелений
РП-Д-100	100	Коричневий

Реле складається з двох капсулів-детонаторів (КД) з замедленням, розміщених в монтажних елементах і з'єднаних між собою ударнохвильовою трубкою (УХТ) за допомогою обтискання через еластичне ущільнення. Матеріал гільз КД – алюміній або його сплави. З'єднувачі (монтажні елементи)

мають два отвори великого діаметра (5,5-6,1 мм) для приєднання до реле детонуючого шнура нормальної потужності і два отвори малого діаметра (4,2 мм) для приєднання ДШ малої потужності типу ДШМ-Е.

При проходженні детонації по ДШ в з'єднувальному реле вона ініціює ударнохвильові трубки, по яких імпульс передається в КД піротехнічного реле, де після спрацьовування уповільнюється склад ВР та знову відбувається детонація, котра веде до ініціювання ДШ в відгалуженні.

2.5.1. Неелектричні системи ініціювання зарядів ВР

Нині найбільш розповсюджені засоби ініціювання – патрони-бойовики з електродетонаторами та патрони-бойовики із капсулями неелектричних систем «Нонель», «Прима-Ера», «Імпульс». На сьогоднішній день – це самі передові системи ініціювання зарядів.

Низькоенергетичні неелектричні системи ініціювання на основі УВТ дозволяють створювати схеми підривання зарядів з практично необмеженими можливостями управління процесом руйнування гірських порід.

Застосування неелектричних систем ініціювання полягає в розширенні можливостей і збільшенні ефективності управління енергією вибуху за рахунок тривалості загального часу його дії на породний масив, спрямованості та послідовності проходження вибуху по свердловинах, зниження сейсмічної дії тощо. При цьому вибух свердловинного заряду характеризується компактною формою розвалу підірваної гірської маси, значним зменшенням виходу негабаритних шматків гірничої маси, зниженням сейсмічної дії та іншими показниками. Сучасні неелектричні системи ініціювання повністю безпечні до електромагнітних хвиль.

Світовими лідерами з виробництва і продажу систем ініціювання є міжнародні альянси «ICI», «Dyno Nobel», фірми США «Ensing Bickford», «Austin», німецька фірма «Dinamit Nobel». За кордоном неелектричні системи ініціювання на основі ДШ представлені малопотужними шнурами з навішуванням 1,5 – 10,2 г/м.

Велике поширення в світі отримала неелектрична система «Нонель» фірми «Нітро Нобель» (Швеція), основу якої складають УВТ з масою ВВ 20 мг/м і капсулі – детонатори уповільненої дії (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Неелектрична ініціююча система «Нонель»

Основним елементом системи «Нонель» є порожнистий пластиковий шнур – хвилевід, внутрішня поверхня якого покрита тонким шаром вибухової суміші. При ініціюванні повітряна ударна хвиля розповсюджується по каналу шнура зі швидкістю 2 км/с. Ударна хвиля передає енергію, якої достатньо для ініціювання КД, який закріплено на одному з кінців шнура хвилевода. Шнур «Нонель» виконано у вигляді пластикової трубки (зовнішній діаметр – 3 мм, внутрішній – 1,5 мм), яка не має вибухових якостей. Він ні при яких умовах не збуджує детонацію в ВР, які використовуються на практиці. Шнур не вибухає ні від удару, ні від вогню. При передачі ударної хвилі не руйнується, виконуючи роль тільки провідника сигналу.

УВТ «Нонель» не має вибухового ефектому. Ударна хвиля поширюється по внутрішній стороні трубки без будь-якого впливу на навколишнє

середовище. Серцевина трубки «Нонель» виконана у вигляді нанесеного на внутрішню поверхню полімерної оболонки тонкого шару вторинної ВР (тену або порошкоподібного алюмінію). Перевагами її є дуже малі витрати ВР, несприйнятливість до електричних розрядів напругою до 30 кВ.

Оболонка УВТ «Нонель» є подвійною трубкою з пластика. Якщо її тримати в руці, то навряд чи можливо відчути проходження ударної хвилі. Капсуль-детонатор незапобіжного типу ініціюється полум'ям, яке виникає в момент, коли ударна хвиля входить з трубки «Нонель» в детонатор. Поверхневі КД системи мають 5 серій уповільнення (0, 17, 25, 42, 67 мс), внутрішньосвердловинні уповільнювачі – теж 5 серій з інтервалами 400, 425, 450, 475 і 500 мс.

Капсуль-детонатор системи "Нонель" за конструкцією аналогічний штатному електродетонатору типу ЕДКЗ, тільки ініціювання його уповільнювача виконується не електрозапалювачем, як в ЕДКЗ, а високотемпературною тепловою хвилею по трубці. Час із КД може за необхідності становити від 25 мкс до 2 хв. з інтервалом з 25, 100, 150 мкс.

Нині система "Нонель" містить у собі поверхневі і свердловинні капсулі-детонатори із уповільненням, тобто підвищеної безпеки до механічних впливів.

На рис. 2.10 наведений з’єднувальний блок системи «Нонель» «Снеплайн». Блоки мають різні кольори, залежно від часу уповільнення.

Призначення з’єднувального блоку полягає у подальшій передачі ударної хвилі через точки приєднання. Передача може здійснюватися як з уповільненням, так і без уповільнення в детонаторі, розташованого блоку.

Кожен з'єднувальний блок розрахований максимум на 5 трубок діаметром 3 мм та на 4 трубки діаметром 3,7 мм (HD). Можна також встановити і комбінацію трубок: 2 HD та 3 стандартні трубки. Блок сконструйований таким чином, що трубки примикають до нижньої частини детонатора.

На рис 2.11 наведено приклад ініціювання свердловинних зарядів по рядах на вибуховому блоці. Тут вибрали з'єднувальний блок з уповільненням 25

мсек, між рядами і для крайніх свердловин. Нульове уповільнення використовується між свердловинами одного ряду. Такий спосіб найбільше підходить для невеликого блоку.



Рис. 2.10. З'єднувальний блок системи «Нонель». 1 – КД, 2 – ущільнювальна заглушка, що запобігає потраплянню води, 3 – пластмасовий блок, що забезпечує захист від розльоту осколків детонатора, 4 – трубка «Нонель», 5 – з'єднувальна стрічка, 6 – маркувальна стрічка (вказується період уповільнення детонатора, розташованого всередині блоку, та довжина трубки).

Використовуючи поверхневі з'єднувальні блоки системи «Нонель» з різним уповільненням в одному ряду, можна отримати *V*-подібні схеми ініціювання різної форми. Вони забезпечують кращий ударний ефект, що у свою чергу покращує фрагментацію та забезпечує більш компактний розвал підірваної породи порівняно з ініціюванням рядами.

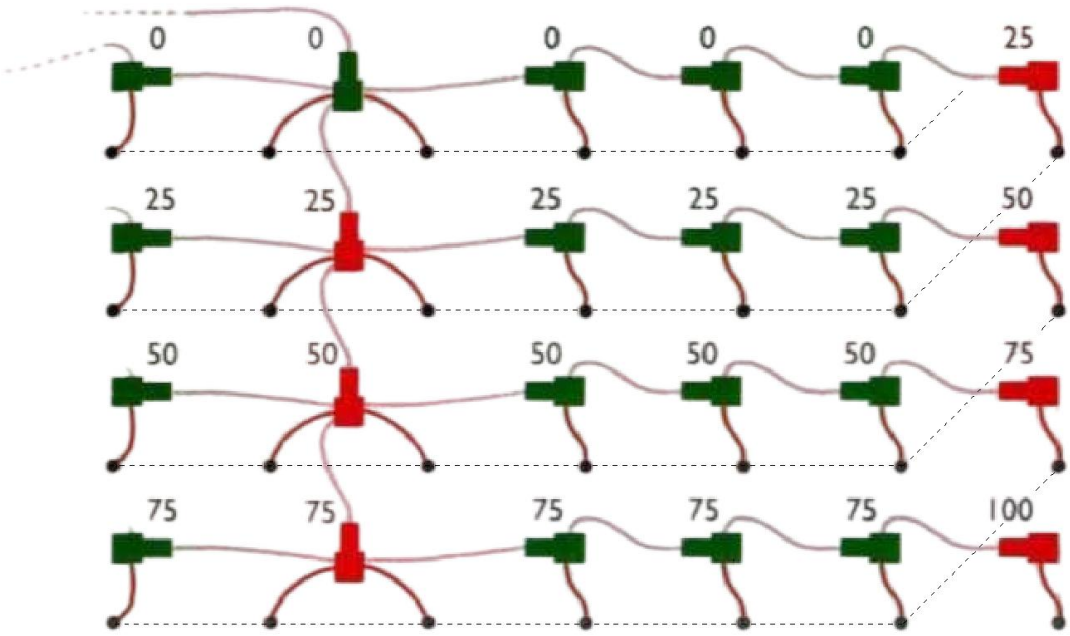
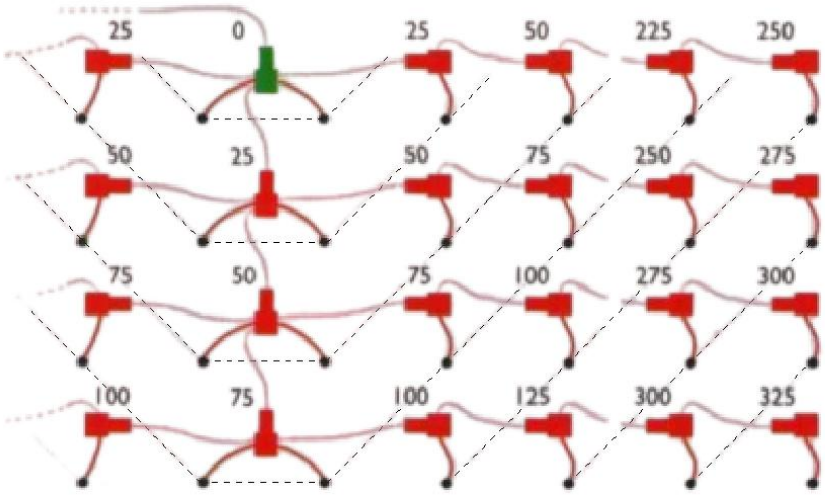


Рис 2.11. Приклад ініціювання рядами свердловинних зарядів на вибуховому блоці

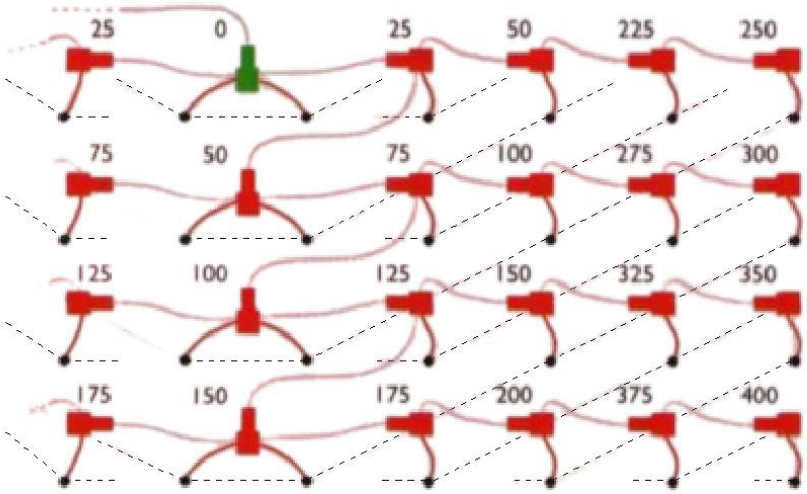
На рис. 2.12 зображено два варіанти клиноподібних схем ініціювання. На верхньому можна побачити схему з сильнішим ударним ефектом і компактнішим розвалом породи. На нижньому – схему з'єднання, де за допомогою уповільнень л.н.о зменшується вдвічі порівняно із забуреною. Найчастіше така схема забезпечує дуже хорошу фрагментацію.

Можливість комбінування поверхневих з'єднувальних блоків з різними уповільненнями забезпечує більшу гнучкість при проєктуванні вибуху і дає можливість варіювати схеми ініціювання в залежності від різних характеристик твердості порід, сітки буріння та бажаних результатів підривання.

Інший спосіб монтажу послідовності ініціювання – застосування діагональної схеми. При цьому монтаж здійснюється за рахунок з'єднання свердловин, починаючи від першого ряду по діагоналі у напрямку до задніх рядів (рис. 2.13), або за *V*-подібною схемою у напрямку до середини, як вказано на рис. 2.12. Така схема з'єднання особливо зручна, якщо існують обмеження щодо сейсмічної дії вибуху.



V- подібна схемі ініціювання



ініціювання за V- подібною розгорнутою схемою

Рис. 2.12. Варіанти клиноподібних схем ініціювання

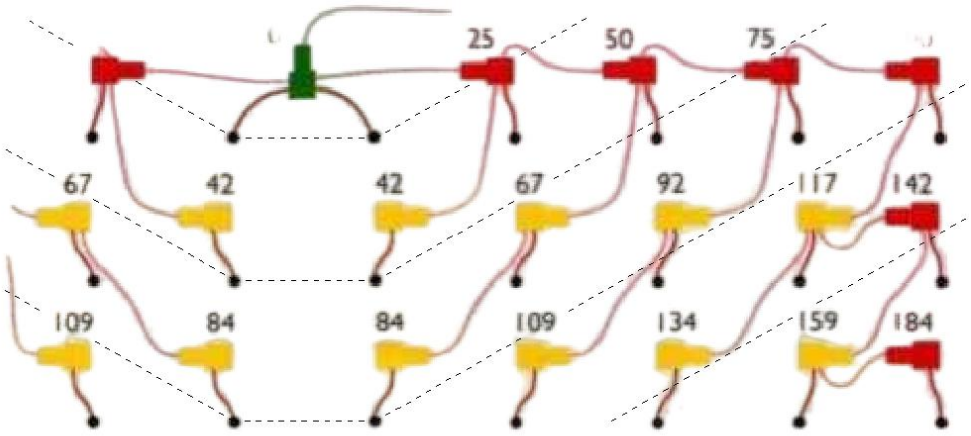


Рис. 2.13. Діагональна схема ініціювання

На рис. 2.14 зображено загальний вигляд вибухової машинки «Діностарт» яка створює початкове ініціювання вибухової мережі.



Рис. 2.14. Загальний вигляд вибухової машинки «Діностарт»

Вибухова машина «Діностарт» приєднується до комплекту свердловин за допомогою з'єднувального блоку «Снеплайн 0», для чого необхідно обрізати ножем запаяний кінець трубки. Комплект свердловин ініціюється за рахунок передачі в трубку високоенергійної іскри. Машинка приводиться у дію двома руками. Для більшої безпеки на поверхні машинки надруковано інструкцію з експлуатації: Charging – заряджання; Firing – ініціювання;

- для ініціювання машини натиснути кнопку Charging, доки індикаторна лампочка не загориться постійно;

- утримуючи кнопку Charging у натиснутому стані, натиснути кнопку Firing.

Переваги системи «Нонель» – нечутливість до дії блукаючих струмів, електростатичних зарядів та електромагнітних полів:

- підвищена продуктивність, внаслідок пришвидшення підготовки до вибуху;

- зниження вартості вибухових робіт;

- висока надійність.

Недоліки системи «Нонель» - неможливість перевірки цілісності вибухової мережі.

Система ініціювання «Прима-ЕРА», розроблена на ДП «НВО «Павлоградський хімічний завод», є неелектричною. Одним з її елементів є низькоенергетичний хвилевід у вигляді пластмасової трубки, на внутрішню поверхню якої нанесено активну речовину. Ударна хвиля, швидкість якої досягає 2100 м/с, має достатню силу, щоб ініціювати сповільнюючий склад капсуля-детонатора (КД), але недостатню, щоб розірвати хвилевід «Прима-ЕРА» і ініціювати вибухову речовину, що знаходиться біля хвилеводу. Різниця між «Примою-ЕРА» та іншими неелектричними системами полягає в тому, що реакція в системі триває у хвилеводі, в той час як детонуючий шнур сам детонує, про що свідчить його назва.

При застосуванні детонуючого шнура ініціювання вибухових речовин починається з поверхні, що викликає розліт породи, оскільки відбувається руйнування забійки при проходженні детонації через неї, при цьому частина енергії втрачається на її деструкцію.

При ініціюванні відносно нечутливих вибухових речовин, таких як емульсійні ВР, шнур, що детонує, сприяє небажаному ущільненню і випалюванню вибухових речовин.

При ініціювання комплектів свердловин поверхнева мережа «Прима-ЕРА», на відміну від ДШ, спрацьовує з достатнім випередженням до початку ініціювання ВР у свердловині.

Система являє собою комплект, що складається з одного, двох або трьох свердловинних елементів.

«Прима-ЕРА-Д» (детонатор) складається з певної кількості проміжних детонаторів у свердловині, які мають визначений час уповільнення, хвилеводом з довжиною відповідною до глибини свердловини і одного поверхневого елемента (рис. 2.15, а).

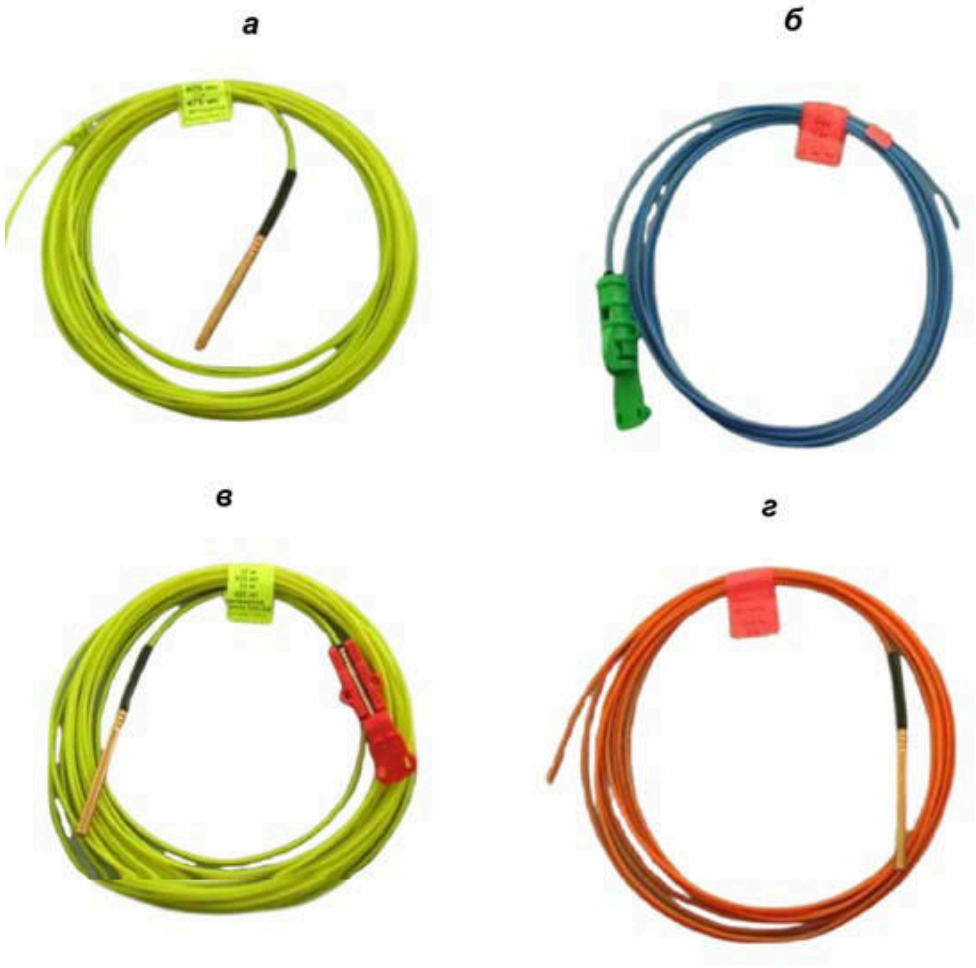


Рис. 2.15. Системи ініціювання: а) «Прима-ЕРА-Д»; б) «Прима-ЕРА-С»; в) Прима-ЕРА-СД»; г) «Прима-ЕРА-Т» і «Прима-ЕРА -Тм».

«Прима-ЕРА-С» – з'єднувач з певним часом уповільнення та довжиною хвилеводу, залежно від відстані між свердловинами одного, двох або трьох елементів подвійної дії (рис. 2.15, б).

«Прима-ЕРА-СД» – з'єднувач-детонатора, який компонується з проміжних детонаторів у свердловині, з певним часом уповільнення та довжиною хвилеводу, залежно від глибини свердловини та відстані між свердловинами; - одного або двох свердловинних (шпурових) елементів (рис. 2.15, в).

«Прима-ЕРА-Т» або «Прима-ЕРА-Тм» (тунельний) – складається з певної кількості патронів-бойовиків у шпурі (свердловині) та часом уповільнення, довжиною хвилеводу, залежно від глибини свердловини (рис.2.15, г).

«Прима-ЕРА-Д» призначена виключно для ініціювання ВР у свердловині та не функціонує на відкритій поверхні.

Для ініціювання промислових вибухових речовин у свердловинах та шпурах застосовують проміжні детонатори та патрони бойовики, зібрані з елементів «Прима-ЕРА». Як проміжні детонатори можуть використовуватися: двоканальна шашка типу ТГ-400, ТГ-500, ТГ-800 та одноканальна шашка Т-400. Як патрони-бойовики застосовується патрони з амоніту №6 ЖВ.

Використання елементів «Прима-ЕРА-С» та «Прима-ЕРА-Д» забезпечує простоту при монтажі поверхневої вибухової мережі.

При монтажі всі свердловини, що вибухають, заряджаються «Прима-ЕРА-Д» з однаковими часами уповільнення, послідовність ініціювання забезпечується на поверхні за допомогою "Прима-ЕРА-С" з різними уповільненнями.

Система неелектричного ініціювання «Імпульс» складається з поверхневого ініціюючого пристрою, має уповільнення, що виготовляється у двох варіантах (УНС-П і з'єднувач під шість хвилеводів або УНС-ПА із з'єднувачем під п'ять хвилеводів, свердловинного ініціюючого пристрою із уповільненням УНС-С і стартового пристрою).

Пристрої УНС-С і УНС-П являють собою детонатор із уповільненням, що не містить ініціюючих ВР, він герметично з'єднаний за допомогою гумової втулки з відрізком хвилеводу певної довжини. Пристрій системи УНС-ПА являє собою капсуль-детонатор, що містить незначну кількість ініціюючої сполуки, поміщеної в товстостінну металеву втулку, що герметично з'єднана за допомогою гумової втулки з відрізком хвилеводу певної довжини. Хвилевід пристроїв системи "Імпульс" являє собою еластичну багатошарову пластикову трубку. На внутрішню поверхню трубки нанесений детонуюча сполука (ДС), ініціювання якої спричиняє утворення ударної хвилі, що поширюється по внутрішньому каналу хвилеводу зі швидкістю 2100 м/с. Ударна хвиля має

достатню силу, щоб ініціювати уповільнюючий елемент детонатора, але недостатню, аби розірвати хвилевід системи "Імпульс".

Хвилевід для пристроїв системи УНС-П, УНС-ПА виготовляється синього кольору, а для УНС-С – червоного. Зовнішній діаметр хвилеводу становить 3,5 мм, маса ДС – 25 мг/м. Зусилля на розрив – не менше 200 Н. Капсуль-детонатор являє собою біметалічну або сталеву гільзу з антикорозійним покриттям, усередині якої розміщений уповільнюючий елемент, що ініціює основний заряд. Ініціюючий елемент виконаний без використання ІВР у пристроях УНС-С і УНС-П. Для герметичного з'єднання КД із хвилеводом застосовується гумова трубка. Фіксація здійснюється методом обтискання шестизиговою цангою для пристроїв УНС-С і п'ятизиговою – для пристроїв УНС-П і УНС-ПА.

Система «Імпульс» має наступні переваги:

- високий рівень керованості масовими вибухами, що досягається за рахунок використання індивідуальної затримки кожного свердловинного заряду;

- ефективне використання ініціювання свердловинних зарядів, оскільки хвилевід, який застосовується у системі, не має бічного енерговиділення і не впливає на свердловинний заряд;

- виключення можливості зворотного ініціювання від свердловинного заряду в поверхневу підривну мережу;

- нечутливість до електричних і електромагнітних впливів;

- стійкість до механічних впливів завдяки своїм конструктивним особливостям;

- низький сейсмічний ефект, що забезпечується різночасністю спрацьовування свердловинних зарядів.

У цілому системи неелектричного ініціювання характеризується істотним підвищенням ефективності і безпечності ведення вибухових робіт.

Контрольні запитання

1. Що називають швидкоплинним процесом термодинамічної незворотної зміни речовини, який супроводжується звільненням значної кількості енергії в обмеженому об'ємі?

2. Як називають хімічні сполуки або суміші речовин, які здатні до швидкої хімічної реакції, що супроводжується виділенням великої кількості тепла та утворення газів?

3. Які основні компоненти входять до складу промислових ВР?

4. За якими ознаками класифікують ВР?

5. Як класифікують ВР за складом?

6. Як класифікують ВР за умовами використання?

7. Які основні недоліки мають тротиловмісні вибухові речовини?

8. Які вибухові речовини є найбільш екологічними?

9. Які способи підривання ВР застосовують на відкритих гірничих роботах?

10. Що викликає вибух заряду вибухової речовини?

11. Для чого застосовують при вибухових роботах вогнепровідний та детонуючий шнури?

12. Чим відрізняється капсуль-детонатор від електродетонатора?

13. Що є основним елементом неелектричної системи ініціювання «Нонель»?

14. Які основні переваги застосування неелектричних систем ініціювання?

Список рекомендованої літератури до розділу 2.

1. Технологія та безпека виконання підривних робіт : навч. посіб. Для ВНЗ / В.В. Соболєв, Р.М. Терещук, О.Є. Григор'єв; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2017. – 314 с.

2. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія / Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 212 с.

3. В.П. Купрін, І.Л. Коваленко. Розробка і впровадження емульсійних вибухових речовин на кар'єрах України. - Дніпро. - 2012.-242

4. Симанович, Г. А., Хоменко, О. Є., & Кононенко, М. М. (2014). Руйнування гірських порід вибухом.

5. Кравець, В. Г., & Бойко, В. В. (2018). Методичне видання з курсу «Прикладна геофізика» для студентів спеціальності 184 «Гірництво» спеціалізацій «Геотехнічне і міське підземне будівництво»,«Розробка родовищ та видобування корисних копалин».

6. Persson, P. A., Holmberg, R., & Lee, J. (2018). Rock blasting and explosives engineering. CRC press.

7. AyalaCarcedo, F. (2017). Drilling and blasting of rocks. Routledge.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИБУХОВИХ РОБІТ ПРИ ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБОТАХ

У розділі викладено основні методи ведення вибухових робіт на кар’єрах; наведено раціональні конструкції та параметри свердловинних зарядів, схеми підривання зарядів ВР та умови їх застосування на вибухових блоках, характеристику розвалу гірничої маси, методи руйнування негабаритів, особливості механізації вибухових робіт.

Спираючись на матеріал розділу, студент повинен уміти: вибирати раціональні методи вибухових робіт на кар’єрі, проводити розрахунки основних параметрів свердловинних зарядів, застосовувати ефективні схеми комутації вибухової мережі.

3.1. Методи вибухових робіт на кар’єрах

Метод вибухових робіт при відкритих гірничих роботах визначається виробкою або системою виробок, споруджених для розміщення та здійснення вибухів зарядів промислових ВР.

На кар'єрах застосовують наступні методи ведення вибухових робіт.

Метод свердловинних зарядів є основним при підриванні гірських порід на кар'єрах. Для руйнування гірського масиву заряди ВР розміщують у вертикальних і похилих свердловинах діаметром 100 – 320 мм, глибиною 5 – 20 м.

Метод шпурових зарядів застосовують на невеликих кар'єрах, та при допоміжних роботах на потужних кар’єрах. ВР розміщують у вертикальних, похилих або горизонтальних шпурах діаметром до 75 мм та глибиною до 5 м.

Метод котлових шпурових та свердловинних зарядів застосовують порівняно рідко через його ненадійність. При цьому для розміщення в нижній частині великого заряду ВР шпури та свердловини попередньо простріліюють невеликими зарядами. Інколи розширення частини свердловини, що заряджається, виконують механічними розширювачами або за допомогою вогневого буріння в породах, що піддаються термічному руйнуванню.

Метод камерних зарядів застосовують переважно для підривання на викид і скидання під час будівництва гребель, дамб, каналів. Зосереджені заряди великої маси від кількох до тисяч тонн розміщують у камерах.

Метод малокамерних зарядів (рукавів) іноді використовується на кар'єрах невеликої виробничої потужності. Заряди розміщують у горизонтальних заглибленнях перетином до 30х30 см, глибиною до 3 м для підривання уступів невеликої висоти.

Метод зовнішніх (накладних) зарядів має таку особливість: заряди укладають на об'єкти, що руйнуються (негабаритні шматки породи, козирки уступів, зависання породи на укосах уступів тощо).

Головна мета вибухових робіт при відкритих гірничих роботах – це відділення від масиву визначеної кількості гірської породи та її подрібнення на шматки, зручні для навантаження і транспортування. При цьому необхідна кількість ВР повинна бути розрахована і розміщена в масиві таким чином, щоб при мінімальних витратах праці і вибухових матеріалів наслідки вибуху були максимально ефективними.

Буропідривні роботи на кар’єрах повинні забезпечити:

- належне подрібнення породи під час вибуху на шматки, що не перевищують визначеного розміру (мінімальний вихід негабариту);
- розвал підірваної породи мусить бути заданої ширини і висоти;
- запас гірничої маси в вибої повинен бути достатнім для ефективної роботи навантажувальних машин;
- високу економічність та безпеку робіт.

Вибір методу вибухових робіт залежить від об’єму масиву порід, що підривають, необхідного ступеню подрібнення порід та економічної вигоди.

Здійснення вибухових робіт переліченими методами здійснюється за технологічними картами або паспортом БВР.

Паспорт буропідривних робіт або технологічна карта включає наступні дані:

1) фізико-механічні властивості порід;
2) характеристику і напрямок об’єкта;

3) схему розміщення шпурів, свердловин або камер;

4) величину радіуса небезпечної зони;

5) тип ВР, що використовується;

6) величина заряду і набійки в кожному шпурі, свердловині;

7) спосіб і черговість підривання зарядів;

8) техніко-економічні показники.

Вибір методу вибухових робіт залежить від об'єму масиву, що підривається, необхідного ступеня подрібнення порід і економічної вигоди.

3.2. Конструкції свердловинних зарядів ВР

Найпоширенішим на сучасних кар'єрах є метод свердловинних зарядів. У вибуховому масиві бурять вертикальні або похилі свердловини діаметром 80 – 320 мм глибиною понад 5 м. В окремих випадках для збільшення маси нижню частину свердловини розширюють механічним або вогневим способом до діаметра 400 мм.

На уступі свердловини розташовують в один ряд (однорядне підривання), два ряди і більше (багаторядне підривання).

Експлуатаційними параметрами свердловин вважають: діаметр d_c, довжину L_c і кут нахилу β_c. Діаметр свердловини залежить від фізико-механічних властивостей порід, діаметра бурового інструмента, необхідного ступеня подрібнення порід, масштабу і організації гірничих робіт. Свердловини малого діаметра застосовують в породах, що важко руйнуються; великого – при використанні потужного навантажувального обладнання.

Для обраного бурового верстата:

$$d_c = K_{pc} \cdot d_д, \text{ мм}$$

де $d_д$ – діаметр долота (коронки), мм; K_{pc} = 1,05-1,2 – коефіцієнт розширення свердловин при бурінні. Менше значення відповідає монолітним породам, більше– тріщинуватим.

Залежно від кута нахилу до горизонтальної площини розрізняють вертикальні (β_c = 90°), горизонтальні *(β_c = 0°)* і похилі (90°> βc> 0°) свердловини.

На кар'єрах дуже поширені вертикальні свердловини (рис. 3.1, б, в). Горизонтальні свердловини використовують зрідка і, як правило, в поєднанні з вертикальними, для підривання високих уступів або їх виположування (заоткоски) при підході до граничного контуру кар'єру. Похилі свердловини, пробурені паралельно укосу уступу (а), забезпечують відрив порід по лінії свердловин, високий ступінь подрібнення забезпечує необхідну обробку підошви вибою, оскільки опір породи підриванню постійний по висоті уступу.

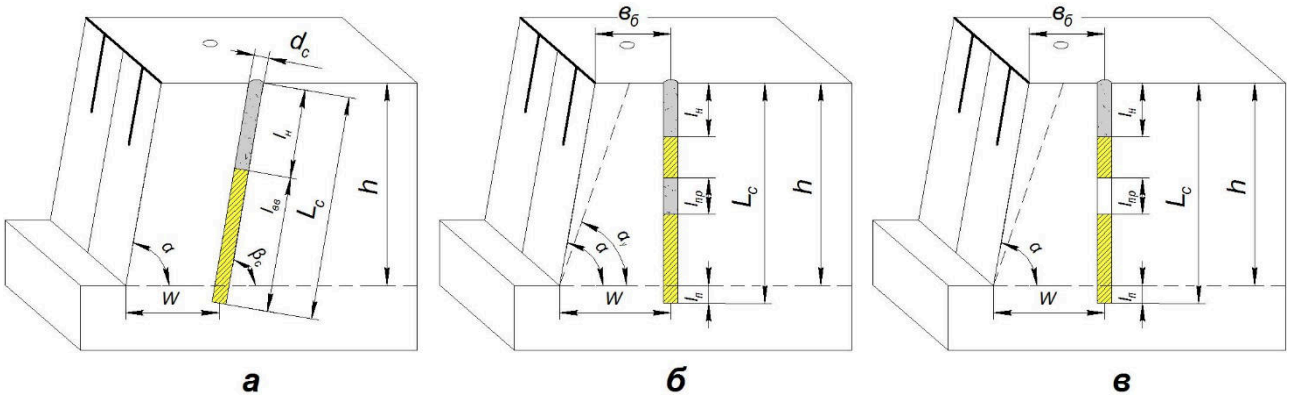


Рис. 3.1. Параметри свердловинних зарядів: а) суцільний; б) і в) розосереджений

Частина сучасних бурових верстатів забезпечує строго фіксовані кути нахилу свердловин – 90°, 75°, 60°.

Довжина свердловини L_c залежить від висоти уступу h *(м)*, кута нахилу свердловини і величини перебуру l_n *(м),* (рис. 3.1, а):

$$L_c = \frac{h}{\sin \beta_c} + l_n$$

Перебур забезпечує якісне руйнування порід в підошві уступу і повинен складати:

$$l_n = (10 \div 15) \cdot d_c$$

або $l_n \approx 0{,}2 \cdot h$

Якщо уступ, що лежить нижче, представлений корисною копалиною або пластичними породами, то необхідність в перебурі відпадає.

Довжину набійки *(м)* визначають з виразу:

$$l_н = (0{,}6 \div 0{,}8) \cdot W_c$$

де *W* – лінія найменшого опору (л.н.с.), найкоротша відстань від центра заряду до відкритої поверхні.

Довжина набійки повинна бути не менше *1/3* глибини свердловини. При довжині заряду (1 ÷ 1,2) · *W* необхідно застосовувати суцільні заряди, а при більшій довжині – розосереджені.

При розосереджених зарядах (рис. 3.1, б, в) довжина заряду в свердловині складе, м:

$$l_{вв} = L_c - l_н - \Sigma l_{пр},$$

де $\Sigma l_{пр} = (0{,}17 \div 0{,}35) \cdot Lc$ – сумарна довжина проміжків (повітряних або заповнених інертною набійкою), м, причому менше значення відноситься до більш міцних порід.

Маса нижнього заряду повинна становити 60 – 70 % від загальної маси заряду, а довжина – не менше *1,2 · W*. Маса верхнього заряду не перевищує 30 – 40 % від $Q_{вв}$.

При використанні розосереджених зарядів довжина набійки може бути зменшена.

Якщо для гірничотехнічних умов неможливо витримати розрахункову величину л.н.с., що долається одиночним зарядом, слід збільшити діаметр свердловини.

У разі неможливого збільшення діаметра свердловини використовують підривання парнозближених свердловинних зарядів. Вони дозволяють збільшити л.н.с. на 30 – 40 % в порівнянні з опором, що долає одиночний заряд.

Величину л.н.с. парнозближених зарядів W_n *(м)* визначають по формулі:

$$W_n = \sqrt{2 \cdot \frac{P}{q_e}},$$

де q_e – питома витрата еталонної ВР, кг/м^3,

або

$$W_n = 0{,}9\sqrt{2 \cdot \frac{P}{q_n}},$$

або

$$W_n = 0{,}24 \cdot d_c \sqrt{\frac{\Delta}{q_n}},$$

де P – місткість ВР в 1 пог. м свердловини, кг, Δ – щільність заряджання обраної ВР, т/м^3.

Величину P можна знайти за формулою:

$$P = 7{,}85 \cdot d_c^2 \cdot \Delta \cdot K_з, \text{ кг/м},$$

де $K_з$ – коефіцієнт заповнення свердловини (для гранульованих і рідких ВР $K_з = 1$).

Мінімальна лінія опору щодо підошви за умовами безпечного обурення першого ряду свердловин, м:

$$W_б = h \cdot ctq\alpha + z_n, \text{ м},$$

де α – кут укосу уступу, град, z_n – ширина можливої призми обвалення, м.

При цьому повинна виконуватися умова:

$$W \geq W_б$$

Відстань між свердловинами в парі становить в межах 4 – 6 діаметрів свердловин.

Розрахунок параметрів похилих зарядів проводиться в тій же послідовності, що і для вертикальних. При цьому величину *л.н.с. (м)* для похилих свердловин розраховують за формулами:

$$W_{\text{н}} = \frac{1}{\sin\beta} \cdot \sqrt{\frac{P}{q_e}},$$

або

$$W_{н} = \frac{0{,}9}{\sin\beta} \cdot \sqrt{\frac{P}{q_n}},$$

де $W_н$ – л.н.с., яка вимірюється відстанню по горизонту від нижньої бровки уступу до осі свердловини, м; β – кут нахилу свердловини до горизонту, град.

3.2.1. Раціональні конструкції свердловинних зарядів

Конструкція свердловинного заряду вибухової речовини – це сукупність геометричних (циліндричні, сферичні і плоскі форми зарядів) і технологічних параметрів (заповнення свердловини ВР, місце розташування проміжних детонаторів, наявність інертних зазорів тощо), призначених для забезпечення ефективного руйнування гірських порід.

Вибір раціональної конструкції свердловинних зарядів залежить від багатьох факторів і, зокрема від ступеня обводненості порід, опору по підошві уступу, міцності та тріщинуватості гірських порід і т.д. Основна мета при цьому – досягнення інтенсивного дроблення порід при мінімальних витратах.

3.2.2. Свердловинні заряди ВР з повітряними проміжками

Одним із відомих способів, який дозволяє змінювати умови дії вибуху на масив гірських порід, є створення по довжині заряду ВР повітряних проміжків.

Практика застосування свердловинних зарядів та багаторічні випробування довели, що за рахунок посилення дії зарядів з повітряними проміжками в результаті зниження початкового тиску продуктів детонації, збільшення часу їх дії на середовище, що руйнується, а також взаємодії

взаємодії ударних хвиль і газових потоків досягається інтенсивне подрібнення порід. При цьому основний та додатковий заряди ініціюються одночасно (рис. 3.2).

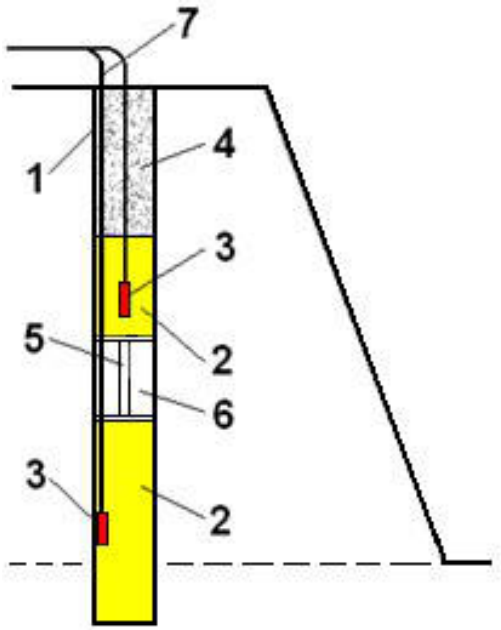


Рис. 3.2. Свердловинний заряд ВР з повітряним проміжком: 1 – свердловина; 2 – ВР; 3 – детонатор; 4 – набивка; 5 – дерев'яний корок; 6 – повітряний проміжок; 7 – детонуючий шнур

Ефективність свердловинних зарядів, розосереджених повітряними проміжками, доведена багаторічною практикою вибухових робіт як на кар'єрах, так і в підземних виробках при руйнуванні порід різної міцності.

Вперше в Україні свердловини з повітряними проміжками були застосовані в 1958 р. на залізорудних кар'єрах Кривбасу. Особливе значення використання зарядів з повітряними проміжками з огляду на зменшення питомої витрати ВР набуває при руйнуванні нерудних корисних копалин. З екологічної точки зору доцільно застосовувати заряди з повітряними проміжками: зменшується вихід переподрібненої (пилоподібної) гірської породи.

3.2.3. Підривання з внутрішньо-свердловинним уповільненням

Передача енергії вибуху масиву порід, що руйнуються, характеризується не тільки просторовим розміщенням ВР в свердловині, а і формою фронту динамічних напружень, що виникають в породі при детонації ВР.

Характер динамічного поля напружень і їх вплив на гірський масив визначається в значній мірі розташуванням точок ініціювання в окремих його частинах і послідовністю ініціювання ВР в них через заданий інтервал часу.

Цим умовам відповідає метод внутрішньо-свердловинних уповільнень, а саме різночасного ініціювання окремих частин розосередженого свердловинного заряду ВР.

Існує дві схеми уповільнення: «знизу», коли першим (миттєво) підривається нижній заряд свердловини (рис. 3.3), а через певний проміжок часу – верхній заряд.

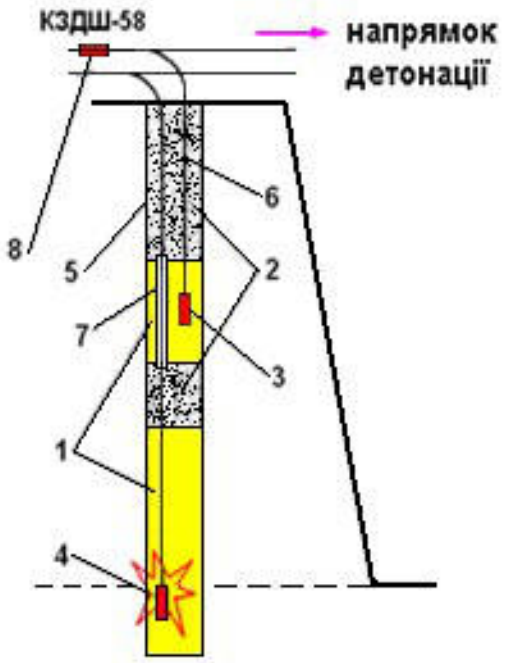


Рис. 3.3. Конструкція свердловинного заряду ВР (схема уповільнення «знизу»): 1 – вибухова речовина; 2 – набивка; 3 і 4 – відповідно, верхній і нижній проміжний детонатор; 5 – свердловина; 6 – ДШ; 7 – трубка-ізолятор; 8 – піротехнічне реле

При впровадженні неелектричної системи ініціювання (НСІ) необхідність ізоляції ВР вернього заряду відпала.

Після ініціювання нижнього детонатора фронт поля напружень досягає верхнього заряду ВР. Саме в цей час він підривається. Завдяки цьому відбувається складання напружень, викликаних детонацією нижнього і верхнього зарядів, що обумовлює зростання величини руйнівних напружень.

В результаті різночасності підривання зарядів ВР досягається загальне збільшення часу дії вибуху на породу і, як наслідок, значне поліпшення дробрібнення порід. Зменшується загальний об'єм і висота пилогазових викидів в атмосферу кар'єру. Вперше випробування цієї конструкції відбулось на Новокриворізькому ГЗК в 1964 р.

Теоретичними і експериментальними дослідженнями встановлено, що розташування точки ініціювання по довжині заряду вибухової речовини відіграє істотну роль в процесі руйнування і може бути використано як один з методів управління дією вибуху при подрібненні гірських порід.

Швидкість детонації заряду в прямому напрямку від місця прикладання початкового напрямку імпульсу є набагато більшим, ніж у зворотному, а це стосується і енергії вибуху (рис. 3.4).

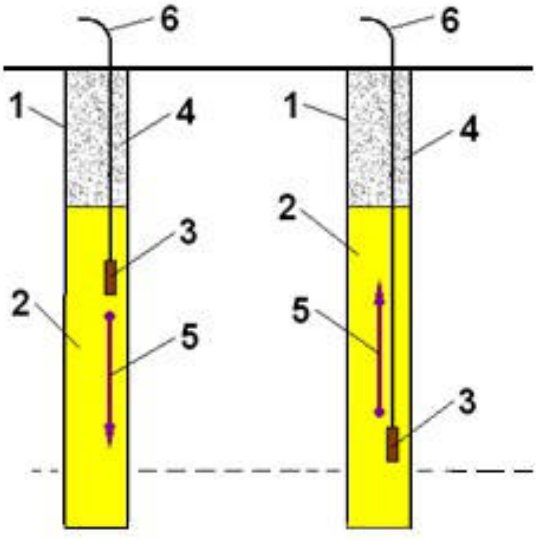


Рис. 3.4. Конструкції свердловинних зарядів при різних напрямках ініціювання: а) зверху; б) знизу; 1 – свердловина; 2 – заряд ВР; 3 – проміжний детонатор; 4 – набивка; 5 – напрямок ініціювання; 6 – ДШ

При підриванні колонкових зарядів більш раціонально розміщувати проміжні детонатори в нижній частині заряду. Проміжний детонатор не рекомендують розташовувати в перебурі свердловини, бо це збільшує сейсмічний ефект.

Використання неелектричної системи ініціювання виключає необхідність ізоляції ДШ, що прокладається до нижнього проміжного детонатора, спрощуючи технологію формування зарядів ВР данної конструкції і зменшуючи втрати енергії вибуху. Особливо це важливо при діаметрі свердловини менше 100 мм.

3.2.4. Конструкція свердловинного заряду з інертним зазором між ВР і стінками свердловини

Відомо, що корисна дія вибуху свердловинного заряду залежить від умов передачі енергії, що виділяється під час детонації ВР в масиві гірських порід.

Практично це можливо здійснити при використанні конструкції заряду з інертним (повітряним або водним) зазором між бічною поверхню заряду ВР і стінками свердловини (рис. 3.5).

Наявність між зарядом ВР і породою прошарку з повітря, води або пульпи істотно змінює характер впливу вибуху на масив гірських порід.

Використання води і повітря для формування проміжків дозволяє вирівнювати піковий тиск, збільшуючи час дії позитивної фази хвилі напружень, що має важливе значення для руйнування гірських порід.

Заряди з кільцевими інертними зазорами, які виконують роль демпфера, не тільки знижують тиск на стінки зарядної порожнини, але і швидкість навантаження породи, від якої залежить розміри зони переподрібнення і вихід дрібних, в тому числі пилоподібних, фракцій. Такі заряди забезпечують на 10 – 15 % підвищення коефіцієнта використання енергії вибуху.

Найбільший ефект з позиції зменшення втрат енергії вибуху в ближній зоні досягається в тому випадку, коли заповнювачем зазору між ВР і стінкою свердловини є повітря.

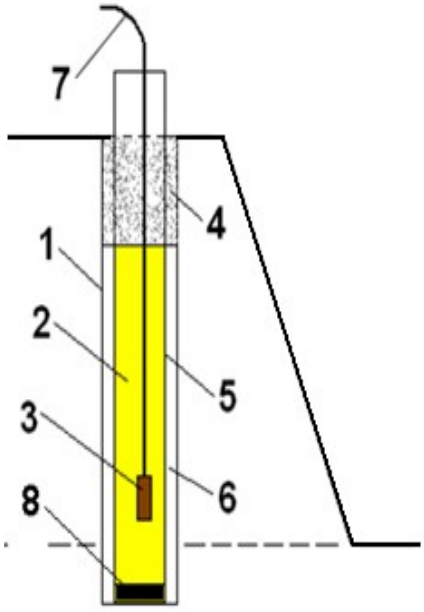


Рис. 3.5. Конструкція свердловинного заряду з інертним зазором між ВР і стінками свердловин (породою): 1 – свердловина; 2 – ВР; 3 – проміжний детонатор; 4 – набивка; 5 – рукав (поліетиленова оболонка); 6 – інертний зазор; 7 – ДШ; 8 – обважнювач

При заряджанні використовують поліетиленові рукави діаметром 0,7 – 0,9 діаметра свердловини.

Фактор переподрібнення порід особливе значення має при розробці нерудних корисних копалин. Переподрібнена порода в цьому випадку відноситься до втрат корисної копалини.

Технологія ведення вибухових робіт з використання поліетиленових рукавів успішно використовується на протязі багатьох років, забезпечуючи ефективне подрібнення порід і економію вибухових речовин, безпеку ведення цих робіт. Зокрема, це стосується випадків підривання порід при наявності сульфідів і агресивних вод.

3.2.5. Комбіновані свердловинні заряди вибухових речовин

Використання свердловинних зарядів з одного типу ВР не завжди приводить до бажаних результатів.

Враховуючи особливості розробки корисних копалин, а також зміну фізико-механічних властивостей гірських порід по висоті уступу, рівень обводнення тощо, доцільно використовувати ВР з різною питомою енергією. Зокрема, в суцільному комбінованому заряді, що складається з різних типів ВР у верхній частині свердловини, як правило, розміщують ВР з малою, а в нижній, де має місце максимальний опір вибуху, з високою питомою енергією. Саме тому на кар'єрах застосовують конструкції зарядів ВР, в яких енергетичні та силові параметри змінюються шляхом використання різних типів ВР.

При цьому в суцільному комбінованому заряді, що складається з різних типів ВР, у верхній частині свердловини, як правило, розміщують ВР з малою, а в нижній, де має місце максимальний опір вибуху, з високою питомою енергією (рис. 3.6).

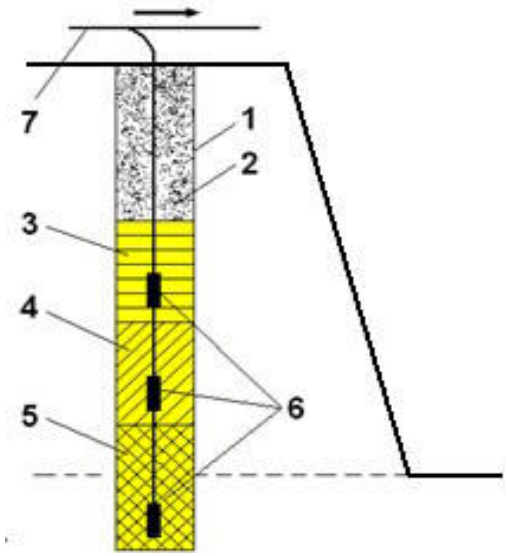


Рис. 3.6. Конструкція комбінованого свердловинного заряду з різних типів ВР: 1 – свердловина; 2 – набивка; 3 – ігданіт; 4 – грамоніт 79/21; 5 – гранулотол; 6 – проміжні детонатори; 7 – ДШ

3.2.6. Свердловинний заряд з котловими розширеннями

Нині метод котлових зарядів ВР застосовується рідко – в дрібно-тріщинуватих породах і при їх високому коефіцієнті прострілюваності.

Розширення можуть бути створені механічним розширювачем, вибуховим способом або верстатами вогневого буріння.

Котлоутворення пристрілюванням (рис. 3.7) ефективне в пластичних м'яких породах середньої міцності. Вибуховим способом котлове розширення заданого об'єму отримують одним або декількома пристрілюваннями.

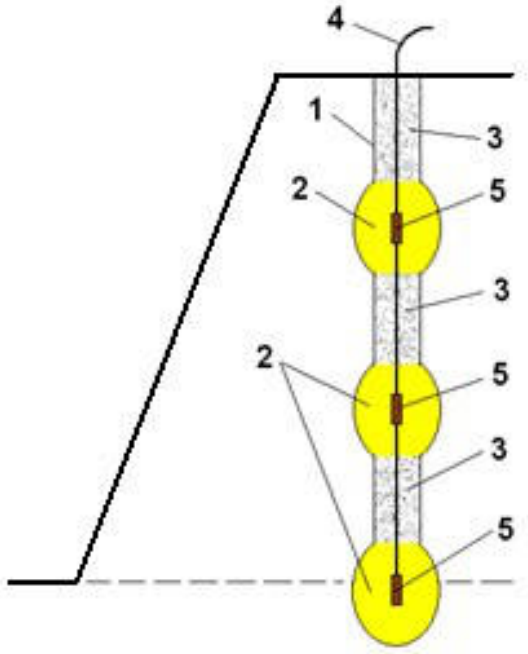


Рис. 3.7**.** Свердловинний заряд з котловими розширеннями, створеними верстатами вогневого буріння: 1 – свердловина; 2 – котлові заряди ВР; 3 – ВР; 4 – ДШ; 5 – проміжний детонатор

Маса першого пострілювального заряду мусить бути в межах 10 - 15 кг.

Перевагою методу котлових зарядів є різке зниження витрат буріння на 1м^3 породи.

Утворення котлів термічним пальником найбільш ефективне в монолітних дуже міцних породах.

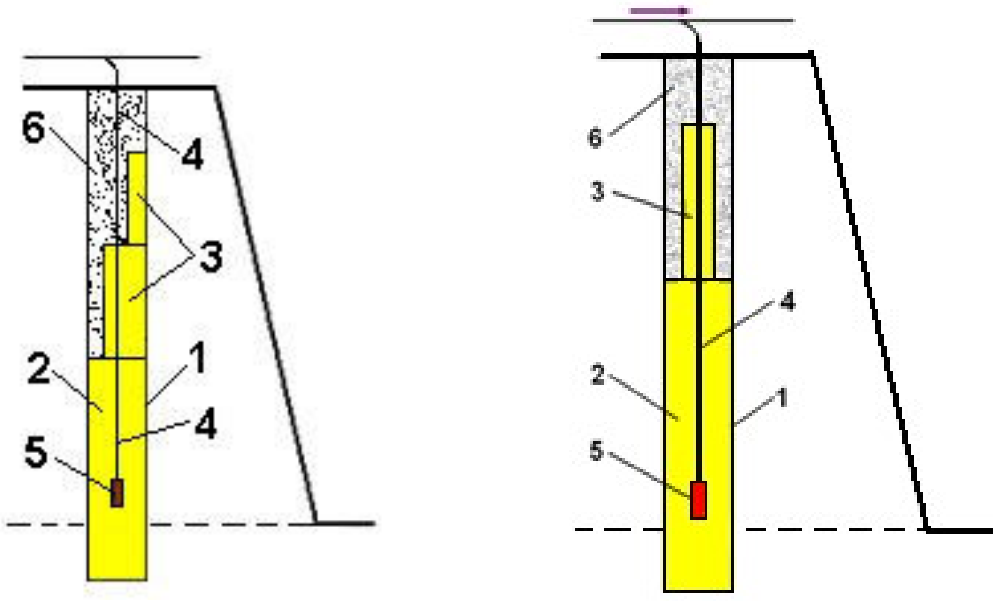
Після впровадження котлових розширень до 350 – 450 мм в умовах Південного ГЗК в 2 – 3 рази збільшився вихід гірничої маси з 1 м свердловини, зменшилися витрати на буропідривні роботи.

3.2.7. Заряди вибухових речовин із зазором в верхній частині свердловини

Верхня частина уступу в більшості випадків, особливо при руйнуванні порід із складною структурною будовою, руйнується недостатньо інтенсивно і є однією із зон виходу негабаритних кусків у підірваній гірничий масі.

Одним із шляхів вирішення проблеми підвищення якості подрібнення гірничої маси, що руйнується, є рівномірний розподіл ВР по висоті уступу. На практиці це досягається, зокрема, за рахунок формування зарядів із зазором в верхній частині свердловини при незмінному її діаметрі.

Для досягнення необхідної енергонасиченості масиву по висоті уступу і забезпечення інтенсивного подрібнення гірських порід були розроблені конструкції свердловинного заряду ступінчастої форми з асиметричним щодо осі свердловини і радіальним розташуванням верхніх зарядів ВР (рис. 3.8, а, б).



а) б)

Рис. 3.8. Схема заряду: а) ступінчастого заряду ВР з асиметричним розташуванням; б) ВР із зазором у верхній частині свердловини; 1 – свердловина; 2,3 – заряди ВР; 4 – ДШ; 5 – детонатор; 6 – набійка

Ефективність різноградієнтного навантаження гірського масиву по висоті уступу при використанні ступінчастих зарядів з асиметричним розташуванням

верхніх ступенів була підтверджена при проведені промислових вибухів на кар'єрах Центрального і Північного ГЗК Кривбасу. При цьому відмічено зниження питомої витрати ВР.

Промислові випробування ефективності свердловинних зарядів з радіальним зазором були проведені при підриванні залізистих кварцитів в умовах Північного ГЗК. При цьому використовували грамоніт 79/21. Діаметр свердловини дорівнював 250 мм, а діаметр верхньої частини свердловинного заряду довжиною 4,5 – 5,1 м становив 200 мм.

При зменшені витрат ВР в експериментальних свердловинах на 15 – 18 % інтенсивність подрібнення порід не змінилась.

Перевірка ефективності відбійки обводнених порід зарядами із зазором у верхній частині свердловини була здійснена і на нерудних кар'єрах, зокрема на Гайворонському гранітному кар'єрі.

Заряд нижньої частини був діаметром 250 мм, а верхньої – діаметром 200 мм. В результаті вихід фракції 0 – 5 мм на експериментальній ділянці зменшився більше ніж у двічі. Аналогічні вибухи були здійснені в умовах Крюківського гранітного кар'єру в породах міцністю f = 11-12. При цьому вихід дрібних фракцій (0 – 200 мм) скоротився на 4 – 5 %.

3.2.8. Свердловинні заряди вибухових речовин змінного діаметра по висоті уступу

Корисна дія вибухових навантажень гірських порід, що руйнуються, в значній мірі залежить від умов передачі гірським породам енергії, котра виділяється під час вибуху ВР.

На практиці умови передачі енергії вибуху гірській породі визначаються особливостями конструкції свердловинних зарядів, які є основним елементом, що визначає ефективність використання енергії вибуху по висоті уступу при руйнуванні гірських порід.

Одним із перспективних напрямків у вирішенні проблеми зміни площі безпосереднього контакту свердловинного заряду ВР з гірською породою стало

застосування зарядів змінного діаметра по висоті уступу (довжині заряду ВР). Реалізація такої ідеї була здійснена завдяки використанню поліетиленового рукава спеціальної конструкції – змінного діаметра по його довжині (рис. 3.9).

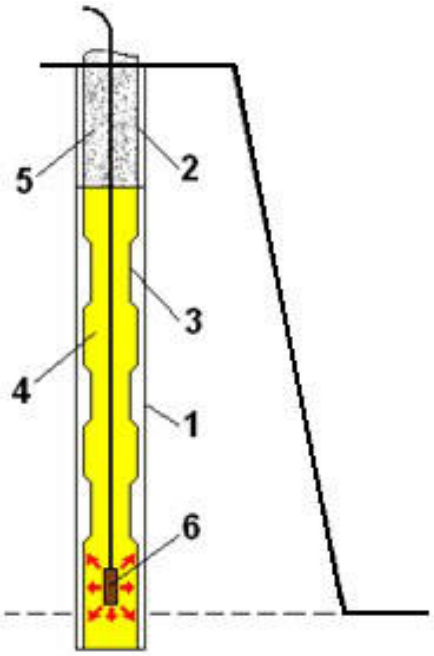


Рис. 3.9. Свердловинний заряд змінного діаметра по висоті уступу: 1 – свердловина; 2 – поліетиленовий рукав; 3 – звужена ділянка рукава; 4 – заряд ВР; 5 – набійка; 6 – проміжний детонатор

Слід зазначити, що при формуванні зарядів ВР змінного перерізу за допомогою поліетиленових рукавів максимальний діаметр рукава повинен відповідати діаметру свердловини, а мінімальний – перевищувати критичний діаметр застосовуваної ВР.

Вперше апробація ефективності використання даної технології заряджання свердловинних зарядів ВР була здійснена в умовах Полтавського ГЗК.

Зменшення площі контакту ВР зі стінками свердловини дуже важливе при руйнуванні нерудних корисних копалин, що пов'язано із виходом дрібних фракцій (втратою корисних копалин).

Саме застосування такої конструкції свердловинного заряду стало передумовою для використання даної технології на гранітних і флюсових кар'єрах.

3.3. Конструкції набійки свердловинних зарядів ВР

Для створення замкнутості продуктів детонації ВР в верхній частині свердловини, що не заповнена ВР, розміщують інертний матеріал (буровий шлам, пісок, глина) – рис. 3.11.а. Його називають забивкою.

Призначення забійки:

1) запобігання витоку продуктів детонації і енергії вибуху через гирло свердловини в процесі вибуху;

2) забезпечення повноти детонації і максимальне використання енергії ВР;

3) збільшення часу напруженого стану гірської породи під впливом вибуху;

4) зменшення кількості шкідливих газів в продуктах вибуху.

Мінімальна величина (довжина) набійки під час вибухів на кар'єрах повинна бути не меншою за 0,75 W (л.н.с.), або 25 – 30 діаметрів заряду.

Для підвищення запірної дії забійки і зменшення висоти і обсягів пилегазових викидів в атмосферу кар'єрів безпосередньо над гирлом свердловин розміщують невеликий об'єм подрібненої породи (рис. 3.10,б) або поліетиленовий пакет, заповнений водою (рис. 3.11, а).

У випадку, коли виникає необхідність збільшення довжини свердловинного заряду (велика міцність породи у верхній частині уступу), використовують варіант запірної забійки (рис. 3.11, б). При цьому створюється тиск від проміжних детонаторів, який подовжує час дії вибуху на масив і перешкоджає вильоту газів.

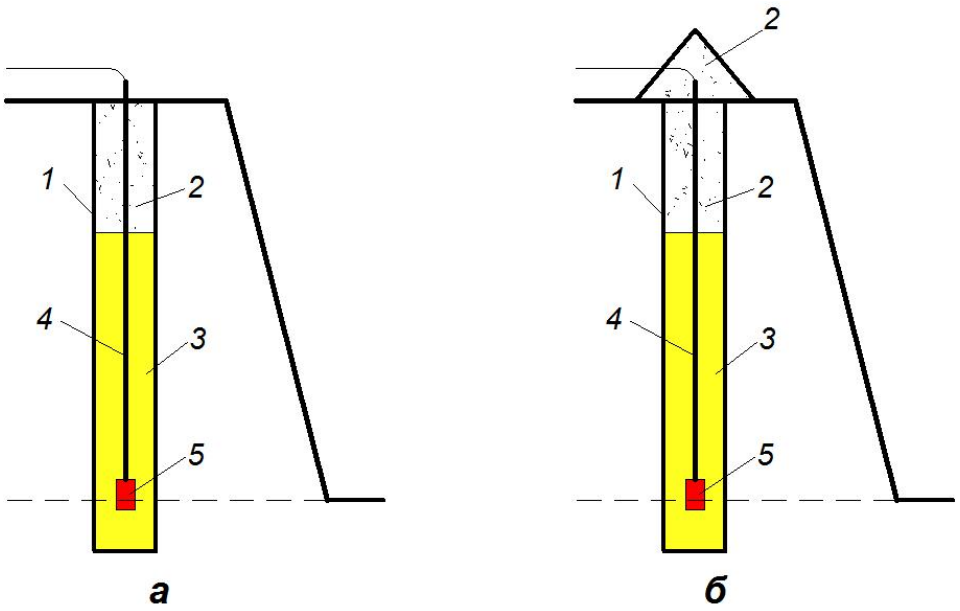


Рис. 3.10. Конструкція набійки свердловинного заряду: а) звичайна; б) з подрібненою породою; 1 – свердловина; 2 – забійка; 3 – ВР; 4 – ДШ; 5 – бойовик

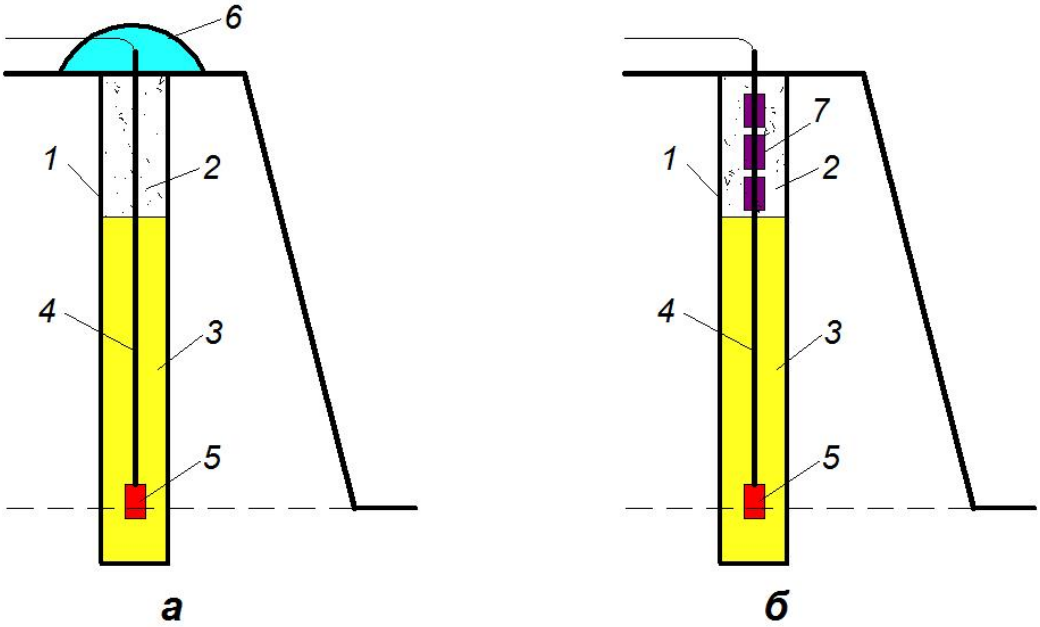


Рис. 3.11. Конструкція забійки свердловинного заряду: а) з пакетом з водою; б) із запірними зарядами ВР; 1 – свердловина; 2 – набійка; 3 – ВР; 4 – ДШ; 5 – бойовик; 6 – пакет з водою; 7 – тротилові шашки

3.4. Розрахунок параметрів свердловинних зарядів

Виходячи із заданої міцності, тріщинуватості і обводненності масиву порід, проводять вибір і обґрунтування типу вибухової речовини,

користуючись таблицею характеристики ВР і переліком допущених до виробництва вибухових матеріалів промислового призначення.

Знаючи тип ВР, можна розрахувати *питому витрату* вибухової речовини (характеризує опірність гірської породи до руйнування):

$$q = 0{,}47 \cdot (d_e + 0{,}2) \cdot \sqrt[4]{f} \cdot \frac{2{,}6}{\rho} \cdot \left(\frac{0{,}5}{d_н}\right)^{0{,}4} \cdot K_{ВВ}, \quad кг/м^3,$$

де: d_e – відстань між тріщинами в масиві, м (3 – 4 кат. порід до 0,1, і т.д.); f – коефіцієнт міцності породи за Протод'яконовим; p – щільність породи, т / м^3; $d_н$ – лінійний розмір негабаритного шматка, м; $K_{ВВ}$ – коефіцієнт працездатності ВР.

Таблиця 3.1.

Застосування ВР при різних властивостях гірських порід

Міцність породи за Протод'яконовим	Необводнені породи	Обводнені породи
До 10	ігданіт, гранулiт-НМ, проста вибухова суміш ПВС-1У	українiт-ПМ-2Б анемікс «ЕРА»-А; «ЕРА»-AL; «ЕРА»-АМ гранеміт І-30-У
10-14	ігданіт, гранулiт-НМ, українiт-ПМ-2Б, проста вибухова суміш ПВС-1У	українiт-ПМ-2Б, анемікс «ЕРА»-А; «ЕРА»-AL; «ЕРА»-АМ гранеміт І-30-У
14-20	українiт-ПМ-2Б, гранулiт-НМПМ	українiт-ПМ-2Б, анемікс «ЕРА»-А; «ЕРА»-AL; «ЕРА»-АМ гранеміт І-30-У

У подальших розрахунках слід застосовувати лише те значення питомої витрати ВР, яке відповідає розрахунковому.

Наступним за ступенем важливості параметром вибухових робіт є діаметр свердловини.

Для забезпечення заданої інтенсивності подрібнення гірничої маси і надійної розробки підошви уступу *діаметр свердловини* (мм) повинен дорівнювати значенню з урахуванням технологічних параметрів вибухової відбійки за формулою:

$$d_{скв} = 9 \cdot H_y + 35{,}5 \cdot K_p + 33{,}5 \cdot F - 195,\ мм,$$

де K_p – коефіцієнт розпушення підірваної породи; F – група породи за СНіП.

Отриманий діаметр свердловини округляється до ближнього стандартного.

За знайденим значенням діаметра заряду вибирають тип бурового верстата та бурового інструмента.

Масу одного погонного метра заряду свердловини визначають за виразом:

$$\gamma = \pi \cdot d_{св} \cdot \frac{\Delta}{4},\ кг/м,$$

де $d_{св}$ – діаметр свердловини, м; Δ – щільність заряджання, кг/м^3.

Величина лінії найменшого опору за підошвою (л.н.п.) визначається за формулою:

$$W = 0{,}9 \cdot \sqrt{\frac{P}{q}},\ м,$$

де P – місткість ВР в 1 м свердловини,

$$P = 7{,}85 \cdot d^2 \cdot \Delta,\ кг/м,$$

де d – діаметр свердловини, дм; Δ – щільність заряджання, кг/дм^3.

Отримане значення W слід перевірити за умовами безпечного розміщення бурового верстата на уступі при бурінні першого ряду свердловин:

$$W_б = H_y \cdot ctq\alpha + c,\ \ м,$$

де α – кут укосу уступу (75 - 80°); c – берма безпеки, $c = 2$ *м.*

Масу заряду в одній свердловині можна визначити за виразом:

$$Q = q \cdot a \cdot W \cdot H,\ кг.$$

Довжина заряду в одній свердловині:

$$l_з = \frac{Q}{\gamma}, м.$$

Відстань між свердловинами в ряду:

$$a = m \cdot W, \quad м,$$

де m – коефіцієнт зближення зарядів.

Число рядів свердловин приймають відповідно до ширини робочого майданчика уступу. Для забезпечення високого ступеня дроблення число рядів має бути не менше чотирьох.

Відстань між рядами свердловин:

$$b = (0{,}75 \ldots 1{,}0) \cdot W, \quad м.$$

Менше значення відповідає породам міцним і дуже міцним, а більше – породам середньої міцності і менше.

Знайдені параметри розташування свердловин на уступі дозволяють визначити:

- обсяги порід, що припадають на одну свердловину першого ряду:

$$V_{\text{скв.}}^{\text{I}} = a \cdot W \cdot H_{\text{у}}, \text{м}^3;$$

- обсяги порід, що припадають на одну свердловину першого і наступних рядів:

$$V_{\text{скв.}}^{\text{II}} = a \cdot b \cdot H_{\text{у}}, \ \text{м}^3.$$

Знайдені параметри розташування свердловин на уступі дозволяють визначити:

- об’єм гірських порід, що припадає на одну свердловину першого ряду:

$$V_{\text{св.}}^{\text{I}} = a \cdot W \cdot H_{\text{у}}, \text{м}^3;$$

- об’єм гірських порід, що припадає на одну свердловину другого і наступних рядів:

$$V_{\text{св.}}^{\text{II}} = a \cdot b \cdot H_{\text{у}}, \text{м}^3.$$

Вагові характеристики заряду встановлюють за умовою пропорційності маси заряду до об’єму, що відбивається:

- для зарядів першого ряду:

$$Q^{I} = V_{\text{св}}^{\text{I}} \cdot q, \text{кг};$$

- для другого і наступних рядів:

$$Q^{II} = V_{\text{св}}^{\text{II}} \cdot q, \text{кг}.$$

Отримані значення Q^{I} і Q^{II} не повинні перевищувати значення граничної місткості свердловини:

$$Q = l_{зар} \cdot P, \text{ кг}.$$

В іншому випадку слід або перейти до більшого діаметра, або застосувати парнозближені свердловини.

Лінійні розміри елементів заряду визначаються за формулами:

– довжина перебуру:

$$l_{\text{пер}} = (0{,}1 \ldots 0{,}3) \cdot W, \text{м};$$

– довжина свердловини:

$$L_{\text{скв}} = H_{\text{у}} + l_{\text{пер}}, \text{м};$$

– довжина заряду:

фактична

$$l_{зар}^{I} = Q^{I} / P, \text{м};$$
$$l_{зар}^{II} = Q^{II} / P, \text{м};$$

– довжина забійки:

фактична

$$l_{\text{заб}}^{\text{I}} = L_{скв} - l_{зар}^{I}, \text{м};$$
$$l_{\text{заб}}^{\text{II}} = L_{скв} - l_{зар}^{II}, \text{м};$$

(для найбільш якісного подрібнення породи і зменшення розльоту шматків довжина забійки повинна знаходиться в межах розрахунку параметрів свердловинного заряду ВР).

3.5. Схеми підривання свердловинних зарядів

Підривання гірських порід на кар'єрах проводять окремими вибуховими блоками, розміри яких залежать від забезпеченості підірваної гірничої маси виймально-навантажувальними машинами (екскаваторами), зайнятими на її відвантаженні. Крім того, розміри вибухових блоків пов'язані з розташуванням свердловин, числом підривних рядів, відстанями між свердловинами в ряду і між рядами свердловин.

Свердловини в межах блоку розташовують паралельно верхній бровці уступу в один або кілька рядів на розрахунковій відстані між кожною (рис. 3.12).

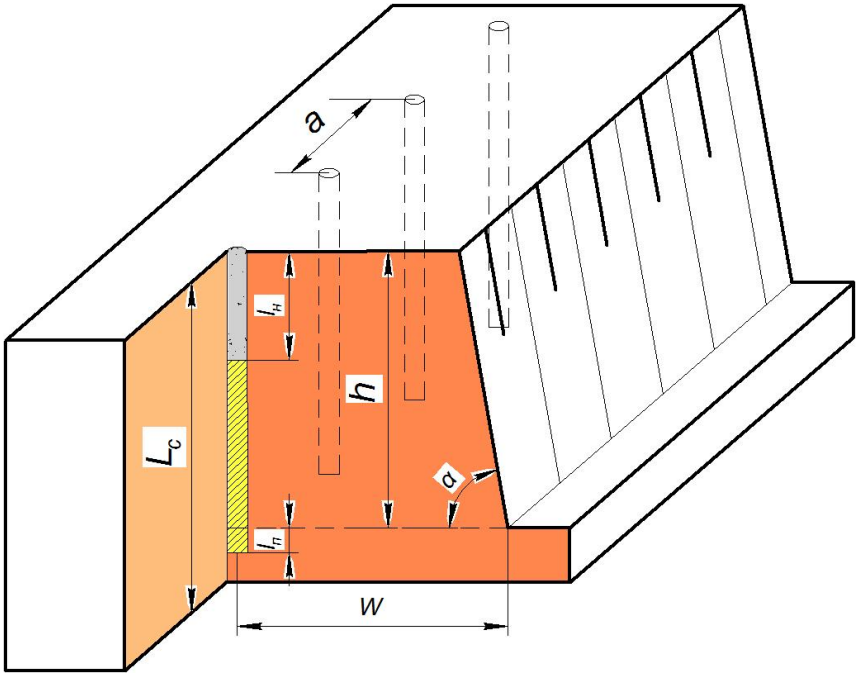


Рис. 3.12. Однорядна схема розташування свердловин на уступі.

Відстань від першого ряду свердловини до верхньої бровки уступу має гарантувати безпечне розміщення бурового верстата поблизу можливої призми обвалення. Відстань між свердловинами вибирають з таким розрахунком, щоб зони руйнування в масиві від кожної свердловини перекривали одна одну, не утворюючи порогів біля підніжжя уступу.

Вибір одно- або багаторядного розташування свердловин на кар’єрах залежить від технологічних обмежень – ширини робочих майданчиків,

потрібної якості подрібнення і опрацювання підошви уступу, необхідністю роздільної розробки гірських порід.

Як правило, однорядне розташування вибухових свердловин (рис. 3.12) обумовлене або необхідністю роздільного підривання, або відсутністю достатнього випередження між суміжними уступами.

Зазвичай число рядів свердловин в буровій заходці становить від 2 до 5. Збільшення числа рядів до 6 і більше неминуче веде тільки до збільшення ширини робочих майданчиків та практично не впливає на підвищення якості подрібнення гірських порід.

При багаторядному розташуванні свердловин їх сітка може бути прямокутною (квадратної) (рис. 3.13, а) або шаховою (рис. 3.13, б).

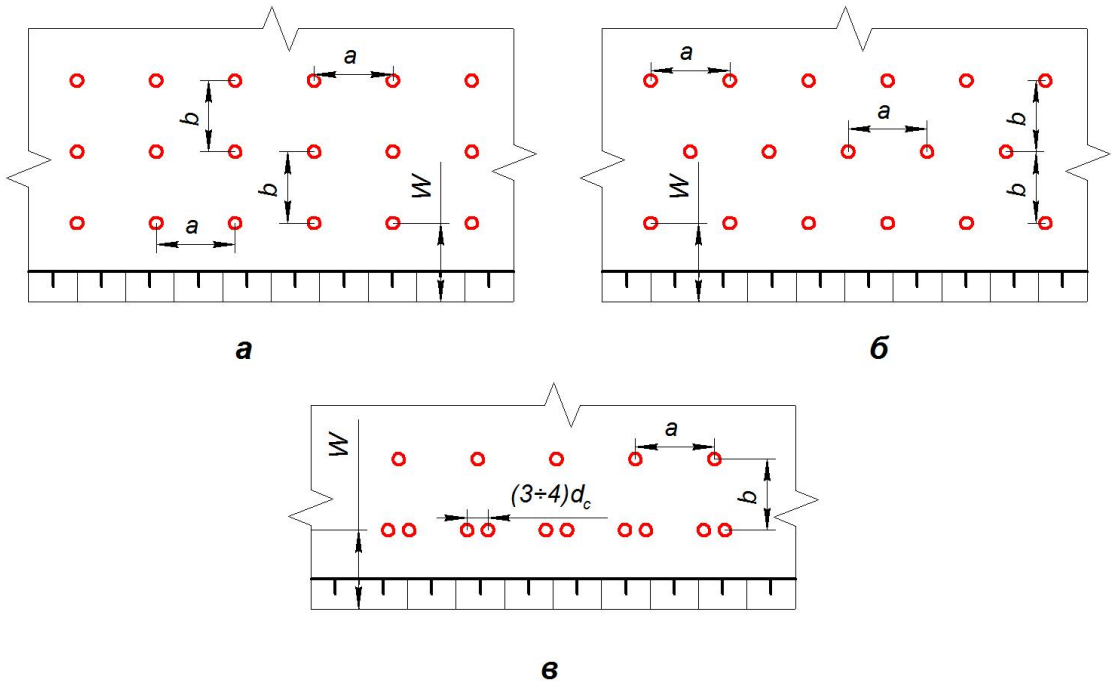


Рис. 3.13. Схеми розташування свердловин на уступі: а) і б) – багаторядна по квадратній і «шаховій» сітці; в) з парнозближеними свердловинами в першому ряду

Прямокутна (квадратна) сітка свердловин дозволяє зменшити витрати часу на переїзд бурового верстата від свердловини до свердловини. Шахове розташування свердловин забезпечує більш рівномірне насичення масиву порід

полями напружень під час вибуху. Тому шахова сітка свердловин переважно застосовується в тяжкопідривних породах.

В окремих випадках, коли розрахунковий заряд не вміщається в свердловину першого ряду, доводиться зменшувати відстань між свердловинами або бурити парнозближені свердловини (рис. 3.13, в). У групі з двох свердловин відстань між ними складає 3 – 4 діаметри, а відстань між групами спарених свердловин може бути збільшено в 1,4 рази.

Певній послідовності підривання зарядів досягають застосуванням відповідних схем комутації. Схеми з'єднання зарядів монтують з ДШ, електропроводів з електродетонаторами, неелектричних систем підривання на основі УВТ.

Уповільнення між групами зарядів здійснюють за допомогою піротехнічних реле при безкапсульному підриванні або за допомогою ЕДКЗ при електричному підриванні. В неелектричних системах ініціювання з УВТ відповідне уповільнення забезпечують спеціальними КД з уповільнюючим елементом. Для герметичного з'єднання КД і УВТ використовують гумову втулку, вільний кінець УВТ герметизують спеціальною мастикою. Для монтажу поверхневих вибухових мереж служать фіксатори і з'єднувачі. Будь-які вузлові з'єднання не забезпечують високої надійності передачі ініціюючого імпульсу від ДШ до УВТ. ДШ повинен з'єднуватися з УВТ тільки в місці ініціювання.

Для розрахунку величини інтервалу уповільнення в мережах ДШ запропоновані різні формули. Найбільш простою з них є наступна залежність:

$$t = 1{,}25 \cdot K_{зам} \cdot W, \text{ мс},$$

де $K_{зам}$ – коефіцієнт, що залежить від вибуховості порід (у легкопідривних породах $K_{зам}$= 5 – 6, в породах середньої проблеми підривання – 3 – 4, в породах, що важко підриваються – 1,5 – 2,5); W – лінія найменшого опору за підошвою, м.

Схеми к.у.п. класифікують за їх орієнтацією щодо укосу уступу, напрямку переміщення та конфігурації фронту відбійки (рис. 3.14).

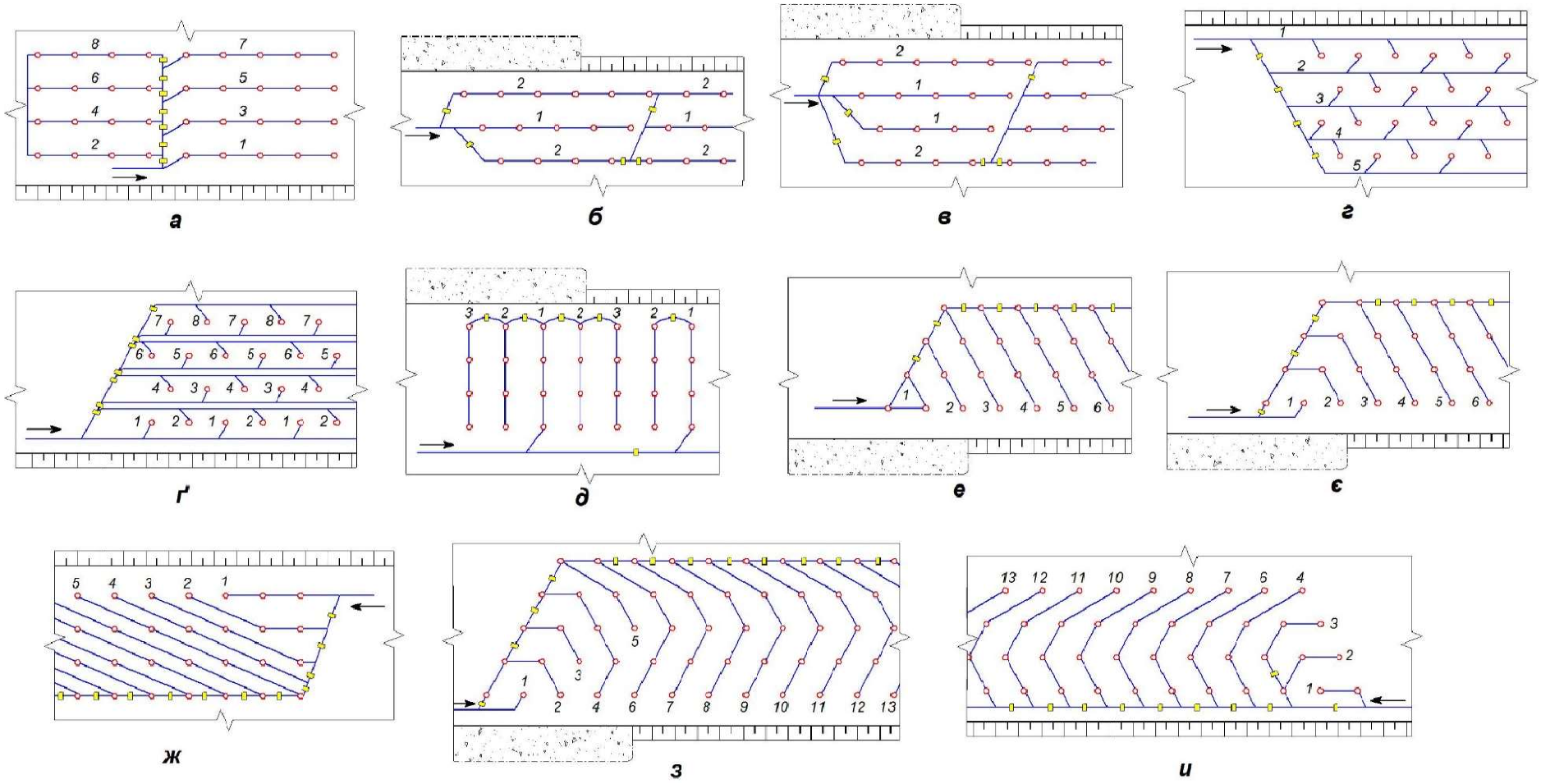


Рис. 3.14. Схеми комутації к.у.п. (цифрами показана черговість підривання зарядів): а – двостороння рядами; б – секційна з однорядним врубом; в – секційна з дворядним врубом; г – через свердловину поздовжніми рядами; ґ – через свердловину поздовжніми рядами з відокремленими магістралями; д – поперечними рядами з однорядним врубом; е – діагональна з клиновим врубом; є – діагональна з трапецієподібним врубом; ж – діагональними рядами і послідовним врубом; з – хвильова екрануюча; и – хвильова розгорнута.

Ефективність кожної схеми і умови застосування залежать від числа підривних рядів свердловин, вимог до параметрів розвалу, структури і вибуховості масиву та інших обмежень (табл. 3.2). Істотний вплив виконує і величина уповільнення між групами зарядів.

Для монтажу схеми комутації з детонуючого шнура спочатку прокладають магістральні лінії ДШ. З ними в певному порядку зістиковують відрізки ДШ, виконуючи правила з'єднання.

Для встановлення піротехнічних реле шнур розрізають і вводять в отвори монтажного пристрою.

Електропідривні мережі влаштовують зі спеціальних проводів.

За рекомендаціями при вибухових роботах по вугіллю доцільно застосовувати такі схеми комутації: хвильові розгорнуті, поперечними рядами, діагональні, двосторонні рядами. Для вибухів на розпушування розкривних уступів рекомендовані хвильові розгорнуті, діагональні схеми монтажу підривної мережі і схеми висадження поперечними рядами. При вибухах на скидання - поздовжніми рядами.

На рудних кар'єрах в легковибухових породах рекомендується застосування наступних схем комутації: поздовжніми і поперечними рядами, врубовими рядами та через свердловину. У породах середньої складності підривання – врубовими рядами, діагональні і діагонально-хвильові схеми. У складнопідривних породах – діагонально-хвильові, хвильові і радіальні. У складних забоях ефективні комбіновані схеми.

На кар'єрах нерудних будівельних матеріалів при виборі схеми з'єднання зарядів з досвіду пропонується дотримуватися основної умови успішного проведення підривних робіт – відбою в хрест нашарування породи і панівної системи тріщин. Слід також враховувати необхідний ступінь подрібнення, блочність породи, висоту уступу і тип навантажувально-транспортного устаткування.

Таблиця 3.2.

Умови застосування схем комутації свердловинних зарядів на вибухових блоках (за М.Ф. Друкованим та І.М. Усиком)

Число рядів	Гірські породи		
	Легкопідривні	Середньопідривні	Важкопідривні
Зменшення ширини розвалу			
2	Рядами через свердловину повздовжніми рядами	Рядами через свердловину поздовжніми рядами	Діагональна з трапецієподібним врубом
3	Врубова секційна з однорядним врубом	Врубова секційна з однорядним врубом	Хвильова екрануюча
4	Врубова секційна з дворядним врубом	Поперечними рядами з однорядним врубом	Діагональна з клиновим врубом
5	те саме		
Обмеження за сейсмічним впливом			
2	Рядами через свердловину повздовжніми рядами	Рядами через свердловину поздовжніми рядами	Діагональна з трапецієподібним врубом
3	те саме		Хвильова розгорнута
4	Рядами двостороння	Діагональними рядами та послідовним врубом	Діагональна з клиновим врубом
5	те саме		
Складна структура гірських порід в масиві			
2	Рядами через свердловину повздовжніми рядами з відокремленими магістралями	Рядами через свердловину поздовжніми рядами з відокремленими магістралями	Діагональна з трапецієподібним врубом
3	Хвильова екрануюча	Хвильова екрануюча	Хвильова екрануюча
4	Хвильова екрануюча	Диагональними рядами и последовательным врубом	Діагональня з клиновим врубом
5	те саме		
Компактність розвалу, обмеження сейсмічного впливу			
2	Рядами через свердловину повздовжніми рядами	Рядами через свердловину повздовжніми рядами	Діагональна з трапецієподібним врубом
3	те саме	Хвильова екрануюча	Хвильова розгорнута
4	те саме	Порядна через свердловину повздовжніми рядами	те саме
5	те саме	Хвильова розвернута	Діагональна з клиновим врубом

Продовження табл. 3.2

Наявність ділянок гірських порід з різними властивостями			
2	Рядами через свердловину повздовжніми рядами з відокремленими магістралями	Рядами через свердловину повздовжніми рядами з відокремленими магістралями	Діагональна з трапецієподібним врубом
3	те саме	Хвильова розгорнута	Хвильова розгорнута
4	Хвильова екрануюча	те саме	
5	Діагональними рядами та послідовним врубом	Діагональними рядами та послідовним врубом	Діагональна з трапецієподібним врубом

При цьому необхідно орієнтуватися на рядні, рядно-врубові, діагонально-хвильові і радіальні схеми. Електровибухові мережі влаштовують з одножильних, мідних, біметалевих або сталевих дротів з відповідною ізоляцією і площею перерізу жили 0,2 – 0,5 мм^2. ЕДКЗ з'єднують в послідовну (при малому числі зарядів), паралельно-послідовну або послідовно-паралельну схеми.

Подачу електроструму в мережу здійснюють від вибухових машинок, електросилових або електроосвітлювальних ліній через спеціальні мінні станції, обладнані вольтметром зі шкалою, що відповідає напрузі джерела струму, щитом з рубильником і запобіжними пристроями. Вибухову мережу монтують в напрямку від вибою до місця знаходження джерела струму. Магістральні проводи повинні бути замкнені накоротко до моменту приєднання до джерела струму або мережі.

Недоліками електропідривання, що обмежують його застосування є складність виконання і необхідність розрахунку електропідривної мережі; велика небезпека при ліквідації відмов; чутливість до блукаючих струмів.

Дублювання поверхневої вибухової мережі пов'язане зі значними труднощами монтажу. Тому на кар'єрах часто монтують поверхневу вибухову мережу з ДШ і піротехнічних реле, що дозволяє її «закільцювати», а в свердловинах розміщують пристрої з відповідним уповільненням.

3.6. Характеристика розвалу підірваної гірничої маси

В результаті вибуху формується розвал підірваної гірничої маси, котра розташовується як у межах бурової заходки, так і за її межами.

Розміри і форми розвалу підірваної гірничої маси, а також коефіцієнт розпушення порід у розвалі залежать від параметрів і умов підривання: властивостей порід, висоти уступу, кількості рядів свердловин, що вибухають, відстані між свердловинами в ряду і між ними, проєктної питомої витрати ВР, кута нахилу свердловин і горизонту, схеми короткоуповільненого підривання, наявності та розмірів смуги неприбраної гірської маси біля укосу вибухового уступу.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що формування параметрів розвалу підірваної гірської маси з оцінкою зміщення окремих елементів вибухової частини уступів показало, що дальність масового переміщення породи залежить від початкової швидкості відриву породи від поверхні укосу уступу.

При цьому найбільшу початкову швидкість набуває ділянка масиву на укосі уступу, розташована на рівні, що відповідає середині колонки заряду ВР під підошвою уступу.

При технологічній оцінці якості підготовки до розробки підірваної гірничої маси використовують не тільки середній розмір шматка породи в розвалі, але і величину коефіцієнта розпушення. У ході проведених експериментів виявлено значні коливання щільності підірваних порід за висотою та шириною розвалу. При підриванні на підібраний вибій коефіцієнт розпушування (K_P) змінюється за шириною розвалу. Найбільший коефіцієнт розпушення спостерігається у відкинутій частині розвалу, зменшуючись у міру наближення від найбільш віддаленої точки розвалу до цілика. Для підривання на неприбрану гірничу масу характерна зміна величини K_p у напрямку від верхньої частини розвалу, де він має найбільше значення, до підошви уступу. Різні значення K_p за висотою і шириною розвалу є результатом закономірного зменшення швидкостей зміщення окремих частин масиву з віддаленням від оголених поверхонь.

Середню швидкість усунення частинок породи зі стінок вибухової свердловини (*м/с*) можна обчислити за формулою:

$$V_c = 4370 - 1050 \cdot l_{ср},$$

де $l_{ср}$ – середній розмір структурного блока в масиві, м.

Дані про максимальну дальність вибухового переміщення гірської породи (ΔB_o, м) при короткоуповільненому підриванні наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Максимальна дальність переміщення породи при схемі підривання рядами

Висота відколеної зони, м	Початкова швидкість польоту шматків породи, *м/с*						
	10	15	20	25	30	35	40
Вертикальні свердловини							
2	6	9	13	16	19	22	25
4	9	13	18	22	27	31	36
6	11	16	22	27	33	38	44
8	13	19	25	32	38	44	51
10	14	21	28	35	42	49	57
12	16	23	31	39	46	54	62
14	17	25	33	42	50	59	67
16	18	27	36	45	54	63	72
18	19	28	38	47	57	66	75
20	20	30	40	50	60	70	80
Похилі свердловини, β = 75 град.							
2	9	16	26	38	52	68	87
4	12	20	30	43	57	74	93
6	14	23	34	47	62	79	99
8	16	25	37	50	66	84	104
10	17	27	39	54	70	88	108
12	18	29	42	57	73	93	113
14	19	31	44	60	77	96	117
16	20	33	47	62	80	99	121
18	21	34	49	65	83	103	124
20	22	36	51	67	86	106	128
Похилі свердловини, β = 60 град.							
2	12	23	38	58	82	по	142
4	14	26	41	61	85	113	146
6	15	28	44	64	88	117	149
8	17	30	46	67	91	120	153
10	18	32	49	70	94	123	156
12	19	33	51	72	97	126	159
14	20	35	53	74	100	129	162
16	22	37	55	77	102	132	165
18	23	38	57	79	105	134	168
20	24	39	59	81	107	137	171

Для інших схем з'єднання зарядів дальність вибухового переміщення породи (*м*) розраховують за такою формулою:

$$\Delta B_{\psi} = \Delta B_{o} \cdot (0{,}73 + 0{,}27 \cdot \cos 2\psi),$$

де ψ – кут, утворений лінією укосу уступу і лінією розташування зарядів, що одночасно вибухають, град.

Для рядної схеми підривання поздовжніми рядами $\psi = 0^{\circ}$, для схеми з поперечними рядами $\psi = 90^{\circ}$; для діагональних та хвильової розвернутої схеми $0^{\circ} < \psi \leq 90^{\circ}$; для хвильової екрануючої $90^{\circ} < \psi \leq 180^{\circ}$; для рядно-врубової та порядних через свердловину $\psi = 180^{\circ}$.

Загальна ширина розвалу підірваної гірничої маси з урахуванням ширини бурової заходки складе, *м*:

$$B_{p} = A_{б} + \Delta B_{\psi} - h_{o} \cdot ctg\alpha,$$

де $A_{б}$ – ширина бурової західки, м.

$$A_{б} = W + b \cdot (n_{p} - 1).$$

При багаторядному короткосповільненому підриванні ширину розвалу можна також визначити за формулою:

$$B_{м} = K_{з} B_{o} + (n_{p} - 1) b \text{ , } м$$

де $K_{з}$ – коефіцієнт дальності відкидання підірваної породи, що залежить від інтервалу уповільнення, $K_{з}$=0,9; B_{o} – ширина розвалу при одночасному підриванні свердловин, *м*.

$$B_{o} = K_{\acute{A}} K_{\beta} \sqrt{q_{i}} \cdot H_{\acute{o}}, \text{ м},$$

де K_{B} – коефіцієнт, що характеризує підриваємість гірської породи, K_{B}=3; K_{β} – коефіцієнт, що враховує кут нахилу β свердловини до горизонту, K_{β}=1.

Загальна кількість екскаваторних західок, за яку відпрацьовують розвал, становитиме:

$$t = B_{p} / A_{э}.$$

Отримане розрахунком значення *t* округляють до найближчого цілого великого числа.

Для побудови профілю розвалу (рис. 3.15) можна скористатися характерними точками. Зазвичай у межах розвалу виділяють 4 – 5 точок. Першу розташовують на контакті з невибуховою частиною масиву (висота розвалу в ній дорівнює *h1*), друга точка знаходиться на відстані *C* від першої (*C = 1,15·q1·Аб*), третя – поблизу зовнішнього контуру бурової західки, п'ята – у найвіддаленішій точці розвалу, а четверта – посередині між третьою та п'ятою. За підошвою уступу знаходять відстань x_i для кожної точки (рис. 3.15) і обчислюють відношення $m = x / B$.

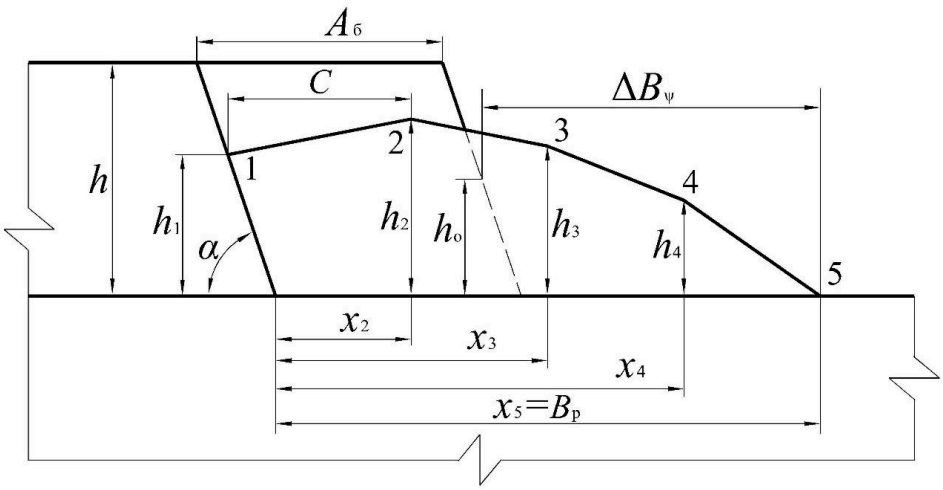


Рис. 3.15. Схема до побудови розвалу гірських порід за 5 характерними точками

Відношення ширини бурової заходки до ширини розвалу:

$$n = A_б / B_р .$$

Висота розвалу в першій точці, *м*:

$$h_1 = 0{,}5 \cdot n \cdot h \cdot \left(3 - n^2\right) \cdot \left[\left(1 - n\right)^t + 1\right]$$

Висота розвалу в кожній із наступних точок, *м*:

$$h_i = h \cdot \left(1 - m_i\right)^{(1-n)\,t}$$

Середній коефіцієнт розпушення в профілі розвалу можна розрахувати за формулою:

$$K_{\text{р}} = 0{,}5 \cdot \left(3 - n^2\right).$$

При підриванні на неприбрану гірську масу (на неприбраний забій) загальна ширина розвалу (*м*) може бути знайдена з виразу:

$$B_{рп} = A_б + \Delta B_{п.о},$$

де $\Delta B_{п.о}$ – ширина смуги вибухового переміщення породи, м.

Величина $\Delta B_{п.о}$ залежить від ширини смуги неприбраної гірничої маси $P_{пс}$ *(м),* що грає роль своєрідної підпірної стінки.

Ширину підпірної стінки (*м*), що забезпечує найкраще подрібнення порід, можна визначити за формулою:

$$P_{п.с} = K_р \cdot W \cdot \left(\frac{2 \cdot K_{нв} \cdot q_п \cdot E_о \cdot E}{\sigma_{сж}} - 1 \right);$$

де $K_р$ = 1,05 – 1,1 – коефіцієнт розпушення породи в підпірній стінці; W – лінія найменшого опору, м; $K_{нв}$ – коефіцієнт, що враховує використання енергії вибуху на дроблення та переміщення гірничої маси; $q_п$ – проєктна питома витрата *ВР*, кг/м^3; $E_о$ – питома енергія ВР, кгс.м/м^2; E – модуль пружності породи, кгс/м^2; $\sigma_{сж}$ – межа міцності породи на одновісне стискання, кгс/м^2.

Величина коефіцієнта $K_{нв}$ залежить від коефіцієнта міцності порід f за шкалою М.М. Протодьяконова.

При f = 6 – 10, $K_{нв}$ = 0,10 – 0,15; при f = 11 – 14, $K_{нв}$ = 0,15 – 0,20; при f = 15 – 18, $K_{нв}$ = 0,06 – 0,12.

Ширина підпірної стінки, що визначена за наведеною вище формулою для умов флюсових кар'єрів Донбасу, знаходиться в межах 10 – 12 м, а для залізорудних кар'єрів Кривбасу – 20 – 25 м.

Якщо $P_{п.с} < 0{,}4 \cdot \Delta B\psi$, то ширина смуги висадженої породи $\Delta B_{п.о}$ становитиме, (*м*):

$$\Delta B_{п.о} = \Delta B\psi - 1{,}6 \cdot P_{п.с}.$$

Якщо $P_{n.c} \geq 0,4 \cdot \Delta B \psi$, то $\Delta B_{n.o} = P_{n.c.}$.

Висота розвалу під час вибуху на неприбраний вибій становить:

$$h_p = h \cdot (1,15 \div 1,40).$$

При підриванні практично в затиснутому середовищі коефіцієнт розпушення порід у розвалі змінюється за висотою розвалу. У нижній частині розвалу біля підошви уступу породи після вибуху зв'язані та K_p = 1,03 – 1,10. У середній частині розвалу підірвані породи зв'язано-сипучі та K_p = 1,12 – 1,20. У верхній (спученій) частині розвалу породи сипучі та мають K_p=1,3 – 1,5.

Враховуючи зазначений характер зміни величини K_p за висотою розвалу, можна дійти висновку, що підривання на неприбрану гірничу масу доцільно в легко- і середньопідриваємих породах.

3.7. Методи руйнування негабаритів

У зв'язку з наявністю великого числа випадкових факторів при буропідривних роботах, облік яких неможливий при проєктуванні і проведенні масових вибухів в кар'єрах, неминучим є вихід негабаритних фракцій в розвалі гірничої маси.

Максимальний розмір шматків підірваної породи (*м*) в вибоях кар'єру визначається виходячи з місткості ківша виймальних-навантажувальних машин, кузова транспортних засобів, приймального отвора дробарки, ширини конвеєрної стрічки.

Максимальний розмір шматків гірської породи визначається за допомогою таких виразів:

- за місткістю ківша виймально-навантажувальної машини E ($м^3$):

$$d_к \leq 0,75 \cdot \sqrt[3]{E},$$

- за місткістю кузова транспортного засобу, V ($м^3$):

$$d_к \leq 0,5 \cdot \sqrt[3]{V},$$

- за розміром приймального отвору бункера або дробарки, *Вд* (м):

$$d_к \le (0{,}75 \div 0{,}85) \cdot B_д ,$$

- при навантаженні на конвеєр – за шириною стрічки конвеєра, *Вк* (м):

$$d_к \le (0{,}5 \cdot B_к + 0{,}1) .$$

Гранично допустимим вважають найменше з розрахункових значень $d_к$. Всі шматки більшого розміру вважаються негабаритним і підлягають руйнуванню. Сумарний вміст негабаритних шматків в гірничій масі, виражений у відсотках, дає вихід негабариту. Його обчислюють за результатами експериментів або масових вибухів.

Можна скористатися також наведеною нижче залежністю, задаючись величиною $d_{ср}$, або розрахувати очікуваний середній розмір шматка підірваної породи при відомому виході негабариту:

$$\frac{d_{ср}}{d_н} \approx \frac{0.25}{1-(P_н / P_i)^3} ,$$

де $d_{ср}$ – середній оптимальний розмір шматка підірваної породи, см; $d_н$ – допустимий розмір негабаритного шматка, см; $P_н$ – фактичний вихід негабариту,%; P_i – вміст в масиві природних шматків розміром більше $d_н$, %.

Для проєктних і навчальних розрахунків виходу негабариту при вибухових роботах в кар'єрі можна керуватися даними, що наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Вихід негабариту при відбійці вертикальними свердловинними зарядами (за даними інституту «Гіпроруда»)

Середній лінійний розмір кондиційного шматка, мм	Категорія порід за тріщинуватістю				
	1	2	3	4	5
500	1	3,5	11	17	26
750	0,5	3	10	16	25
1000	-	1	4	13	18
1200	-	0,5	2	6	9
1500	-	-	-	2	4

За видом використовуваної енергії розрізняють: механічні, термічні, вибухові і комбіновані способи руйнування негабариту.

При виборі способу руйнування негабариту необхідно зважати на такі принципи: надійність, безпека, технологічність, економічність. Остаточний вибір роблять на основі техніко-економічного порівняння.

Для формування конкурентоспроможних варіантів вторинного подрібнення необхідно орієнтуватися, в першу чергу, на механічні способи. У породах I категорії за тріщинуватістю ефективне використання вантажу, що подається, II і III категорії – пневмо- або гідромолотів.

Фірма «Caterpillar» випускає 9 моделей гідромолотів з енергією одиничного удару в інтервалах 1017 – 10 168 Дж і частотою ударів 320 – 1 850 за хв.

Компанія «INDEKO» має в асортименті 10 моделей із силою окремого удару в інтервалах 2 500 – 16 000 Дж з частотою ударів 325 – 1 000 за хв. «Komatsu» – дві моделі із силою окремого удару 7 300 Дж з частотою ударів 370 – 470 за хв.

Заслуговує на увагу також використання гідроклинових установок. У цьому випадку застосовують ту саму технологію, що і для відділення блоків облицювального каменю. У разі створення мобільних установок вельми перспективним є метод руйнування імпульсними водяними струменями, динамічний тиск яких досягає 1,5 – 3,8 ГПа.

Основним недоліком термічних і електротермічних способів є висока питома енергоємність руйнування – до $20 \cdot 106$ Дж/м^3.

Але, незважаючи на альтернативні способи руйнування негабариту в кар'єрах, завдяки своїй універсальності, вибухові способи руйнування негабариту використовуються на відкритих гірничих роботах.

Приклад вибухового руйнування негабаритних шматків гірської породи наведено на рис. 3.16.

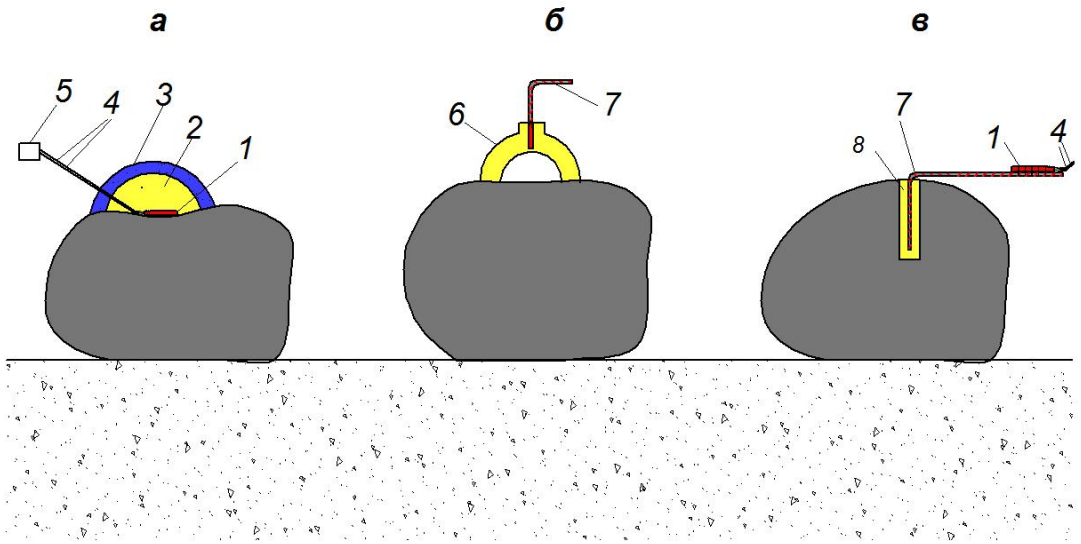


Рис. 3.16. Типи зарядів при руйнуванні негабариту: *а* – накладний; *б* – кумулятивний; *в* – шпуровий з гідронабійкою; 1 – електродетонатор; 2 – заряд ВВ; 3 – забійка; 4 – дроти вибухової мережі; 5 – джерело струму; 6 – кумулятивний заряд; 7 – *ДШ*; 8 – вода.

Заряд ВР розташовують на поверхні породного шматка або в шпурах діаметром 32 – 36 мм із забійкою (піщано-глиниста суміш).

Найпростіший накладнй заряд складається з шару *ВР* товщиною 3,5 – 5,0 см, покритою піщаної або глинистої набійкою (рис. 3.16, а). Питома витрата ВР залежить від міцності, властивостей порід і форми шматка і становить від 1,5 до 3,0 кг/м^3.

Для розрахунку маси зовнішнього заряду (*кг*) використовують формулу:

$$Q_з = q_н \cdot V,$$

де $q_н$ – питома витрата *ВР,* кг/м^3*;* V – об'єм шматка породи.

Яу ВР застосовують порошкоподібні і гранульовані *ВР*, а останнім часом і пластичні стрічкові вироби *ПЛ-1* і листові еластичні *ЕЛ-2*. Для ініціювання *ВР* зазвичай використовують електродетонатори або *ДШ*.

Ефективність вибуху накладного заряду підвищується, якщо його накрити гідроекраном – поліетиленовим пакетом з 5 – 20 л води (рис. 3.16, а), що служить для спрямованого відображення і концентрації (кумуляції) ударних хвиль.

Найкращі результати отримують при співвідношенні мас рідини і *ВР* – 2:3 і висоті стовпа рідини, що в 3 і більше разів перевищує товщину шару вибухової речовини. Питома витрата *ВР* при цьому може бути знижена до 0,3 – 0,6 кг/м^3.

Для зовнішніх зарядів знаходять застосування стандартні кумулятивні заряди *ЗКП* і *ЗКП-М* масою від 0,135 до 4,0 кг (табл. 3.5). Вони ініціюються від стандартного електродетонатора (капсуля-детонатора), *ДШ* або неелектричних хвильових систем. За рахунок спрямованої дії вибуху такого заряду різко зменшується розліт шматків породи і скорочується питома витрата *ВР* до 0,4 – 0,6 кг/м^3. Недолік кумулятивних зарядів – їх висока вартість.

При шпуровому методі руйнування негабаритів можливе застосування будь-яких типів *ВР*. Шпури бурять ручними або колонковими перфораторами. Їх глибина становить 1/2 – 1/4 товщини негабаритного шматка, питома витрата *ВР* – 0,1 – 0,3 кг/м^3, а маса заряду в залежності від міцності порід – 50 – 400 г.

Таблиця 3.5

Характеристика кумулятивних зарядів

Тип заряду	Загальна маса ВР, *кг*	Гранична товщина подрібненого шматка, *м*	Тип заряду	Загальна маса ВР, *кг*	Гранична товщина подрібненого шматка, *м*
ЗКП-100	0,135	0,5	ЗКП-4000	4,0	2,8
ЗКП-200	0,245	0,8	ЗКП-М-1000	1,0	1,2
ЗКП-400	0,475	1,0	ЗКП-М-2000	2,0	1,6
ЗКП-1000	1,229	1,4	ЗКП-М-4000	4,0	2,0
ЗКП-2000	2,179	2,2	-	-	-

Підвищенню ефективності цього методу сприяє заповнення шпуру водою (рис. 3.16, в). При цьому питома витрата *ВР* може бути знижена до 0,01 – 0,05 кг/м^3. Внаслідок малого коефіцієнта об'ємного стиснення рідини енергія вибуху переходить з невеликими втратами в ударну хвилю. Негабаритний шматок породи розвалюється на частини без розльоту уламків, оскільки метальна дія вибуху виражена слабо, внаслідок невеликого об’єму газоподібних продуктів вибуху.

3.8. Особливості вибухових робіт на кар'єрах облицювального каменю

При експлуатації родовищ облицювального каменю основну увагу приділяють збереженню фізико-механічних властивостей, декоративних якостей, форми та розмірів блоків. Тому буропідривні роботи застосовують тільки на ділянках з низьким коефіцієнтом виходу блоків або для розпушування скельного розкриву.

При відшаруванні (відбійці) блоків від гірського масиву як ВР використовують димний порох, порохоподібні аміачно-селітрові ВР, ДШ або низькобризантні ВР при трьох відкритих поверхнях. У шпурах розміщують трохи більше двох ниток ДШ чи порох. В породах із спрямованою тріщинуватістю зазвичай бурять шпури за необхідною лінією відриву на відстані 0,8 – 1 м один від одного. Питома витрата димного пороху для відриву та зміщення блоків знаходиться в межах: q = 0,05 – 1 *кг/м*^{3}.

Свердловинну відбійку пороховими зарядами допускають у виняткових випадках – при розробці масиву з високою інтенсивністю тріщин.

Якщо у підошві уступу розташовані постільні тріщини (створена врубова щілина), то для відділення каменю по контуру відколу бурять вертикальні свердловини або шпури з недобуром 5 – 10 см до основи моноліту.

За інших умов для відриву блоку від підошви уступу підривають горизонтальні заряди, параметри яких наведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6.

Параметри буропідривних робіт при використанні порохових зарядів

Найменування	Умови підривання	
	постільні тріщини чи врубова щілина в підошві уступу	відбійка в горизонтальній та вертикальній площині
Відстань в ряду, м - між свердловинами - між шпурами	 0,8–1,0 0,4–0,7	 0,8–1,0 0,4–0,7
Питома витрата пороху, кг/м^3	0,1–0,3	0,3–0,5
Довжина забійки, м.	Не менше 0,4 глибини свердловини	

Для розподілу енергії вибуху за довжиною свердловини порох патронують в мішки з бавовняної тканини. Ініціювання порохових зарядів зазвичай проводять з використанням ДШ.

3.9. Механізація вибухових робіт

Механізація вибухових робіт сприяє підвищеню якості подрібнення гірничої маси і зростанню продуктивності праці при видобутку корисних копалин.

Науково-дослідними інститутами разом з фахівцями гірничого виробництва були створені стаціонарні та пересувні комплекси для розтарювання і зарядні машини для механізації вибухових робіт.

При цьому розробці засобів комплексної механізації заряджання *ВР* та їх впровадженню сприяло створення спеціалізованих організацій із здійснення вибухових робіт, зокрема «Кривбасвибухпром».

В Україні машина для заряджання свердловиних зарядів при розробці корисних копалин відкритим способом вперше була створена і уведена в дію в умовах Каракубського рудоуправління в 1960 – 1962 рр. (Донецька обл.). Свердловини заряджали ігданітом (АС-ДТ).

Як наслідок, в останні роки були впроваджені у виробництво зарядні пристрої і машини, постійно діючі та пересувні пункти підготовки різних типів *ВР*, їх доставки і заряджання, що дозволяє в 2 – 4 рази збільшити продуктивність праці, ліквідувати трудомісткі роботи, що повязані з транспортуванням, перевантаженням та заряджанням свердловин.

Підготовка до вибухових робіт в кар'єрі включає навантаження вибухових матеріалів (*ВМ*) на складах, підготовку компонентів і приготування *ВР* поблизу місць їх застосування на вибуховому блоці, транспортування *ВР* до місця заряджання, зарядку і забійку свердловин, монтаж вибухової мережі.

Вантажно-розвантажувальні роботи на складах *ВМ* здійснюють електрокарами та навантажувачами, обладнаними механізмами захоплення, підйому та переміщення вантажу. Для доставки гранульованих і

порошкоподібних ВР використовують піддони, м'які спеціалізовані контейнери, доставково-зарядні та транспортно-зарядні машини.

Водовмісні та емульсійні *ВР* до свердловин перевозять у зарядно-змішувальних та змішувально-зарядних машинах.

Стаціонарні пункти для приготування гранульованих *ВР* розрізняють за способами змішування і поділяють на барабанні, шнекові та гравітаційні.

Мобільні пункти приготування ігданітів, гранулитів являють собою зарядні машини МОЗ-3, МОЗ-4, МЗ-4А, МЗ-8 (рис. 3.17) та інші, як правило, шнекового або гравітаційного типу.



Рис. 3.17. Загальний вигляд транспортно-змішувально-зарядної машини МЗ-8 на вибуховому блоці

На рис. 3.17 наведено загальний вигляд зарядної машини МЗ-8 з самопливною подачею ВР з бункера в дозатор. Можливе заряджання обводнених свердловин гранулотолом. Технічна продуктивність зарядної машини складає 500 кг/хв.

Стаціонарні пункти приготування гарячих *ВР* типу акватолів і іфзанітів включають апарати - розчинники для отримання насиченого гарячого (85 – 110 ˚*С*) розчину селітри з добавкою 15 – 17 % води за масою і загусника (поліакриламіда або карбоксиметил-целюлози).

Приготований невибуховий розчин подається в накопичувальну ізотермічну ємність місткістю 20 – 60 м^3, звідки насосом або самопливом – в змішувально-зарядні машини Акватол 3, Акватол 3М, Анемікс-1. Машини доставляють гарячий розчин селітри на прикар'єрний пункт, де довантажується до 20 % гранулотола. Мішалкою, що розташована в нижній частині ємності, проводять перемішування рідкого розчину і гранул тротилу протягом 20 – 30 хв., а потім отримана суспензія через дозатор машини подається по шлангу в свердловину під стовп води. При цьому отримують щільність заряджання ВР в свердловині 1,2 – 1,3 кг/дм^3.

На рис. 3.18 наведено змішувально-зарядну машину Анемікс -1.



Рис. 3.18. Змішувально-зарядна машина Анемікс -1

Для виготовлення емульсійних *ВР* використовують компактні модульні установки, своєрідні міні-заводи (рис. 3.19), що включають апарати емульгування, накопичувальні ємності та ємності з пальним, емульгатором, енергетичною і газогенеруючою добавкою (*ГГД*).

Завантаження готової емульсії проводять у цистерни або транспортно-змішувально-зарядні машини МЗВ-20, МЗГ-10, МСЗ-8 та МСЗ-20 та ін.

Закордонні компанії використовують для активації емульсії скляні порожнисті мікросфери в кількості до 2 % до обсягу. З метою підвищення

вибухових характеристик до складу емулітів і поремитів вводять дисперсний алюміній (4 – 12 %), або суміш аміачної селітри з дизельним паливом у кількості 30 – 70 % за масою.



Рис. 3.19. Комплекс «Південний» (Кривбас) з підготовки емульсійних вибухових речовин

При вмісті *АС-ДП* до 40 % отримана *ВР* придатна для подачі її в свердловину. Для приготування емуланів використовують пористу аміачну селітру.

Для забійки свердловин застосовують забійні машини ЗС-1Б, ЗС-2, ЗС-1М з місткістю бункерів 5,0 – 11 т. Їх продуктивність становить 5,5 – 10,2 т/год. Забійковий матеріал з бункера подають до розвантажувального пристрою шнеком або конвеєром, а в свердловину він надходить самопливом по лотку.

Контрольні запитання

1. Які методи вибухових робіт застосовують при відкритих гірничих роботах?

2. За яких умов стає в пригоді метод котлових свердловинних зарядів вибухових речовин?

3. Що відноситься до параметрів свердловинних зарядів?
4. Навіщо розосереджують заряд ВР у свердловині?
5. Для чого використовують свердловинні заряди ВР з повітряними проміжками?
6. Які ви знаєте конструкції свердловинних зарядів ВР?
7. Яке призначення має забійка свердловини?
8. Для чого створюють перебур у вибуховій свердловині?
9. Навіщо застосовують внутрішньосвердловинне уповільнення?
10. Які вимоги ставляться до схем підривання зарядів на блоці?
11. Які методи руйнування негабаритів ви знаєте?
12. Для чого використовується механізація вибухових робіт?

Список рекомендованої літератури до розділу 3

1. Технологія та безпека виконання підривних робіт : навч. посіб. Для ВНЗ / В.В. Соболєв, Р.М. Терещук, О.Є. Григор'єв ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2017. – 314 с.

2. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин: монографія / Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 212 с.

3. В.В. Соболєв та інш. Способи підривання зарядів вибухових речовин. Дніпро, «ЛізуновПрес», 2013.

4. AyalaCarcedo, F. (2017). Drilling and blasting of rocks. Routledge.

5. Persson, P. A., Holmberg, R., & Lee, J. (2018). Rock blasting and explosives engineering. CRC press.

РОЗДІЛ 4. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ БУРОПІДРИВНИХ РОБОТАХ В КАР'ЄРАХ

У розділі наведено основні засади застосування безпілотних інформаційно-навігаційних систем управління буровими верстатами.

Розглянуто використання сучасних геоінформаційних систем гірничо-геологічного моделювання: K-MINE, Micromine, Geovia Surpac для проєктування буропідривних робіт при відкритих гірничих роботах.

Спираючись на матеріал розділу, студент повинен уміти: створювати та налаштовувати проєкт БВР; визначати параметри зарядів та схеми їх ініціювання; підготовлювати паспорти бурових робіт та масового вибуху з використанням геоінформаційних систем.

4.1. Застосування інформаційних технологій при бурових роботах

При розробці родовищ відкритим способом знаходить широке застосування безпілотних інформаційно-навігаційних систем управління гірничотранспортним обладнанням. Їх цінність визначається в комплексному поєднанні таких складових, як безпека, продуктивність та ефективність застосування.

Серед систем дистанційного (безпілотного) управління передові гірничовидобувні компанії використовують RCS для бурових верстатів при бурінні вибухових свердловин на відкритих гірничих роботах.

Система RCS є комп'ютеризованою, вона керує верстатом, спроєктованим фахівцями компанії Atlas Copco, а також надає наступні можливості:

- перевірка необхідних та суттєвих параметрів буріння;
- відображення необхідної інформації на моніторі оператора;
- виконання команд, наданих оператором з панелі управління.

Система дозволяє автоматично проводити певні процеси буріння на борту верстата, управляти верстатом дистанційно на відстані та застосовувати повну автономність буріння.

При використанні частково автоматичних процесів на борту можна забезпечити автогоризонтування верстата, проводити автобуріння (з опцією автонарощування бурового ставу). Виконання таких операцій проводиться з застосуванням GPS наведення, що надає відповідну точність координат буріння свердловин у 3D вимірі, (рис. 4.1).

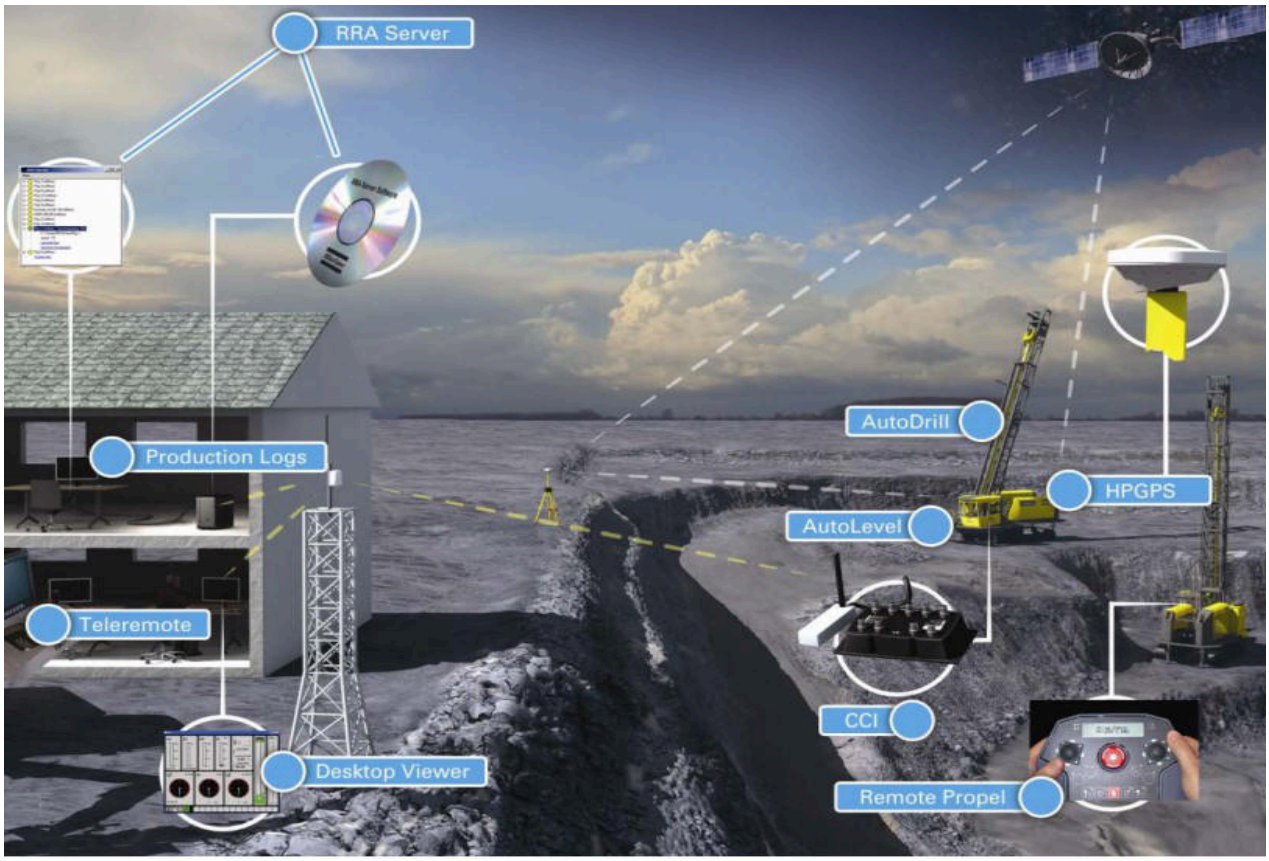


Рис. 4.1. Загальний вигляд інформаційно-навігаційної систем управління буровими роботами на відкритих гірничих роботах

Високоточне позиціонування за допомогою систем GPS дозволяє:

- збільшити коефіцієнт використання обладнання;
- зменшити простої на розбивку блоку;
- уникати простоїв через погодні умови (наприклад, мітки гирла свердловини занесло снігом);
- надавати достовірні дані про координати пробурених свердловин для

програми диспетчеризації;

- проводити точність розмітки свердловин на блоці: + - 10 см;

- проявляти гнучкість у виборі типу плану буріння тощо, (рис. 4.2).

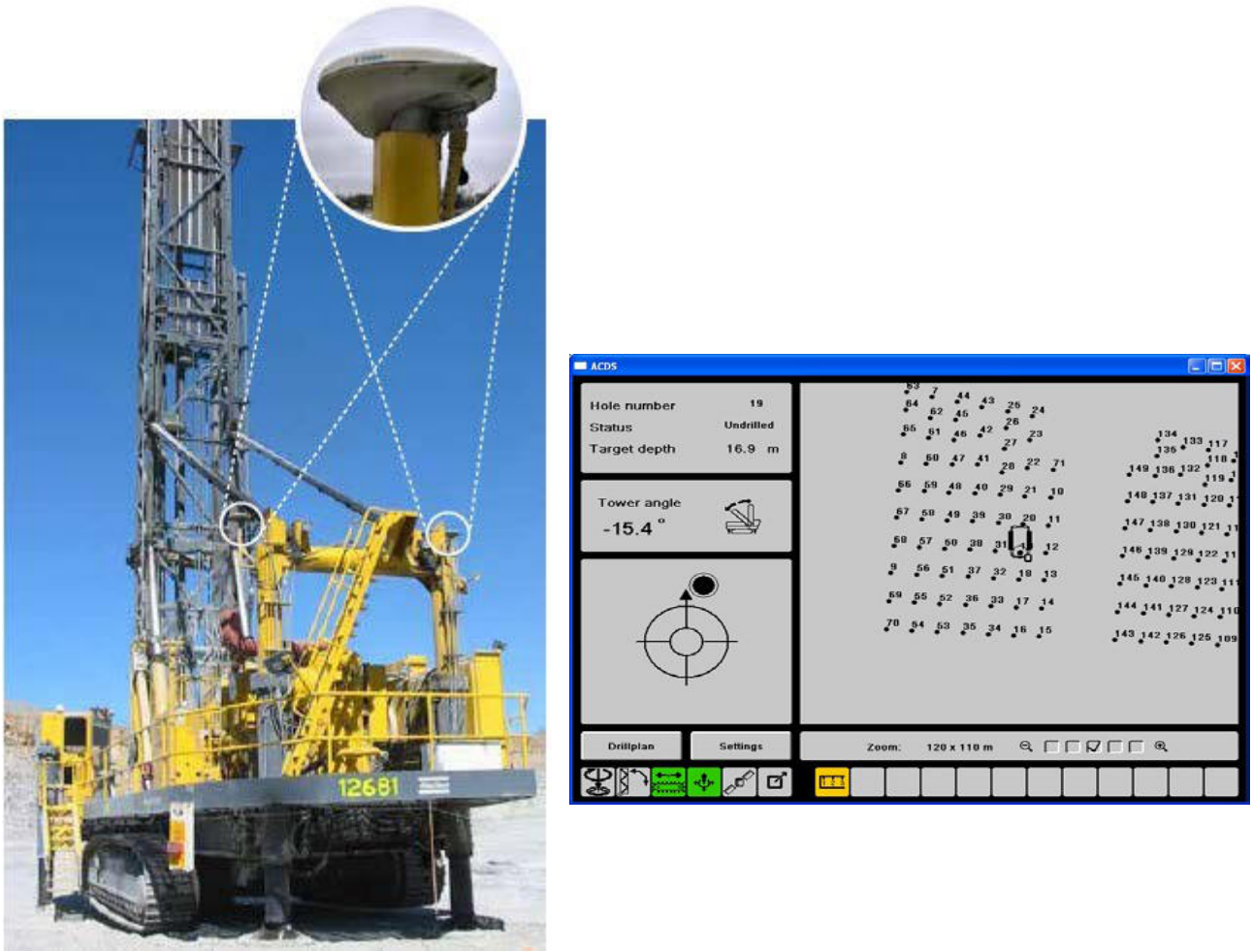


Рис. 4.2. Позиціонування з застосуванням систем GPS при бурінні свердловин

Для корекції даних із супутника використовується базова станція (рис. 4.3). Вона розміщується на встановленому майданчику з відомими координатами та може виявляти фактичну помилку й передавати дані корекції на буровий верстат. Без наявності коригувального сигналу точність GPS становить +/- 5 метрів. Виправивши помилку вимірювання GNSS, ми можемо отримати точність до +/- 10 сантиметрів.

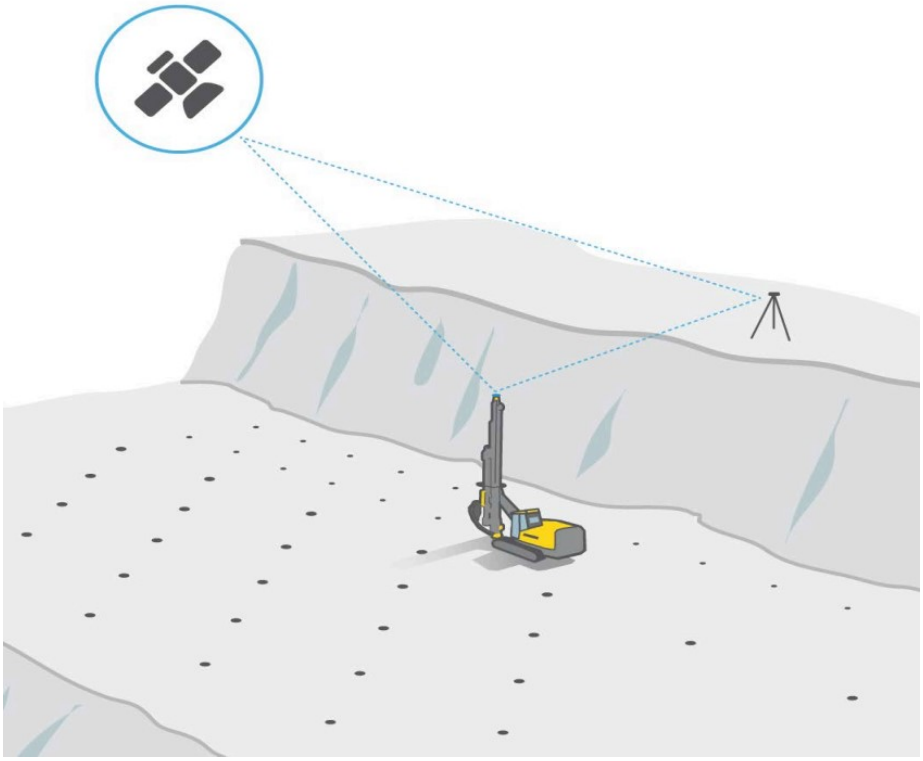


Рис. 4.3. Використання базової станції для корекції даних буріння свердловин при супутниковій навігації

Функція автогоризонтування, яка важлива при вертикальному та похилому бурінні свердловин, дозволяє машиністу горизонтувати верстат в автоматичному режимі натисканням однієї кнопки. Опція підвищує якість вирівнювання верстата. Автогоризонтування знижує навантаження на конструктивні елементи верстата, мінімізуючи скручувальні навантаження. В нормальних умовах система горизонтує верстат протягом 35 с з відхиленням максимум 0,2 градуси в вертикальній площині.

При управлінні буровим верстатом дистанційно на відстані можна використовувати наступні опції: автоматизація на борту; мобільний центр управління; віддалений офіс управління (стаціонарна диспетчерська); центр управління в автомобілі (рис. 4.4).

Повна автономність процесу буріння (автономус) дозволяє віддалене управління верстатом.

а) стаціонарна диспетчерська б) мобільна диспетчерська

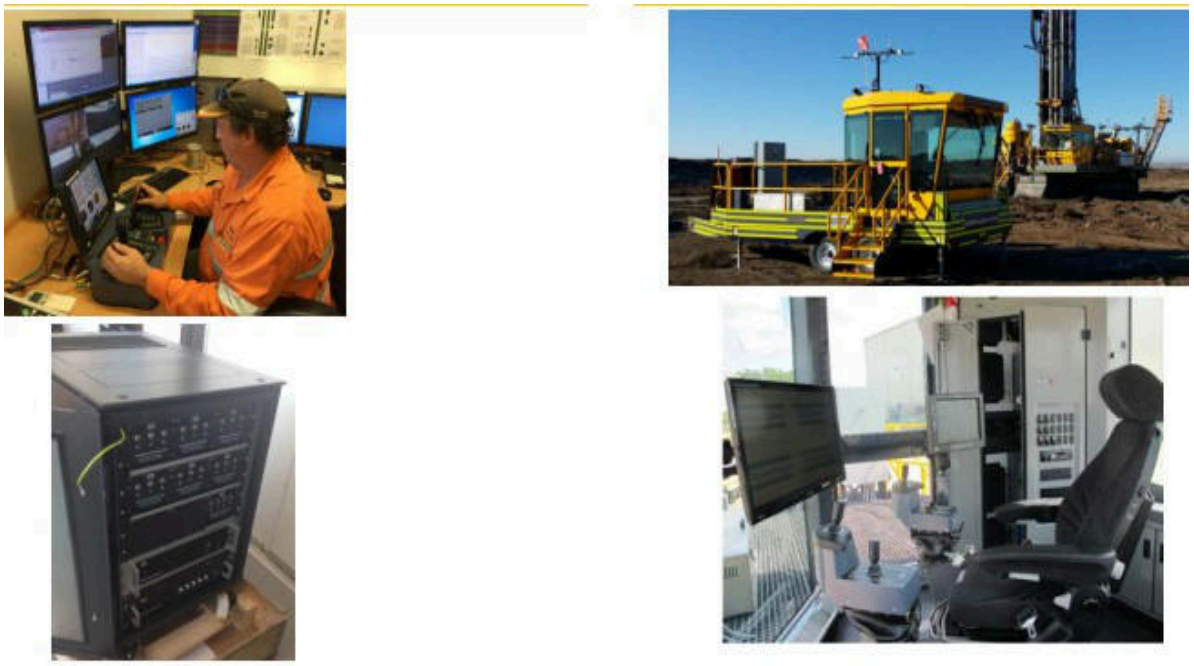


Рис. 4.4. Приклад стаціонарної а) та мобільної б) диспетчерської при віддаленому управлінні за бурінням свердловин

Автономус – автоматизована система, що виконує всі необхідні операції всього процесу буріння за заздалегідь запрограмованим сценарієм, без безпосереднього втручання людини, з автоматизацією робочих циклів.

Переваги автобуріння:

- постійна продуктивність бурового верстата;
- незалежність від досвіду оператора;
- оператор може відволікатися на огляд верстата, виконуючи допоміжні операції без втрати продуктивності буріння;
- автоматика не втомлюється, в автоматичному режимі верстат бурить і в перезмінку, і в обід;
- економія бурового інструмента;
- використання забурювання;
- при автоматичному режимі буріння не перевищуються допустимі для долота параметри;
- висока якість пробурених свердловин;

- стійкість свердловин після автоматичного буріння вища, ніж у разі буріння оператором;

- менше втрат часу на перебурювання, зарядку свердловин.

При всіх рівнях управління за процесами буріння свердловин в реальному режимі часу відбувається контроль за показниками буріння:

- продуктивність, м/год., зміну;

- кількість пробурених свердловин за зміну;

- час на виконання операцій;

- витрати палива тощо.

Конфігурація обладнання диспетчерської станції для віддаленого управління за процесом буріння (рис. 4.5) включає: - A: керуючий блок безпеки який спарений з керованою машиною (стандартна стійка має 1 блок), станція може контролювати до 9 бурових верстатів; B – сервер верстата ACMS (Atlas Copco Machine Server); C – блок живлення; D – додатковий (незалежний) пульт блоку безпеки.

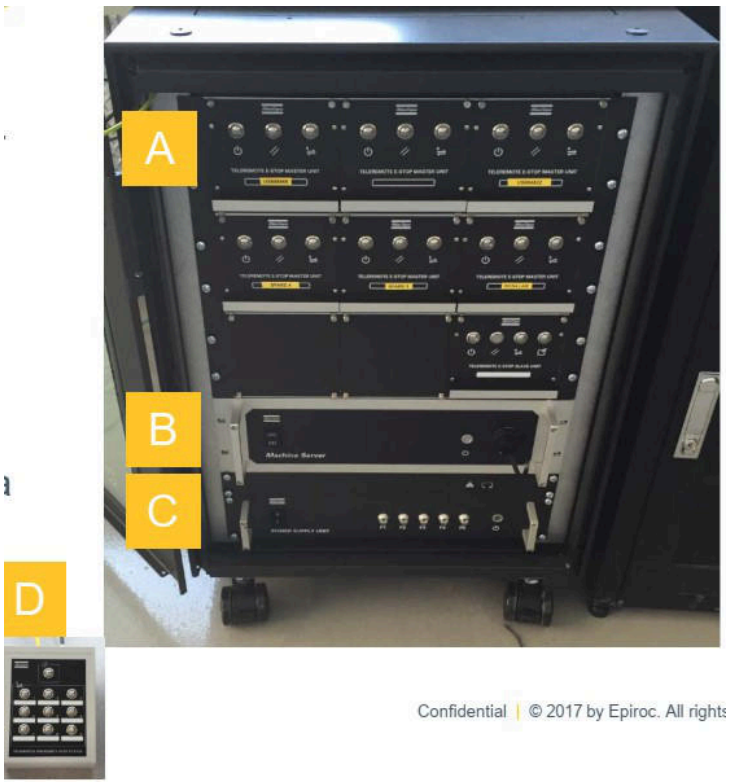


Рис. 4.5 Конфігурація обладнання диспетчерської станції для віддаленого управління за процесом буріння

Незалежний пульт блоку безпеки використовують при втраті зв'язку з верстатом: активує аварійну зупинку машини та може керувати системою пожарної безпеки. На панелі оператора є кнопка аварійної зупинки верстата (рис. 4.6).



Рис. 4.6. Загальний вид панелі оператора віддаленого управління буровими верстатами

Досвід експлуатації бурового верстата Pit Viper: PV-351 компанії Atlas Copco при бурінні свердловин на залізорудному родовищі в автономному режимі при віддаленому управлінні показав наступні результати.

1. Точність буріння:

- на 0,2 м менше відхилення свердловин від вертикалі;

- на 0,4 м точніше позиціювання на буріння свердловини, ніж у верстата без GPS;

2. Середня швидкість:

- на 8,5 хв менше повний робочий цикл буріння;

- у середньому на 4 пробурених свердловини більше за зміну;

- ефективність: коротший час робочого циклу, вища точність буріння.

3.Безпека:

- оператор перебуває поза небезпечною зоною.

Таким чином, застосування безпілотних інформаційно-навігаційних систем управління разом з автоматизацією процесів буріння дозволяє підвищити його ефективність, стійкість бурового інструменту, продуктивність та безпеку робіт за рахунок зменшення часу на виконання операцій, скорочення холостих, несанкціонованих простоїв тощо.

4.2. Автоматизована система ведення буропідривних робіт з використанням ГІС K-MINE

K-MINE – програмне забезпечення призначене для повного циклу гірничого виробництва. В використовується в геології, геодезії, маркшейдерії, картографії під час планування та проєктування гірничих робіт.

4.2.1. Загальні положення

Проєктування та ведення буропідривних робіт в K-MINE має комплексний підхід та забезпечує автоматизацію процесів на всіх етапах, починаючи з обробки вихідних даних маркшейдерської та геологічної інформації, включає функціональні можливості проєктування бурових робіт будь-якої складності та конфігурації, проєктування конструкцій зарядів та схем комутації вибухової мережі із застосуванням засобів ініціювання різного типу.

При наявності на підприємстві засобів зв'язку з гірничим обладнанням система K-MINE надає можливість автоматичного обміну даними з буровими верстатами в кар'єрі. Проєкт за умови готовності може бути спрямований прямо на буровий верстат. І навпаки, інформація з верстата про фактично пробурені свердловини може передаватися на комп'ютер технічному персоналу або відповідальному за ведення БВР у кар'єрі.

Результати проєктних робіт формуються у вигляді повного пакету звітних документів на масовий вибух. Після проведення буропідривних робіт система дозволяє виконати обробку та накопичення результатів, здійснити їх аналіз, оцінюючи ефективність проєктних рішень (рис. 4.7).

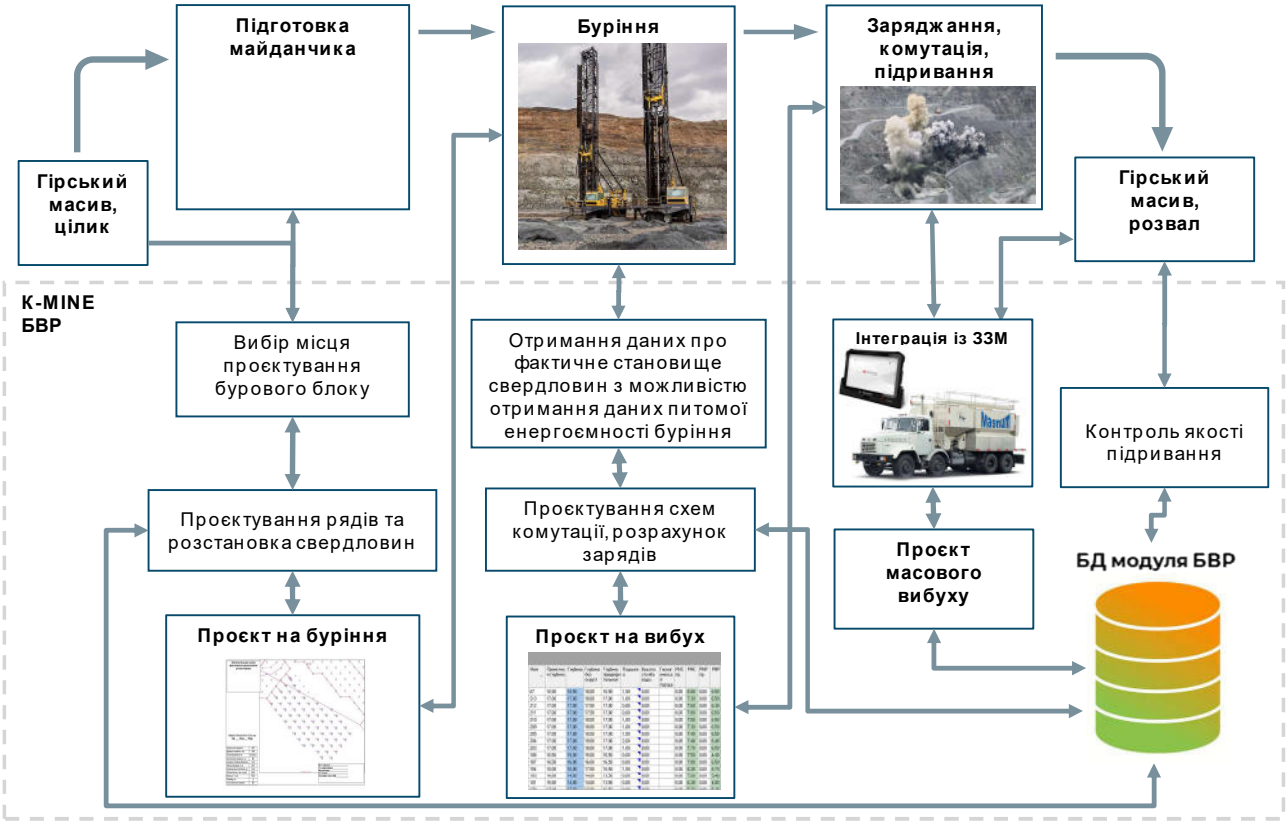


Рис. 4.7. Структура автоматизованої системи K-MINE: буропідривні роботи

Система K-MINE має модульну структуру, покриваючи необхідними функціональними можливостями того чи іншого модуля всі технологічні процеси при веденні буропідривних робіт на підприємстві з відкритим способом видобутку корисних копалин.

Даний модуль функціонально поділено на три групи задач, які використовуються з метою:

- створення проєкту на буріння свердловин;
- створення проєкту на вибух;
- виконання супровідних задач (побудова розрізу, розрахунок параметрів бурового блоку тощо).

Проєктування буріння свердловин виконується за допомогою наступних задач:

- проєкт на буріння;

- зони впливу свердловин;
- розрахунок глибини свердловини по каркасу;
- інтервали;
- об'єм бурового блоку тощо.

4.2.2. Проєктування бурових робіт

Проєктування буропідривних робіт в K-MINE може базуватись на вихідних даних про ситуацію в кар'єрі, які представлені у різноманітному вигляді. Наприклад, вихідна маркшейдерська інформація може містити:

- дані лазерного сканування поверхні;
- аерофотозйомку;
- дані позиціонування GPS-ровера;
- дані, отримані з електронних та оптико-механічних приладів вимірювальних приладів;
- відсканові графічні дані з маркшейдерских планшетів;
- інформацію про раніше підірвану гірничу масу з детальним розташуванням свердловин.

Геологічна інформація про буровий блок також відіграє ключову роль при проєктуванні. Вона може бути подана у вигляді: геологічних контактів всіх порід в блоці, даних про тріщинуватість гірничих порід, геологічних розрізів, тривимірних каркасних та блокових моделей з фізико-механічними властивостями порід.

Головною задачею модуля в першому блоці є комплексна задача *«Створити проєкт на буріння»* (рис. 4.8), яка має широкий функціонал для вирішення різних завдань зі створення та ведення паспортів на буріння з урахуванням різних факторів, таких як складна геологічна будова блоку, різні проєктні глибини та діаметри свердловин, різне бурове обладнання тощо.

Завдяки гнучкому та інтуїтивно зрозумілому функціоналу даного модуля проєктування сіток свердловин може виконуватися декількома способами – заповнення проєктної ділянки, рядне створення груп свердловин та одиночні побудови.

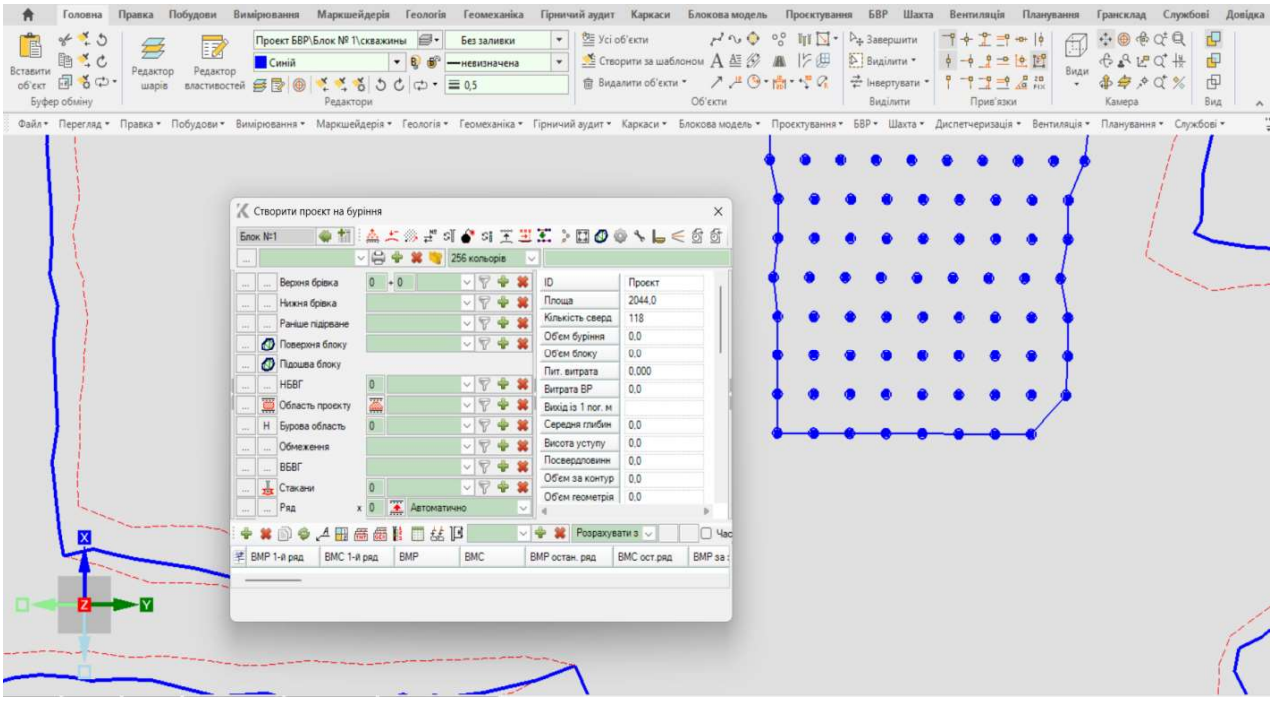


Рис. 4.8. Загальний вигляд вікна «Створити проєкт на буріння» із застосуванням користувацьких налаштувань

Задача має багато режимів автоматизованого розміщення вибухових свердловин у контурах вибухового блоку із використанням регулярних та нерегулярних сіток. Наявна можливість швидкого коригування розміщення свердловин при зміні конфігурації блоку або інших параметрів проєктування. Додатковим інструментарієм є створення врізок, врубів, похилих та зближених свердловин тощо, (рис. 4.9). Задача дозволяє проєктувати розбурювання контурних блоків на різні горизонти, визначати глибини свердловин під час буріння на задану позначку або пласт при автоматичному розміщенні свердловин та визначати глибини при розбурюванні з'їздів з горизонту на горизонт та багато іншого.

Функція побудови розрізу бурового блоку дозволяє в автоматичному режимі виконувати щоденні дії з побудови перерізів бурового блоку за довільними напрямками та додавання цієї інформації до звіту. Окрім автоматичного розрахунку всіх необхідних параметрів щодо кожної проєктної

свердловини, також виконується обчислення зведеної інформації за буровим блоком з подальшою швидкою передачею цієї інформації у користувацький шаблон звітної документації. Останній легко налаштовується під потрібні на підприємстві вимоги і може зберігати різні види інформації: графічну, табличну та текстову.

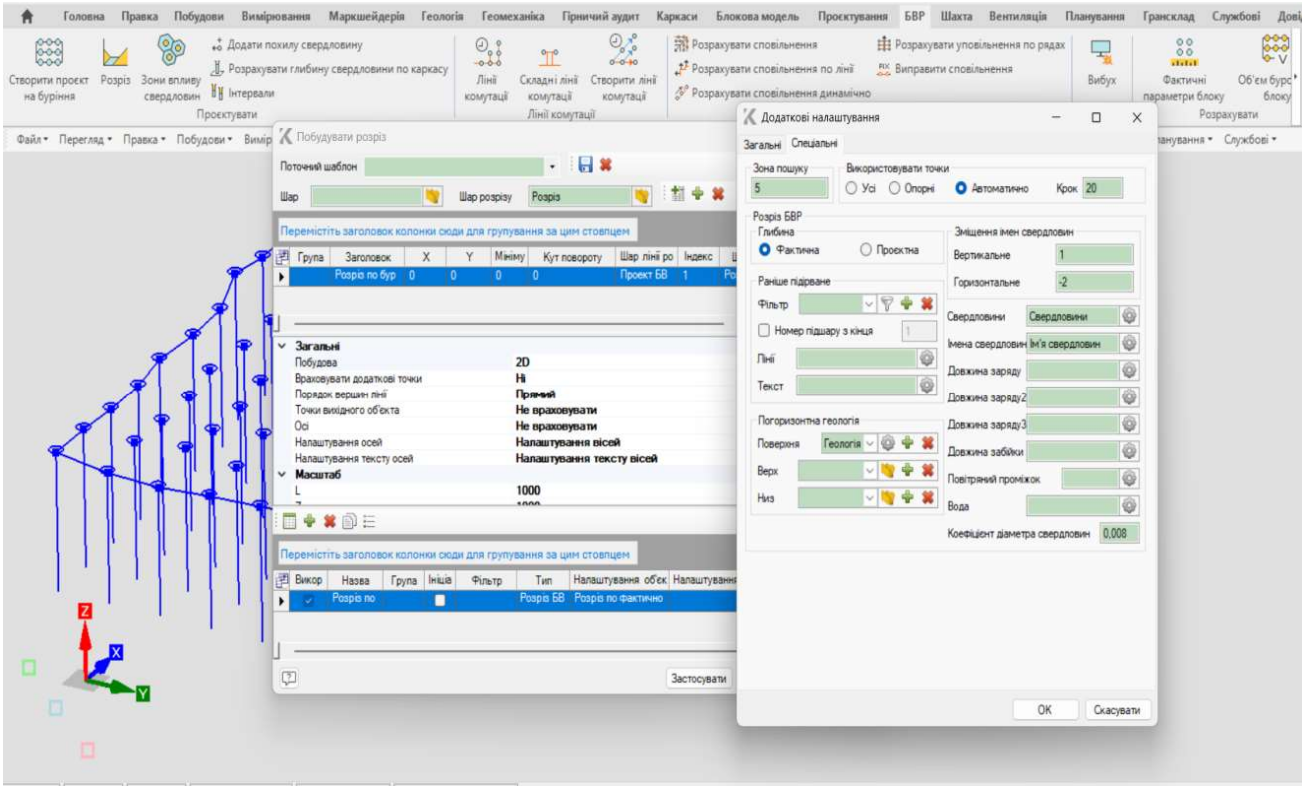


Рис. 4.9. Загальний вигляд вікна «Додаткові налаштування» задачі «Побудувати розріз»

Задача «Побудови зони впливу свердловин» допоможе проєктувальнику наочно зрозуміти межі впливу свердловин у просторі за різними показниками (глибина, об'єм, критичні відстані тощо) Окрім візуалізації просторової інформації меж впливу свердловин, модуль дає можливість швидкої візуалізації параметрів блоку, що проєктується (довжини свердловин, прогнозні позначки її дна, нумерація, відстані між сусідніми свердловинами та між рядами, розподіл по буровому обладнанню, діаметри буріння, геологічну структуру та інше).

Задачі для підрахунку об'ємів бурового блоку дозволяють виконувати розрахунок кількома способами: за окремими свердловинами, за площею або наборами площин, через обчислення змодельованого замкненого каркасу бурового блока у цілику та після підривання.

Приклад моделювання прогнозної поверхні бурового блоку наведено на рис. 4.10.

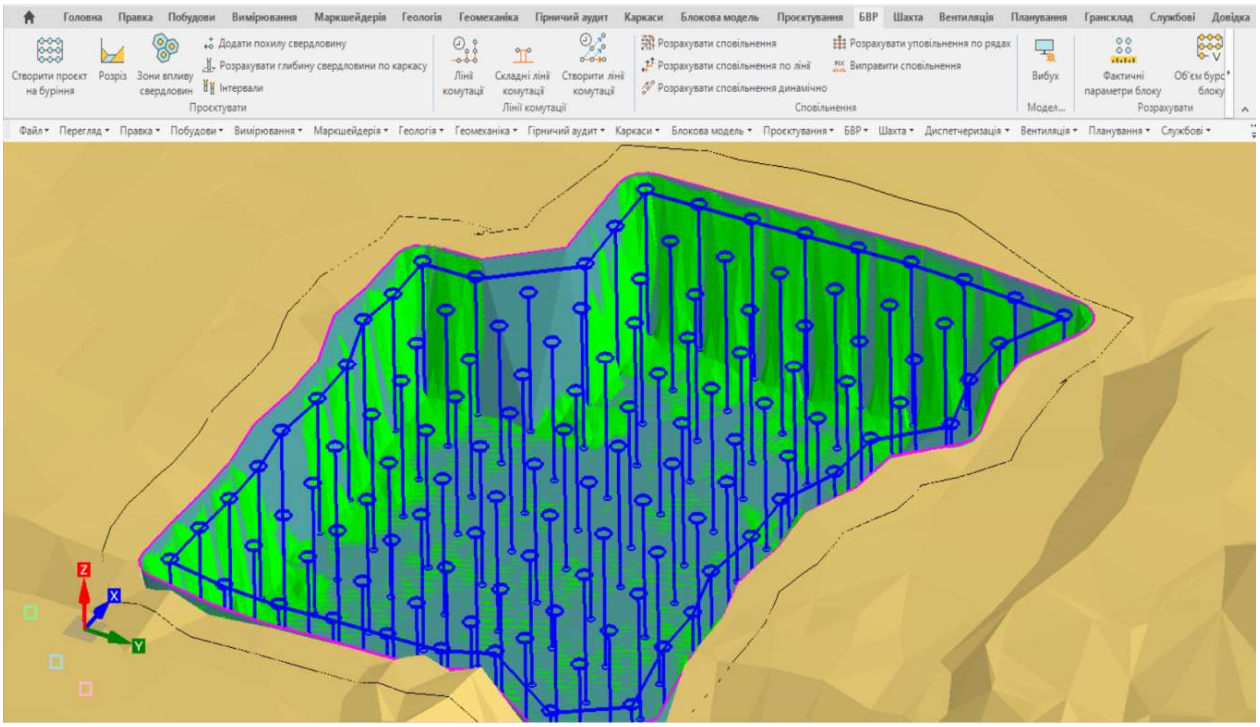


Рис. 4.10. Приклад моделювання прогнозної поверхні бурового блоку

4.2.3. Інтеграція з буровим обладнанням

Вся інформація щодо запроєктованого бурового блоку автоматично потрапляє у необхідні звіти, а також може оперативно передаватися у системи високоточного позиціювання або безпосередньо на бурове обладнання (рис. 4.11). Передача даних про проєктне положення та параметри бурових свердловин може бути забезпечена за допомогою безпосереднього підключення до бази даних бурового обладнання або за допомогою обмінних файлів, наприклад, формату CSV, TXT, XML зі структурою, що налаштовується.

Автоматична передача проєкту на буріння на буровий верстат дозволяє виключити людський фактор (помилки та неточності) при виставленні свердловин маркшейдером, а також дозволяє значно скоротити час на цю операцію.

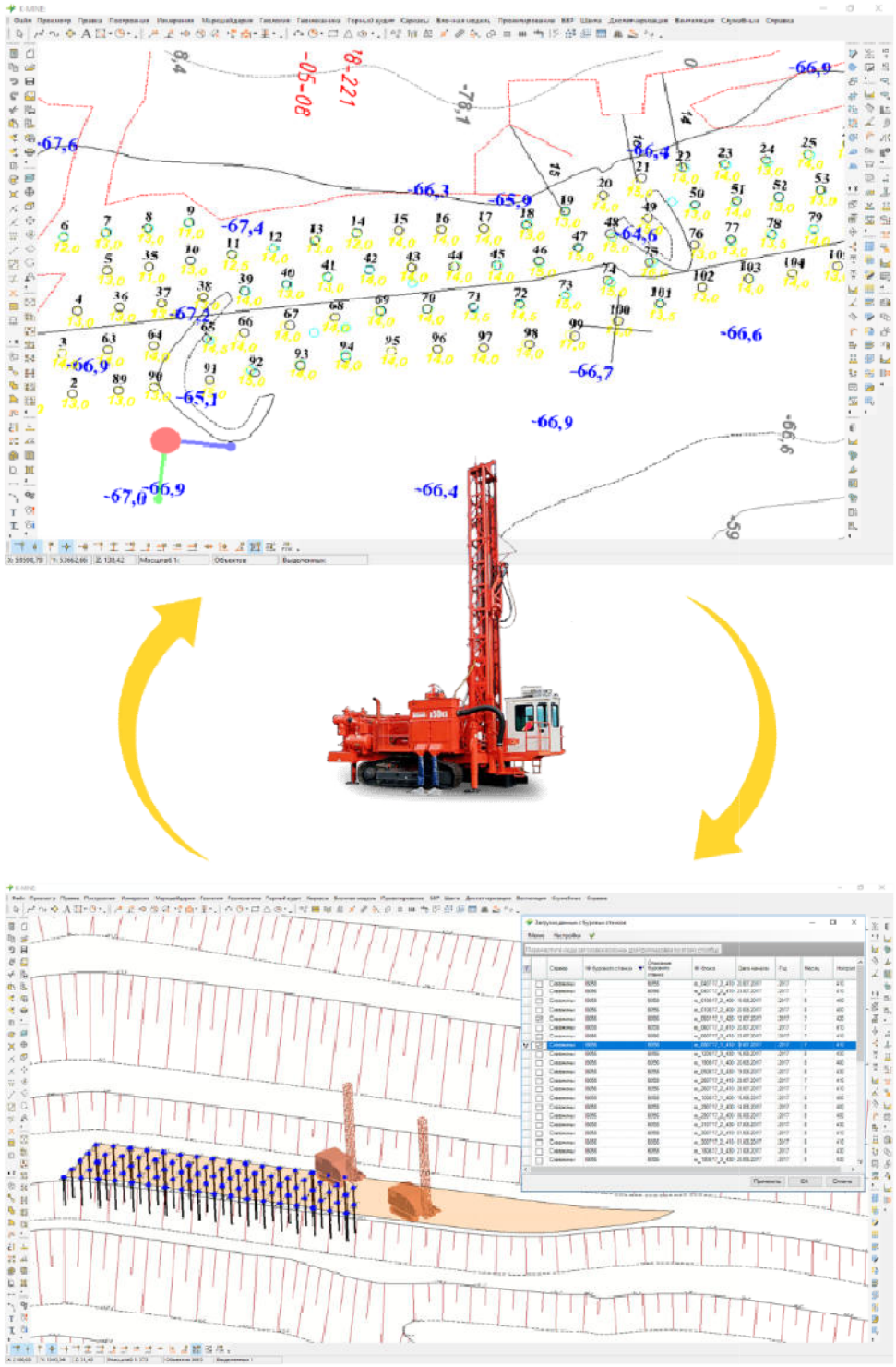


Рис. 4.11. Обмін даними з буровим обладнанням

Другим важливим аспектом інтеграції з буровим обладнанням модуля буропідривних робіт є можливість отримання оперативної та точної інформації про пробурені свердловини. Бурові верстати, які мають телеметричне обладнання, забезпечують інформацію як про поточні параметри буріння (сила подачі бурового стану, крутний момент, швидкість обертання долота тощо), так і про положення свердловин (координати гирла, глибина, кут нахилу). Модуль буропідривних робіт K-MINE підтримує функції обробки даних з бурового обладнання, які дають можливість отримати фактичне положення бурових свердловин, визначити їх відхилення від проєкту.

На основі виміряних фактичних параметрів про буріння виконується розрахунок енергоємності буріння. В процесі обробки даних програмне забезпечення K-MINE виконує усереднення показників на заданих інтервалах буріння, нівелюючи «ураганні» значення при визначенні параметрів буріння. З метою візуалізації даних енергоємності буріння, вони відображаються за допомогою градієнта відповідно до визначених інтервалів на шкалі (рис. 4.12).

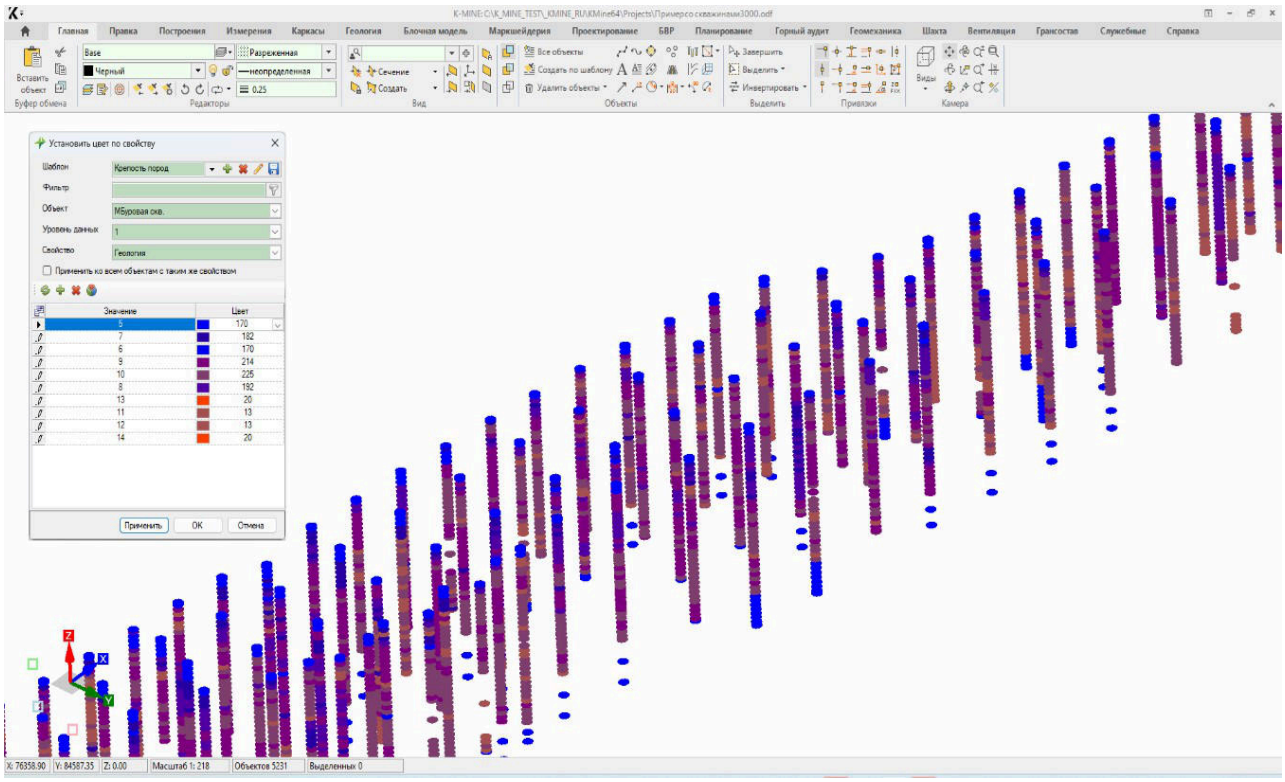


Рис. 4.12. Візуалізація інтервалів бурових свердловин за даними енергоємності буріння

Отримані дані за коефіцієнтом енергоємності буріння дозволяють уточнити геологічну ситуацію на буровому блоці (фізико-механічні властивості гірських порід), яка була визначена в результаті попередньої розвідки, перерахувати коефіцієнт міцності порід та в подальшому скоригувати параметри вибухових робіт з урахуванням отриманої інформації.

4.2.4. Розрахунок зарядів свердловин

Наступним етапом проєктування буропідривних робіт є стадія розробки проєкту масового вибуху в кар’єрі. Важливим аспектом тут є врахування фактичної інформація про вибурені зарядні свердловини та їх стан (просторові координати розташування, глибина, ступінь обводненості, геологія тощо). Вона заноситься до бази даних маркшейдерських зйомок на основі вимірювань за допомогою електронного тахеометра, ровера або інших вимірювальних засобів. Після цього виконується побудова фактичних свердловин у простір цифрової моделі кар'єру з усіма атрибутивними даними, що зберігаються безпосередньо в об’єкті «свердловина».

Отримана фактична інформація за свердловинами дає змогу створити проєкт на підривання, враховуючи всі необхідні фактори. На цьому етапі модуль проєктування буропідривних робіт K-MINE дозволяє в автоматизованому режимі:

- сформувати конструкції зарядів та об’єми вибухівки у свердловинах;
- спроєктувати схеми комутації та розрахувати уповільнення;
- промоделювати процес вибуху з візуалізацією процесу відбивання порід;
- розрахувати економічні показники ведення буропідривних робіт (для блока або масового вибуху в цілому);
- сформувати табличну та графічну звітну документацію.

Зручним аспектом у використанні програмного модуля є можливість застосування попередньо виконаних налаштувань, бази паспортів та довідників. Так, сформовані паспортні дані про конструкції зарядів (суцільні, комбіновані

заряди, заряди з повітряним проміжком тощо) можуть використовуватись при створенні кожного наступного проєкту (рис. 4.13). Також в програмі використовуються довідники вибухових речовин, засобів ініціювання тощо.

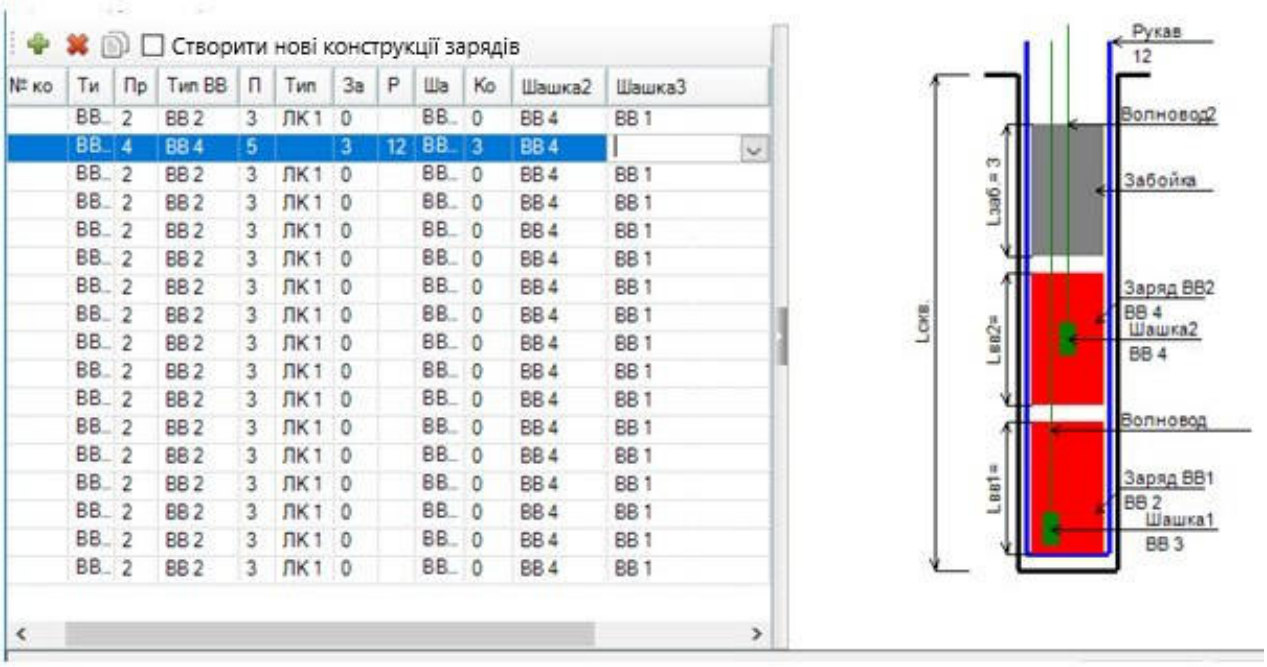


Рис. 4.13. Редактор конструкцій заряду

При розрахунку зарядів свердловин беруться до уваги такі фактори, як геологія блоку, відстані між рядами свердловин, відстані між свердловинами в ряду, розташування свердловини (перший ряд, проміжні ряди, останній ряд), глибина свердловини, забійка, рівень води в свердловині тощо. В результаті за певним алгоритмом обирається конструкція зарядів свердловин, розраховується довжина та маса заряду, кількість розхідних матеріалів, довжина забійки, а при використанні комбінованих та розосереджених зарядів – довжина повітряних проміжків тощо, (рис. 4.14).

Варто відмітити, що програмний модуль проєктування буропідривних робіт K-MINE дозволяє гнучко задавати алгоритм розрахунку зарядів свердловин, враховуючи різні модифікації типового проєкту та методики розрахунку.

Группировка

№ тчк	№ объекта	Класс	Координата X	Координата Y	Координата Z	Тип точки	Дата	Вид отрисовки	Имя	Проектная глубина	Глубина	Глубина без округл	Глубина предвари тельная	Подсыпка	Высота столба воды	Геологическая порода	РМС пр.	РМС	РМР пр.	РМР	Линия сопротивления по подошве	ЛСПП пр.	Перебур	Глубина - перебур	Высота уступа факт.	Участок
12	1469	МБуровая скв.	75503,00	84515,34	-60,69	опорная	02.04.16	скважина	67	16,50	16,50	18,00	16,50	1,50	0,00		0,00	6,80	0,00	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	
4	1469	МБуровая скв.	75593,56	84483,60	-59,92	опорная	02.04.16	скважина	213	17,00	17,00	18,00	17,00	1,00	0,00		0,00	7,30	0,00	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	
3	1469	МБуровая скв.	75601,08	84484,58	-60,03	опорная	02.04.16	скважина	212	17,00	17,00	17,50	17,00	0,00	0,00		0,00	7,60	0,00	6,30	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	
2	1469	МБуровая скв.	75608,73	84485,92	-60,00	опорная	02.04.16	скважина	211	17,00	17,00	17,50	17,00	0,00	0,00		0,00	7,80	0,00	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	
1	1469	МБуровая скв.	75616,11	84487,10	-59,89	опорная	02.04.16	скважина	210	17,00	17,00	18,00	17,00	1,00	0,00		0,00	7,50	0,00	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	
0	1469	МБуровая скв.	75623,36	84488,29	-59,69	опорная	02.04.16	скважина	209	17,00	17,00	18,00	17,00	1,00	0,00		0,00	7,30	0,00	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	
7	1469	МБуровая скв.	75603,70	84491,61	-59,96	опорная	02.04.16	скважина	205	17,00	17,00	18,50	17,00	1,50	0,00		0,00	7,40	0,00	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	
6	1469	МБуровая скв.	75596,38	84490,40	-59,99	опорная	02.04.16	скважина	204	17,00	17,00	19,00	17,00	2,00	0,00		0,00	7,40	0,00	6,40	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	
5	1469	МБуровая скв.	75589,07	84489,40	-59,80	опорная	02.04.16	скважина	203	17,00	17,00	18,00	17,00	1,00	0,00		0,00	7,70	0,00	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	
15	1469	МБуровая скв.	75489,30	84536,38	-60,12	опорная	02.04.16	скважина	188	16,50	15,00	15,00	16,50	0,00	0,00		0,00	7,50	0,00	4,40	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	
14	1469	МБуровая скв.	75488,37	84529,48	-60,53	опорная	02.04.16	скважина	187	16,50	16,00	16,00	16,50	0,00	0,00		0,00	7,00	0,00	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	16,00	
11	1469	МБуровая скв.	75496,57	84514,51	-60,81	опорная	02.04.16	скважина	184	16,00	16,00	17,50	16,50	1,50	0,00		0,00	6,30	0,00	8,70	0,00	0,00	0,00	0,00	16,00	
16	1469	МБуровая скв.	75491,24	84506,23	-61,12	опорная	02.04.16	скважина	183	16,00	14,00	14,00	13,50	0,00	0,00		0,00	7,00	0,00	5,40	0,00	0,00	0,00	0,00	14,00	
9	1469	МБуровая скв.	75489,85	84492,43	-60,72	опорная	02.04.16	скважина	181	16,50	14,00	14,00	13,50	0,00	0,00		0,00	6,30	0,00	4,80	0,00	0,00	0,00	0,00	14,00	
17	1469	МБуровая скв.	75492,35	84479,96	-60,05	опорная	02.04.16	скважина	179	17,00	17,00	17,00	16,50	0,00	0,00		0,00	5,70	0,00	5,40	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	
18	1469	МБуровая скв.	75493,28	84473,52	-60,15	опорная	02.04.16	скважина	178	17,00	17,00	17,00	17,00	0,00	0,00		0,00	6,50	0,00	5,20	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	
21	1469	МБуровая скв.	75497,43	84468,56	-60,05	опорная	02.04.16	скважина	177	17,00	16,50	16,50	16,50	0,00	0,00		0,00	6,50	0,00	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	
20	1469	МБуровая скв.	75500,92	84474,19	-60,10	опорная	02.04.16	скважина	175	17,00	17,00	18,50	17,00	1,50	0,00		0,00	6,20	0,00	4,30	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	
19	1469	МБуровая скв.	75500,80	84479,11	-60,19	опорная	02.04.16	скважина	174	17,00	17,00	17,00	17,00	0,00	0,00		0,00	4,90	0,00	4,20	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	
8	1469	МБуровая скв.	75490,49	84486,19	-60,48	опорная	02.04.16	завалена		16,50	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
10	1469	МБуровая скв.	75489,78	84498,88	-60,92	опорная	02.04.16	завалена		16,50	10,00	10,00	13,50	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	
13	1469	МБуровая скв.	75490,12	84522,61	-60,69	опорная	02.04.16	завалена		16,50	13,50	13,50	13,50	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,50	

Рис. 4.14. Таблиця зарядів свердловин

При розрахунку зарядів свердловин можуть використовуватись різні критерії оптимізації проєкту – технологічні (фрагментація гірничої маси, вплив на гірничий масив тощо), екологічні (сейсмічний вплив, обмеження за газом та пилом), економічні (наприклад, питомі витрати вибухової речовини, витрати розхідних матеріалів).

4.2.5. Проєктування комутації блоку та засобів ініціювання

Сформовані заряди свердловин дають підстави для проєктування схеми комутації та розрахунку засобів ініціювання. Після цього обчислюються інтервали уповільнень для кожної свердловини та стосовно блоку в цілому.

Процес розрахунку засобів ініціювання блоку може базуватись як на використанні класичних систем комутації, так і на сучасних електричних засобах. При першому способі використовується функція автоматичної побудови ліній комутації, що значно пришвидшує роботу проєктувальника. Вона дозволяє застосовувати шаблони ліній комутації з різним сповільненням для комбінації їх в проєкті. Під час проєктування враховуються спарені свердловини, будуються дублюючі лінії, а також додаються умовні позначення, що допомагають в оформленні звітної документації. Створені у такий спосіб, схеми комутації об'єднуються в єдину мережу масового вибуху (рис. 4.15).

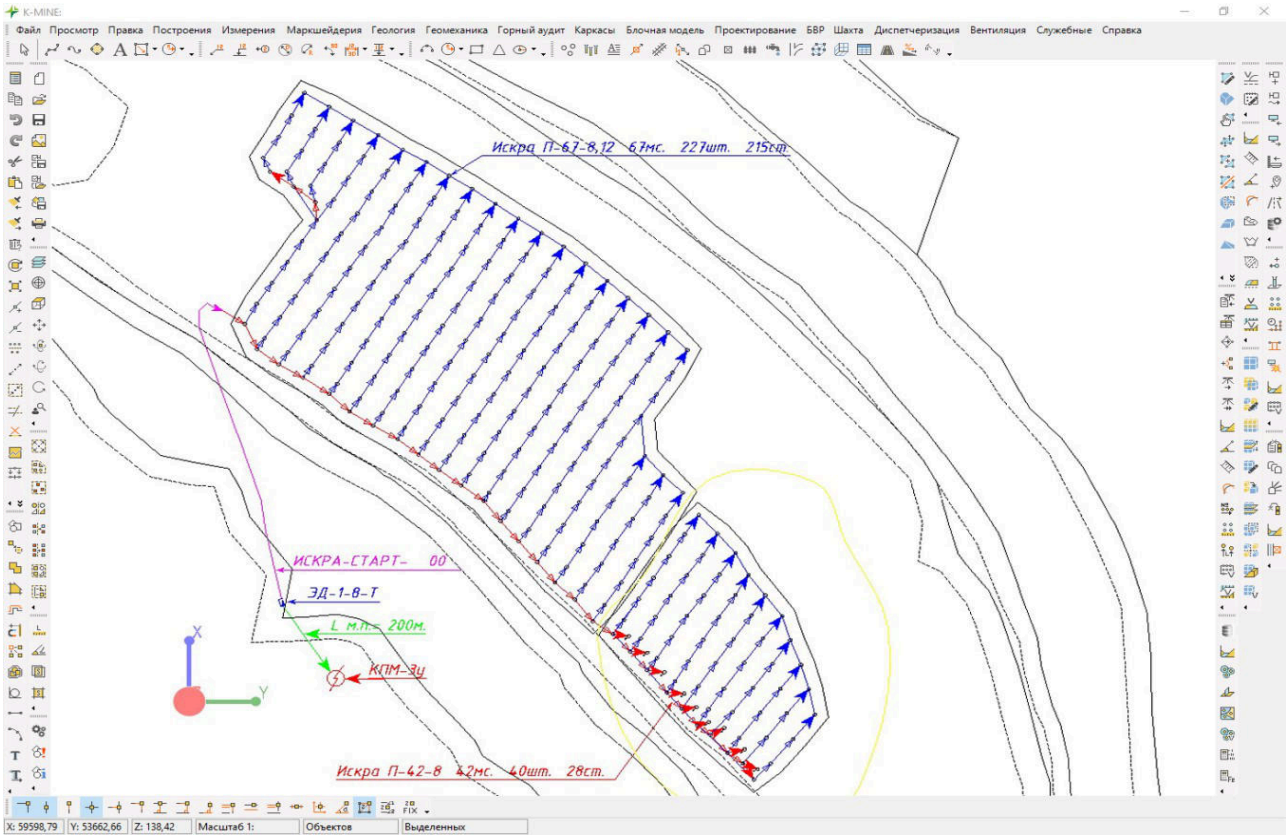


Рис. 4.15. Схема комутації блоку

Програмний модуль буропідривних робіт в K-MINE також містить низку спеціальних функцій розрахунку сповільнень при використанні електронних засобів ініціювання. Тут наявні функції розрахунку сповільнень за заданою траєкторією, в динамічному режимі, за рядами та іншими способами (рис. 4.16).

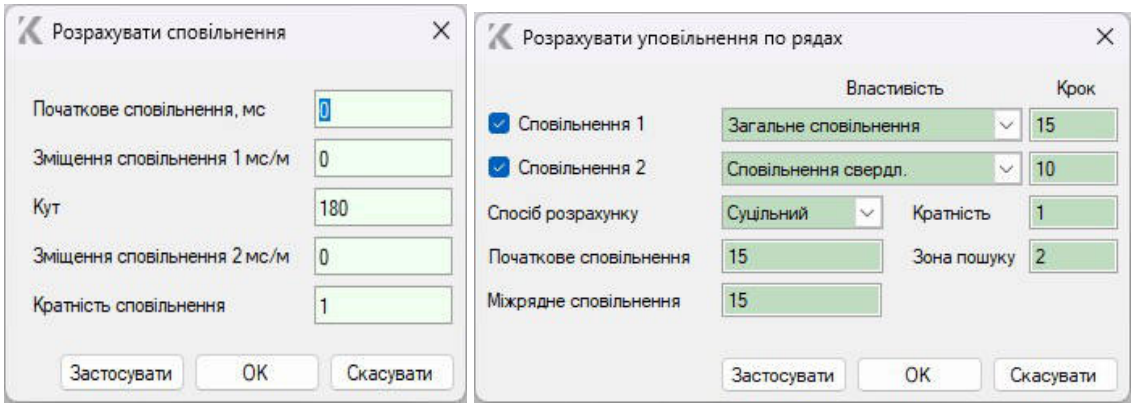


Рис. 4.16. Функції розрахунку сповільнень при використанні електронних засобів ініціювання

Створений в K-MINE проєкт на ініціювання блоку експортується в програматор електронної системи ініціювання, який безконтактним способом задає сповільнення свердловин за допомогою радіозв'язку за особливим протоколом. Програмування свердловин, таким чином, може здійснюватися оператором, який безпосередньо перебуває на блоці, або віддалено шляхом використання безпілотного літального апарату (рис. 4.17). Електронні системи ініціювання значно скорочують час на підготовку блоку та дають змогу витримати точні інтервали ініціювання свердловин, що оптимізує енергію вибуху та зменшує сейсмічний вплив.



Рис. 4.17. Програмування електронних детонаторів

Під час проєктування здійснюється систематичний контроль правильності з'єднання мережі комутації. Під час зміни параметрів проєкту в автоматичному режимі перераховуються сповільнення. Крім того, для перевірки коректності комутації виконується створення ліній відбійки та моделюється внутрішньоблокова детонація. Для візуального контролю правильності вибору свердловинних сповільнювачів та внутрішньоблокової комутації використовується функція мультиплікаційного моделювання процесів підривання свердловин та поширення вибухових хвиль у масиві порід (рис. 4.18).

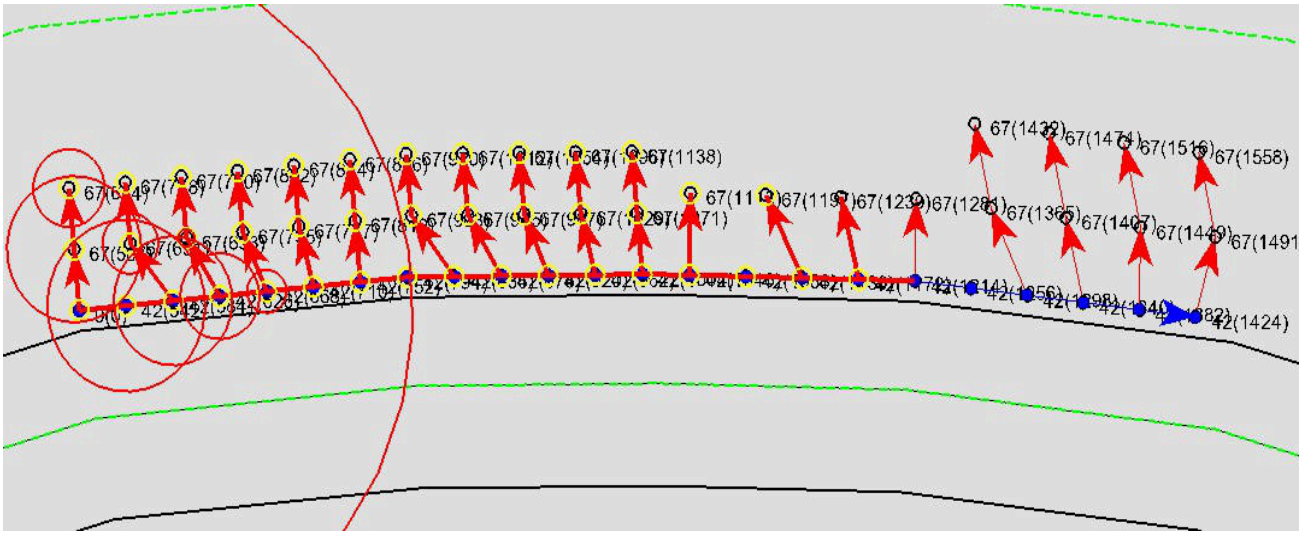


Рис. 4.18. Моделювання процесу ініціювання вибухових свердловин

Вона дозволяє визначити місця можливого підбою (руйнування породного масиву) в свердловині до спрацювання її сповільнювача. В цьому випадку місця можливого неспрацювання підривання свердловин позначаються спеціальними кольоровими маркерами.

4.2.6. Формування звітності на масовий вибух

Базуючись на проєктах буріння та підривання окремих блоків, в програмі формується звітність з масового вибуху. На підставі цих даних виконуються розрахунки та встановлюються зони безпеки щодо розльоту шматків порід, акустичної та сейсмічної дії вибуху на породний масив і навколишнє середовище, контролюються в динаміці процеси комутації кожного окремого блоку у взаємодії з іншими для визначення можливих підбоїв, розраховуються контури безпеки та позиції розміщення охоронних постів (рис. 4.19).

Доволі велику частину роботи інженера під час проєктування БВР займає оформлення звітної документації, починаючи від графічної частини та закінчуючи табличними та текстовими документами відповідно до встановленого зразка. Для вирішення питань автоматизованого створення звітних документів K-MINE містить вбудований редактор звітів.

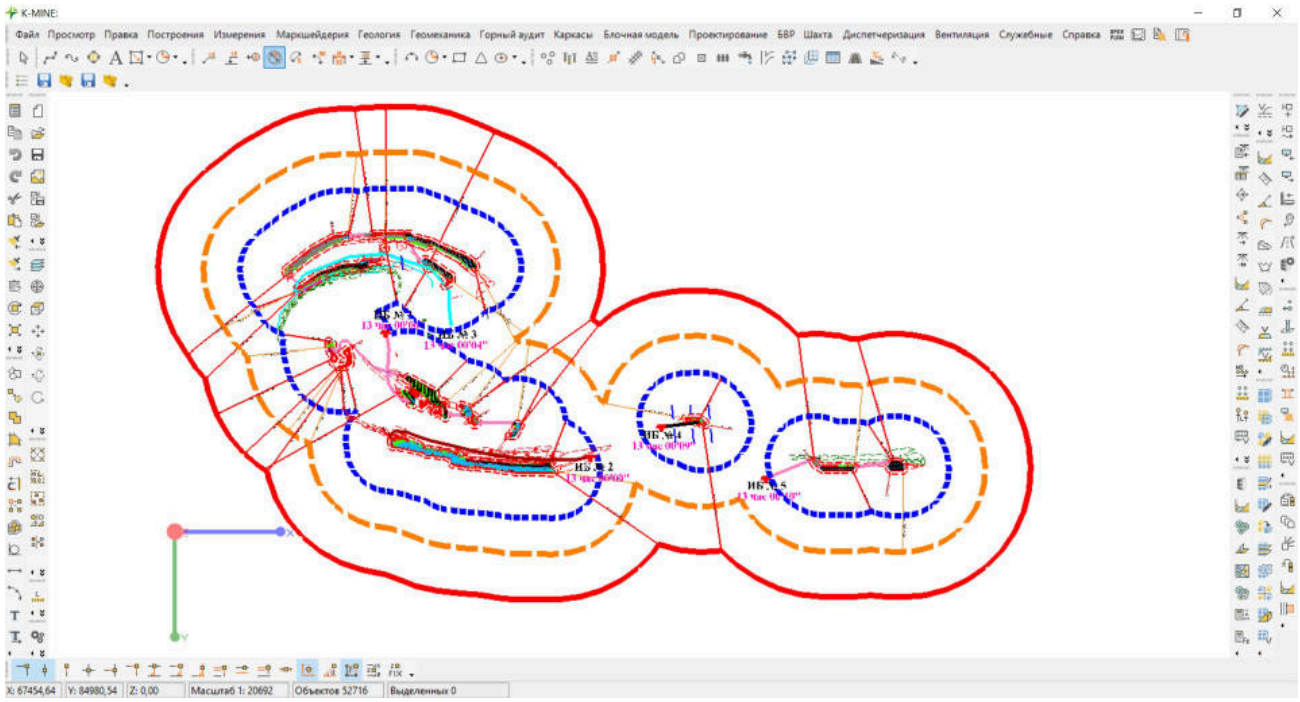


Рис. 4.19. Створення зон безпеки

Даний редактор дозволяє автоматично виводити сформовані дані за свердловинами, виконувати групування та фільтрацію, робити додаткові розрахунки, наприклад, підсумкових даних, формувати комбіновані звіти та друкувати документацію або зберігати її в інших форматах. В результаті в автоматизованому режимі формується пакет звітної документації на масовий вибух (рис. 4.20).

4.2.7. Обмін даними зі змішувально-зарядними машинами

Після підготовки всіх необхідних документів на проведення вибухових робіт виконується заряджання бурового блоку. На цьому етапі з метою пришвидшення процесу заряджання свердловин та уникнення помилок K-MINE забезпечує двосторонню інтеграцію зі змішувально-зарядними машинами (ЗЗМ). Загальна структура процесу обміну даними із ЗЗМ наведена на рис. 4.21.

ПОГОДЖЕНО:
Відповідальний керівник МВ

_____А.М. Лисицін

Таблиця розрахунку свердловинних зарядів

блок № 999 горизонт № 555

дата проведення МВ:

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Заст. нач. кар'єра
з виробництва та планування

_____О.О. Грибенников

№ свердловини	Діаметр свердловини, м	Висота уступу, м	Глибина свердловини, м		Висота стовпа води, м	ЛСПП, м	Відстань між рядами, м	Відстань між свердловинами, м	Питома витрата ВР, кг/м3		Вага заряду, кг		Довжина заряду, м		Довжина забійки, м		Тип ВР	Радіус розльоту, м	Конструкція заряду	Конструкція забійки
			П	Ф					Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф				
1	2	3	4		5	6	7	8	9		9		11		12		13	14	15	16
Наступні ряди																				
0	0,253	15	18	18	0	10,5	6,5	6,5	0,839		1390		21,1		-3,1		1	зав.	9	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	зав.		0		зав.		зав.		0	зав.		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	зав.		0		зав.		зав.		0	зав.		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	зав.		0		зав.		зав.		0	зав.		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	зав.		0		зав.		зав.		0	зав.		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	зав.		0		зав.		зав.		0	зав.		
0	0,253	15	18	18	0	10,5	6,5	6,5	0		0						0			
Всього: 2 св.			36	36							**1390**									
Завал.: 5 св.																				

Тип ВР	Найменування	Розр. кг	Факт, кг
1	Емоніт	0	
2	Емоніт Н-100	0	

№ констр. заряду	2	3	14	17	23
Кількість	0	0	0	0	0

№ констр.забійки	2	3	5	6
Кількість	0	0	0	0

Глибина свердловин розр. Lрозр. = 36 м

Глибина свердловин факт. Lф. = 36 м

Радіус розльоту осколків max = зав. м

Коефіцієнт заповнення max = 1,172

ПФП = 0

Пров. інженер технічного відділу по БВР В.В. Вишневський

Дільничний маркшейдер

ПОГОДЖЕНО:
Відповідальний керівник МВ

_____М.М. Лисицин

Таблиця корегувального розрахунку свердловинних зарядів

блок №999 горизонт555

дата проведення МВ:

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Заст. нач. кар'єра
з виробництва та планування

_____О.О. Грибенников

№ свердловини	Діаметр свердловини, м	Висота уступу, м	Глибина свердловини, м		Висота стовпа води, м	ЛОПП, м	Відстань між рядами, м	Відстань між свердловинами, м	Питома витрата ВР, кг/м3		Загальна вага заряду, кг		Вага нижнього заряду, кг		Вага верхнього заряду, кг		Довжина заряду, м		Довжина забійки, м		Тип ВР	Радіус розльоту уламків, м	Конструкція заряду	Конструкція забійки
			П	Ф					Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф				
1	2	3	4		5	6	7	8	9		10		11		12		13		14		15	16	17	18
Наступні ряди																								
	0,253	15	18	18	0	10,5	6,5	6,5	0,839		1390		1190		200		21,1		-3,1		1	зав.	9	
	0	0	0	0	0	0	0	0	зав.		0		0		0		зав.		зав.		0	зав.		
	0	0	0	0	0	0	0	0	зав.		0		0		0		зав.		зав.		0	зав.		
	0	0	0	0	0	0	0	0	зав.		0		0		0		зав.		зав.		0	зав.		
	0	0	0	0	0	0	0	0	зав.		0		0		0		зав.		зав.		0	зав.		
	0	0	0	0	0	0	0	0	зав.		0		0		0		зав.		зав.		0	зав.		
	0,253	15	18	18	0	10,5	6,5	6,5	0		0		0		0						0			
Всього: 2 св.			36	36							**1390**		**1190**		**200**									
Завал.: 5 св.																								

Тип ВР	Найменування	Розр. кг	Факт, кг
1	Емоніт	0	
2	Емоніт Н-100	0	

№ констр. заряду	2	3	14	17	23
Кількість	0	0	0	0	0

№ констр.забійки	2	3	5	6
Кількість	0	0	0	0

Глибина свердловин розр. Lрозр. = 36 м

Глибина свердловин факт. Lф. = 36 м

Радіус розльоту уламків max = 0 м

Коефіцієнт заповнення max = 1,172

Пров. інженер технічного відділу по БВР Н.Т. Фоменко

Дільничний маркшейдер О.В. Видибура

Рис. 4.20. Приклад звітної документації масового вибуху



Рис. 4.21. Структура процесу обміну даними зі змішувально-зарядними машинами

Дані, що отримуються інженером після заряджання стосовно кожної свердловини та блоку із ЗЗМ:

- номер ЗЗМ;
- номер масового вибуху;
- горизонт, на якому розташований блок;
- номер блоку;
- номер свердловини;
- кількість та тип ВР.

Крім цього формується загальна інформація щодо блоку: проєктна кількість ВР у ЗЗМ для конкретного блоку та фактично заряджена кількість ВР для конкретного блоку.

Дані передаються як у режимі on-line на сервер системи, так і після закінчення робіт із заряджання з фізичних «носіїв» інформації. Забезпечення функціоналу щодо інтеграції із ЗЗМ здійснюється за допомогою мобільного додатка, який використовується безпосередньо оператором машини на

планшеті промислового виконання (рис. 4.22). Такий підхід дає змогу максимально оперативно отримати необхідну інформацію в ході технологічного процесу заряджання бурового блоку.



Рис. 4.22. Інтеграція зі змішувально-зарядними машинами за допомогою мобільного додатку

4.2.8. Контроль гранулометричного складу гірничої маси

Важливим етапом під час буропідривних робіт є можливість аналізу результатів проведення вибуху. Одним з основних показників результативності є належна фрагментація гірничої маси. K-MINE має вбудований функціонал оцінки гранулометричного складу, який базується на фотопланометричному методі (рис.4.23).

Цей інструмент може бути використаний для обробки знімків, зроблених за допомогою дрону (БПЛА). Таким чином, надається можливість виконання аналізу розподілу гірничої маси по фракціях як на ділянках в кар'єрі, так і на складах гірничої маси, тимчасового зберігання гірських порід і в будь-яких важкодоступних для людини місцях.

Розпізнавання крупності шматків гірничої маси може виконуватися як і автоматичному, так і в ручному режимі обробки. За допомогою налаштування

фільтрів надається можливість автоматичного розпізнавання граней шматків гірничої маси, враховуючи освітлення.

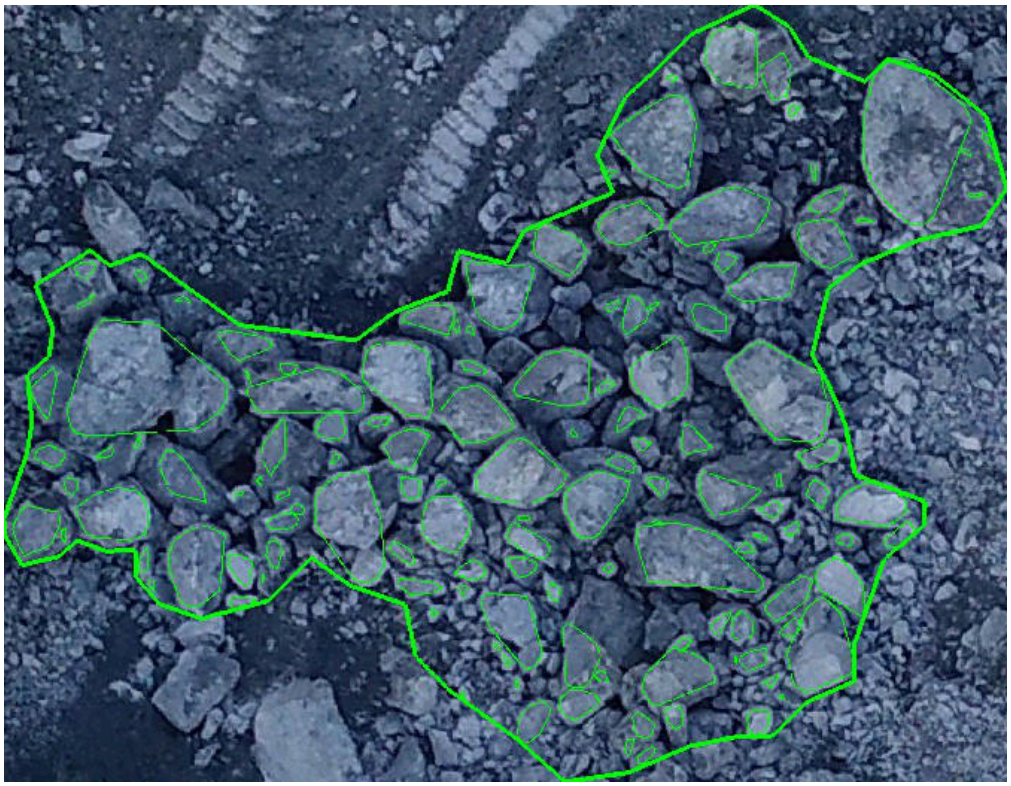


Рис. 4.23. Визначення гранулометричного складу підірваної гірничої маси

За необхідності використовується ручне коригування результатів автоматичного розпізнавання, що дозволяє гнучкіше використовувати можливості даного модуля. Таким чином, виконання робіт з визначення гранулометричного складу гірських порід у середовищі K-MINE передбачає формування звіту з розподілом розпізнаної гірничої маси за фракціями. Дані у звіті подаються як у табличному, так і у графічному вигляді (рис. 4.24).

У модулі визначення гранулометричного складу реалізовано систему зберігання даних, яка дозволяє виконувати їх структурування для безлічі виконаних аналізів гранулометричного складу гірничої маси під час буропідривних робіт. У разі потреби для прийняття рішення доступна можливість згенерувати звіт з будь-якої зйомки для ознайомлення з якістю вибуху в конкретних умовах. Накопичення та аналіз цієї інформації сприятиме систематичному поліпшенню ведення буропідривних робіт у кар'єрі в цілому.

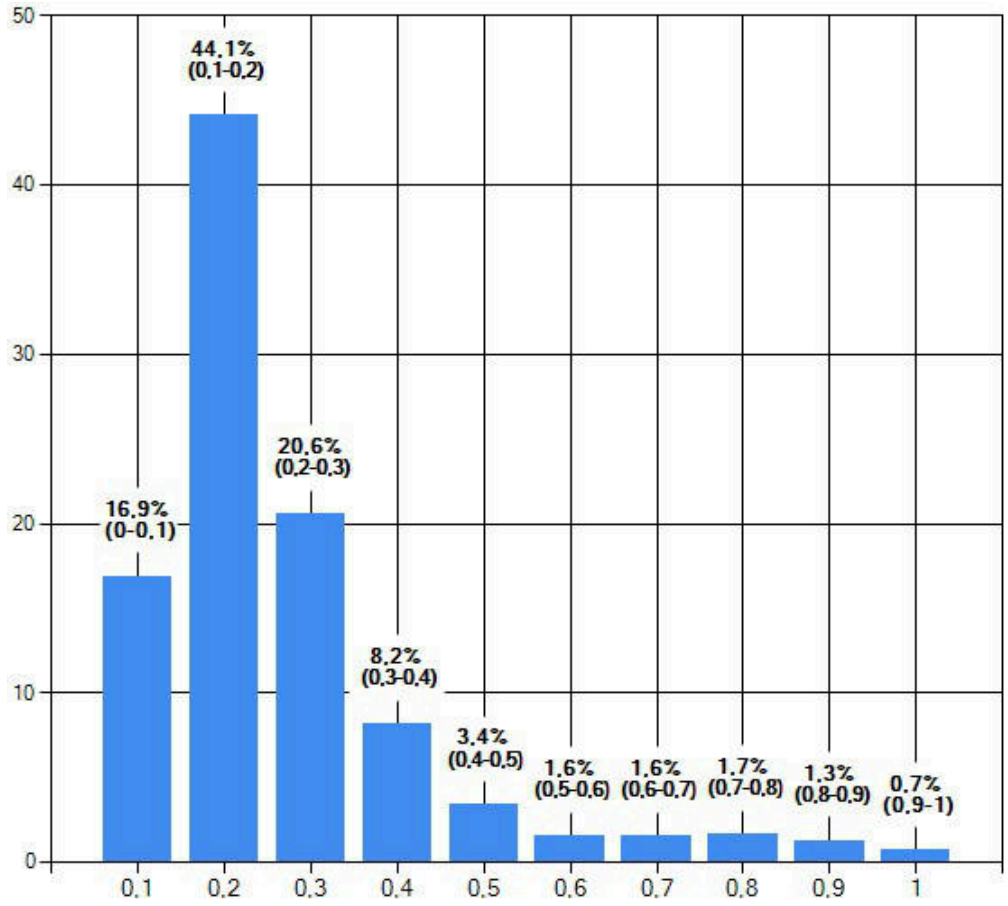


Рис. 4.24. Гістограма розподілу гранулометричного складу

Застосування модуля для визначення гранулометричного складу дозволяє провести аналіз виконаних буропідривних робіт та вжити заходів для одержання заданого розміру фракції гірничої маси. Отже, завдяки цьому підходу проводиться регулярний контроль та забезпечується підвищення якості буропідривної підготовки гірничої маси.

В підсумку можна зробити висновок, що використання системи для проєктування буропідривних робіт для кар’єрів на базі K-MINE надає наступні переваги: зменшує в кілька разів витрати часу на виконання операцій зі створення проєктів та звітної документації на буріння та підривання гірничої маси, тим самим покращуючи продуктивність праці; підвищує точність та надійність гірничотехнічних розрахунків та безпеку ведення гірничих робіт; покращує контроль за веденням технологічних процесів за рахунок зниження впливу людського фактору.

4.3. Проєктування буропідривних робіт з використанням сучасного гірничо-геологічного програмного забезпечення на прикладі Micromine Beyond

Робочий процес проєктування БВР з використанням новітнього спеціалізованого програмного забезпечення можна описати у вигляді наступної послідовності:

1. Створення та налаштування проєкту БВР.
2. Побудова (імпорт) контурів блоків БВР.
3. Створення схеми БВР та налаштування параметрів.
4. Коригування схеми БВР.
5. Створення бібліотеки витратних матеріалів.
6. Розрахунок заряду та схеми ініціювання.
7. Розрахунок зміщення внаслідок вибуху.
8. Експорт проєкту БВР у базу даних свердловин або формат IREDES.
9. Підготовка підсумкового звіту та наряду БВР (паспорту на буріння).

Основними вихідними даними для проєктування БВР є зйомка топоповерхні кар'єру та контури блоків, які плануються для БВР. Також необхідними є параметри схеми БВР, свердловин, витратних матеріалів та ін.

Інструменти для проєктування БВР розташовуються у двох розділах меню: Проєктування БВР та Зарядка, як показано нижче.

Вигляд інструментарію для проєктування БВР на моніторі в системі Micromine Beyond наведено на рис. 4.1. Короткий опис інструментів зображено у табл. 4.1.

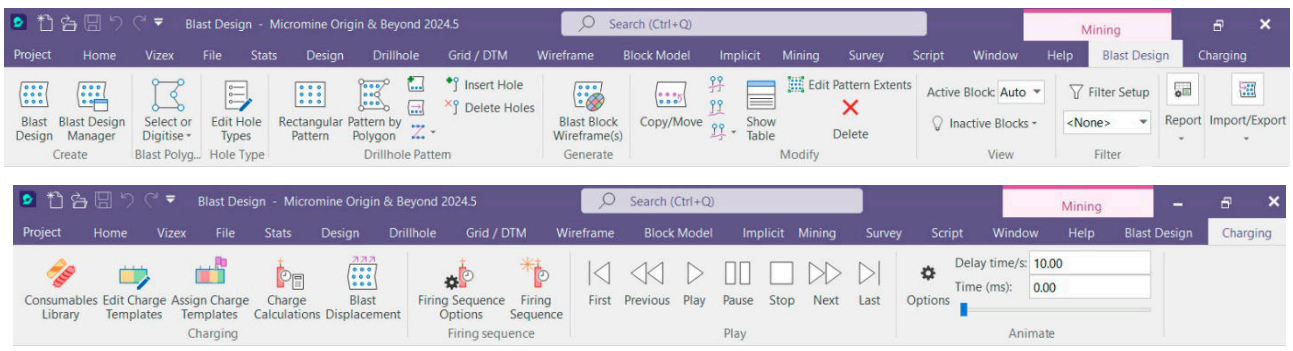
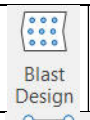
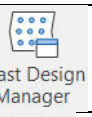
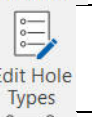
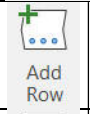
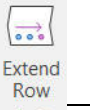
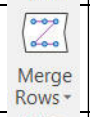
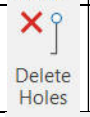
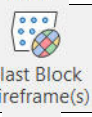
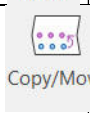
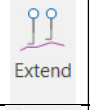
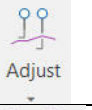
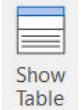
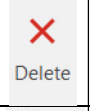
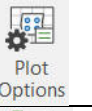
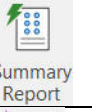
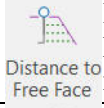
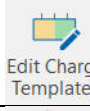
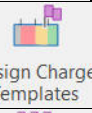
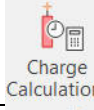
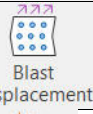


Рис. 4.1. Інструментарій для проєктування БВР на моніторі в системі Micromine Beyond

Таблиця 4.1. Інструменти для проєктування БВР в системі Micromine Beyond

	**Проєктування БВР** Створити і вивести для перегляду поверхневі буропідривні свердловини		**Управління проєктом БВР** Відкрити Провідник баз даних буропідривних свердловин
	**Вибрати або оцифрувати полігони** Імпортувати вибрані або оцифровані полігони у проєкт БВР		**Редагувати типи свердловин** Створити і редагувати типи свердловин та їхні властивості
	**Прямокутна схема** Створити буропідривні свердловини в межах блоку		**Схема по полігону** Створити буропідривні свердловини в межах полігону
	**Додати ряд** Додати ряд свердловин у блоці БВР		**Продовжити ряд** Додати буропідривні свердловини на початку і у кінці ряду
	**Об'єднати ряди** Об'єднати ряди свердловин в межах одного блоку БВР.		**Додати свердловину** Вставити або приєднати свердловину до ряду
	**Видалити свердловини** Видалити свердловини з обраних об'єктів проєкту БВР		**Каркас(и) вибухового блоку** Створити каркаси на основі обраного полігону БВР
	**Копіювати/Перемістити** Копіювати або перемістити свердловину або ряд на визначену відстань		**Обрізати** Обмежити довжину свердловин БВР з використанням каркасу
	**Продовжити** Подовження свердловин БВР з використанням каркасу		**Виправити** Подовжити або обрізати свердловини, використовуючи опорний каркас
	**Показати таблицю** Показати/приховати вікно зі списком свердловин БВР по блоку		**Редагувати границі сітки** Обрати сітку БВР для редагування меж
	**Видалити** Видалити об'єкт проєкту БВР		**Параметри креслення** Вибрати типи свердловин і зведені звіти, які увійдуть до їх креслень
	**Створення креслення** Створити файл креслення проєкту БВР		**Зведений звіт** Створити зведені звіти для бази даних, блоків і свердловин
	**Відстань до поверхні** Розрахувати відстань свердловини до поверхні		**Імпорт даних** Імпортувати дані у активний проєкт БВР
	**Імпорт з IREDES** Імпортувати дані свердловин у форматі IREDES		**Експорт в IREDES** Експортувати свердловини БВР у формат IREDES або CSV
	**Експорт у базу даних свердловин** Перетворити проєкт БВР на базу даних свердловин		**Бібліотека витратних матеріалів** Визначити перелік вибухових речовин, детонаторів, бойовиків, уповільнення
	**Редагувати шаблони заряду** Створити/редагувати шаблони з різними витратними матеріалами		**Призначити шаблон заряду** Призначити шаблон заряду для вибраних свердловин
	**Розрахунок заряду** Розрахувати довжину заряду і забійки		**Зміщення при БВР** Змоделювати зміщення при вибухах
	**Параметри схеми ініціювання** Налаштувати поверхневі ініціатори і шаблони заряду		**Схеми ініціювання** Поєднати свердловини у схему ініціювання

Коротко кожний етап проєктування БВР виглядає наступним чином.

1. Створення та налаштування проєкту БВР (БД, параметри візуалізації).

Уся інформація щодо схем свердловин БВР зберігається у файлі проєкту БВР (для Micromine це файл формату*.mmbdf). При створенні нового проєкту необхідно вказати ім'я бази даних, яке може відповідати імені горизонту. Також потрібно визначити ім'я активного блоку та параметри візуалізації активного та неактивних блоків БВР: колір тип й товщину меж та підписи. Параметри свердловин дозволяють налаштувати відображення свердловин, їхньої траєкторії та підписи. Для схеми ініціювання можуть бути визначені колір ліній та підписів, а також відображення затримки (уповільнення) ініціювання зарядів.

2. Побудова (імпорт) контурів блоків БВР (рис. 4.25)

Створення вибухових блоків може відбуватися кількома способами:

- обрати полігон або полігони інтерактивно,
- створити полігон(и) за допомогою інструментів оцифровки,
- імпортувати файл з контурами блоків у проєкт БВР.

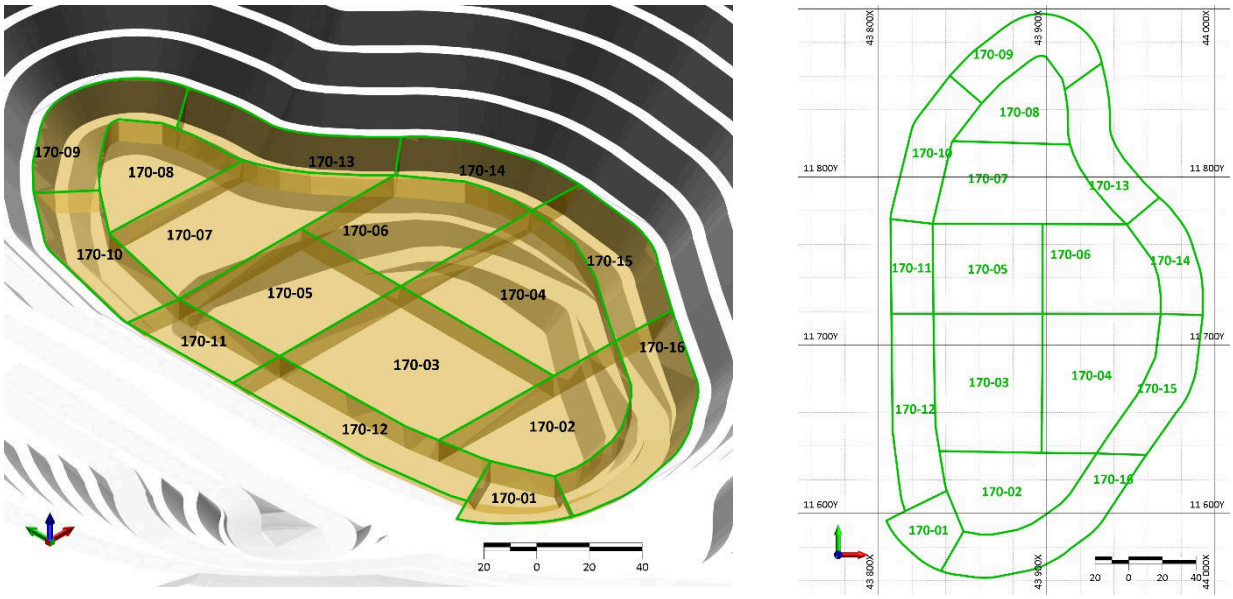


Рис. 4.25. Блоки БВР у тривимірному відображенні та у плані

На основі контуру можна створити каркас блоку БВР, визначивши також висоту уступу, за потреби визначити нижню і верхню поверхні горизонту, борт кар’єру або укіс уступу.

3. Створення схеми розташування свердловин на блоці та налаштування параметрів масового вибуху

Схему розташування свердловин на блоці можна створити за допомогою проєктування прямокутної схеми у межах виїмкового блоку (ділянки виконання вибухових робіт) або проєктування в межах полігону із визначенням опорної лінії для створення рядів свердловин. Інтерактивне визначення меж схеми розташування свердловин на блоці наведено на рис. 4.26.

Для встановлення параметрів схеми необхідне:

- визначення блоків: *X* та *Y* координати (верхнього лівого кута), кут повороту, кількість рядів та свердловин у ряді, напрямок рядів (паралельно осі *X* або *Y*) – тут доступні функції інтерактивного визначення меж у вікні карти та попередній перегляд схеми із заданими параметрами;

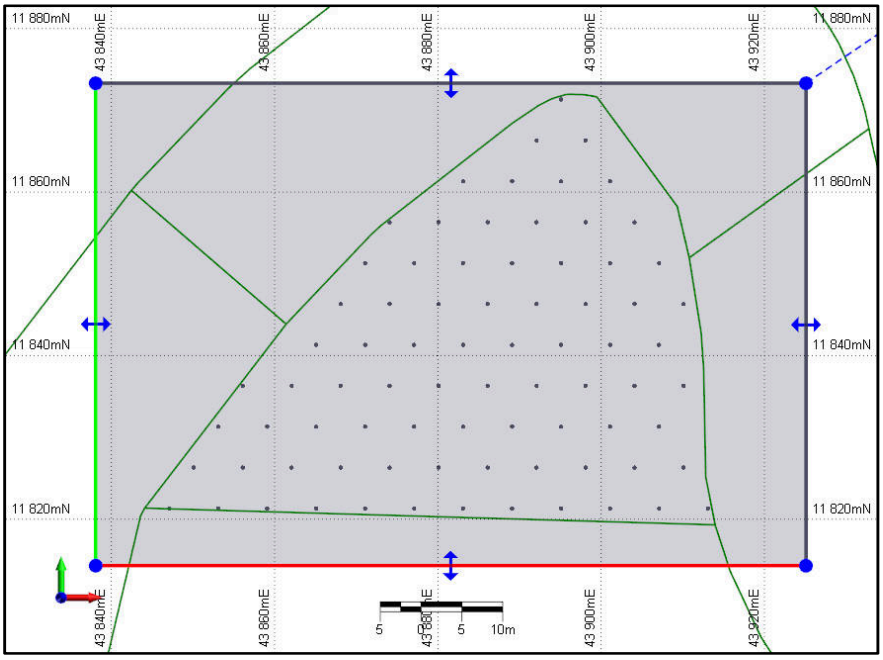


Рис. 4.26. Інтерактивне визначення меж схеми розташування свердловин на блоці

- створення схеми розташування свердловин: прямокутна, трикутна або в шаховому порядку з визначенням відстані між рядами свердловин та відстані між свердловинами в ряду, мінімальної відстані від межі, та автоматичним додаванням свердловин у ряді (рис. 4.27).

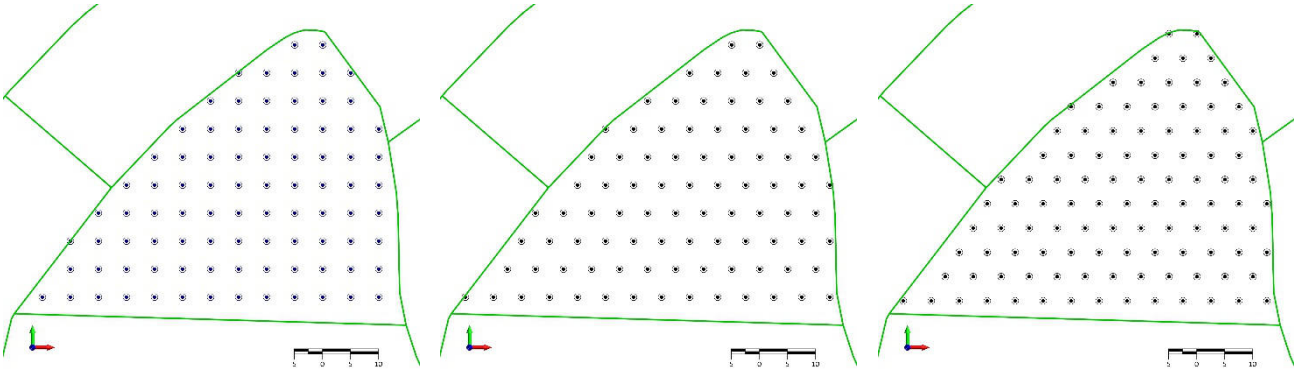


Рис. 4.27. Схеми розташування свердловин на блоці: прямокутна, у шаховому порядку та трикутна

Параметри схеми буропідривних свердловин на блоці наведено на рис. 4.28.



Рис. 4.28. Параметри схеми буропідривних свердловин

- визначення розташування свердловин: відмітка уступу або каркаси поверхні, каркас підошви для визначення глибини свердловин;
- визначення параметрів свердловин: глибина (визначена або до відмітки підошви уступу), перебур, азимут, нахил, діаметр, тип свердловини.

Тривимірне зображення буропідривного блоку зі свердловинами наведено на рис. 4.29.

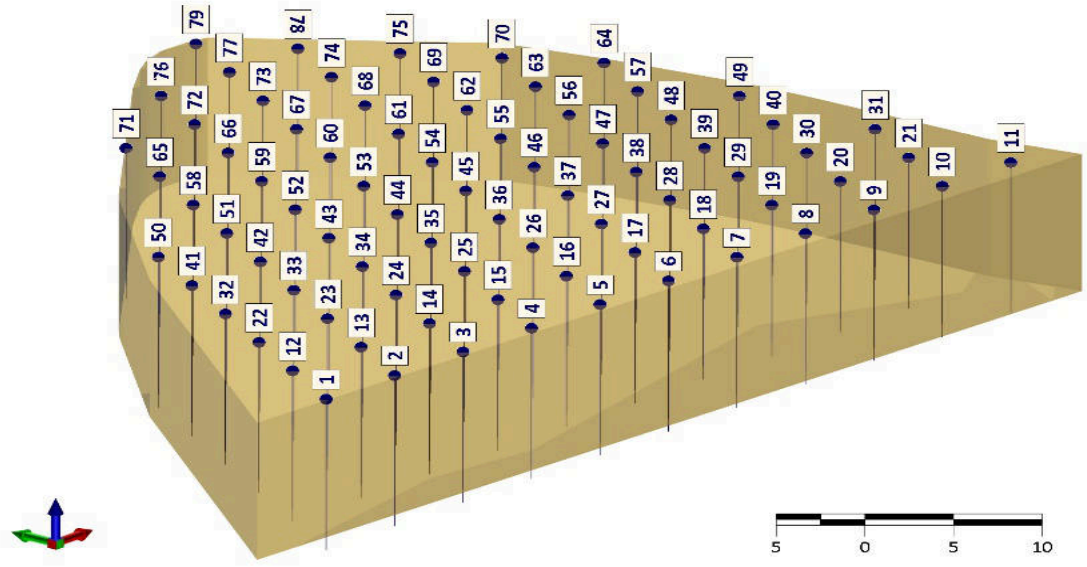


Рис. 4.29. Буропідривний блок із свердловинами в тривимірному зображенні

4. Коригування схеми буропідривних свердловин на блоці

За потреби, схема може бути скоригована з використанням інструментів редагування свердловин та їх рядів:

- коригування рядів свердловин: додавання, продовження та об'єднання рядів свердловин, додавання та видалення свердловин з рядів;
- редагування свердловин: переміщення, копіювання, обрізка, продовження, коригування по каркасу, висоті або топографії.

5. Створення бібліотеки витратних матеріалів

Бібліотека потрібна для управління витратними матеріалами, що використовуються при заряджанні свердловин та ініціюванні вибухових речовин. При її створенні можна визначити типи витратних матеріалів та їхні параметри, (табл. 4.2):

Таблиця 4.2

Типи витратних матеріалів та їхні параметри в бібліотеці

Назва	Назва	Густина (г/см)	Вартість ($/т, $/од.)	Діаметр (мм)	Вага (г)	Довжина (мм)	Затримка (мс)	Колір, символ (позначення)
Вибухова речовина без оболонки	✓	✓	✓	✓	-	-	-	✓
Патронована вибухова речовина	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	✓
Детонатор	✓	-	✓	-	-	✓	✓	✓
Бойовик	✓	-	✓	-	✓	-	-	-
Поверхневі ініціатори	✓	-	✓	-	-	-	-	✓
Інше	✓	✓	✓	-	-	-	-	✓

* Не усі параметри є обов'язковими

На рис. 4.30 наведено діалогові вікна бібліотеки витратних матеріалів

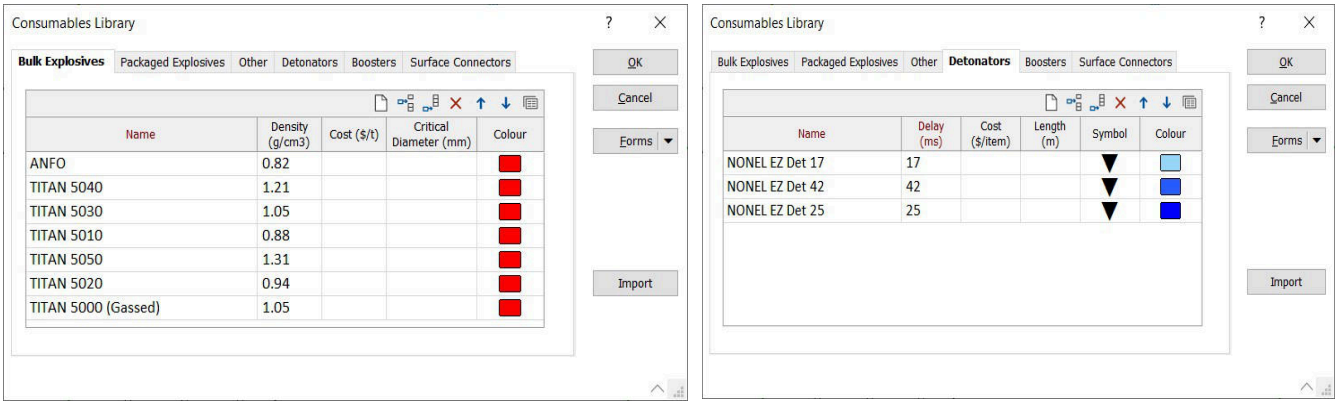


Рис. 4.30. Діалогові вікна бібліотеки витратних матеріалів

Базу даних витратних матеріалів може бути проімпортовано. Наприклад, для підприємства створюється стандартна база даних витратних матеріалів, яка використовуватиметься для різних проєктів, ділянок тощо.

6. Налаштування параметрів (шаблонів) заряду та присвоєння їх свердловинам

Налаштування параметрів заряджання свердловин виконується із

застосуванням даних бібліотеки витратних матеріалів. Якщо в проєкті БВР використовуються однакові параметри заряду для свердловин, доцільно створити шаблон або шаблони заряду.

Шаблон заряду має два основних розділи (рис. 4.31):

- вибухові речовини та інше, котрі наділені обов'язковими параметрами: елемент та довжина;
- патрони-бойовики з параметрами уповільнення та глибина їх заряджання.

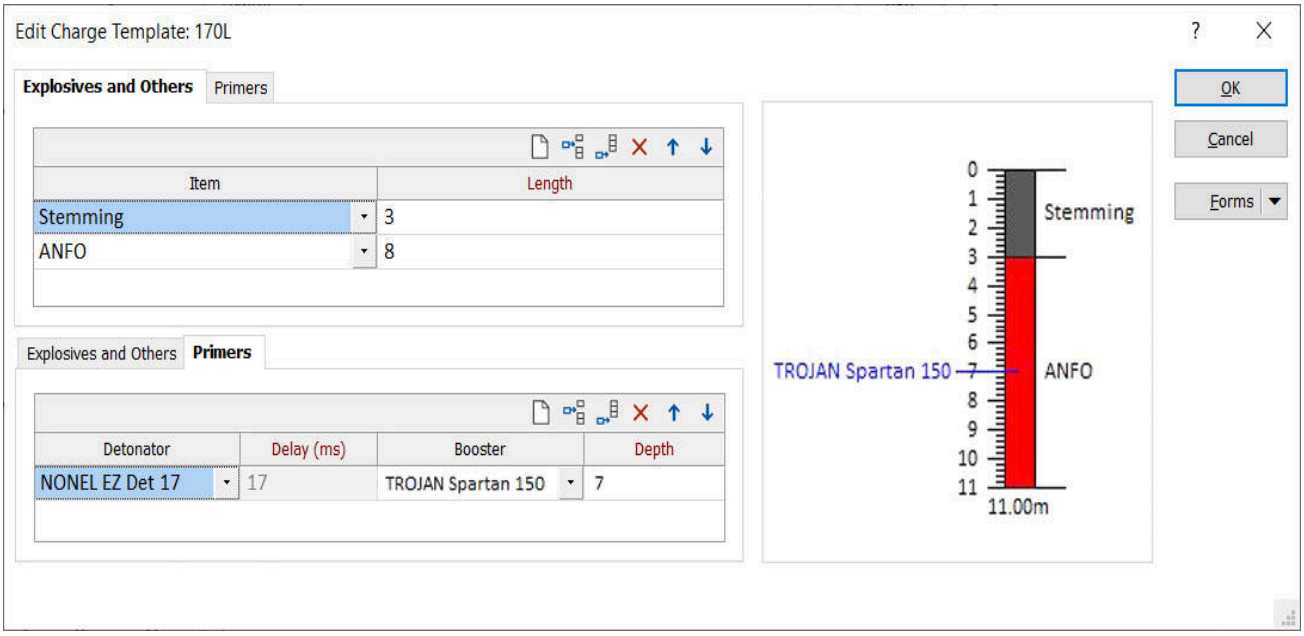


Рис. 4.31. Діалогове вікно створення шаблона заряду

Після створення та налаштування шаблонів заряду їх потрібно присвоїти свердловинам, оскільки кожна з них мусить мати параметри заряду.

7. Розрахунок заряду

Обчислення базуються на питомих витратах вибухової речовини ($м^3/т$ гірської породи) і щільності заряджання, від яких залежить довжина заряду і забійки. Також може використовуватись постійна довжина забійки або заряду.

Тобто використовується один з трьох методів розрахунку, кожен з яких потребує визначення відповідних параметрів:

- розрахунок довжини заряду;
- постійна довжина забійки;
- постійна довжина заряду.

В результаті розраховується величина заряду та забійки для кожної свердловини, що можна перевірити у відповідному звіті (рис. 4.32).

Report Viewer - Report BVR.RPT

Quick Filter

HOLE	BLOCK	FROM	TO	CODE	EXPLOSIVE WEIGHT
15	170_08	0.00	3.00	Stemming	0.00
15	170_08	3.00	11.00	ANFO	119.04
16	170_08	0.00	3.00	Stemming	0.00
16	170_08	3.00	11.00	ANFO	119.04
17	170_08	0.00	3.00	Stemming	0.00
17	170_08	3.00	11.00	ANFO	119.04
18	170_08	0.00	3.00	Stemming	0.00
18	170_08	3.00	11.00	ANFO	119.04
19	170_08	0.00	3.00	Stemming	0.00

Рис. 4.32. Звіт з розрахунку заряду та забійки

8. Схеми ініціювання

Для налаштування схеми ініціювання необхідно обрати поверхневий ініціатор з бібліотеки витратних матеріалів, а також поєднати свердловини у схему в певній послідовності. Внаслідок цього буде створено схему з визначеною послідовністю ініціювання (підриву) свердловин та уповільненням ініціювання групи зарядів на блоці (рис. 4.33).

Для візуального тестування схеми ініціювання та перевірки порядку ініціювання свердловин можна скористатися спеціальним програвачем, налаштувавши швидкість анімації (рис. 4.34).

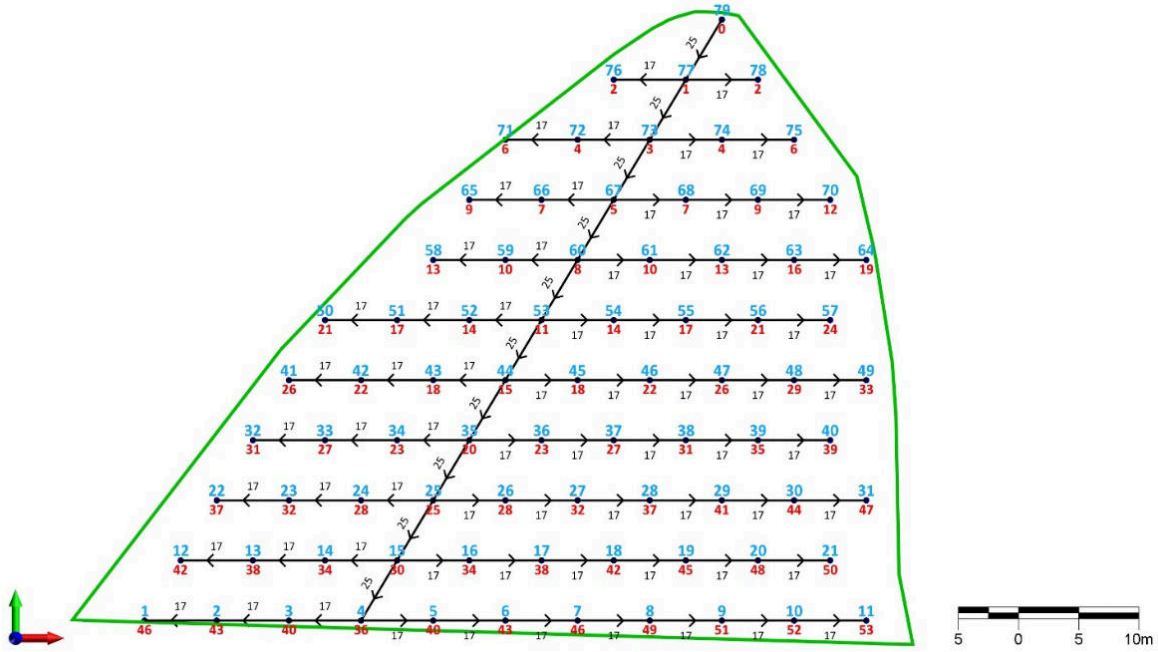


Рис. 4.33. Схема ініціювання зарядів з нумерацією свердловин та послідовністю підриву

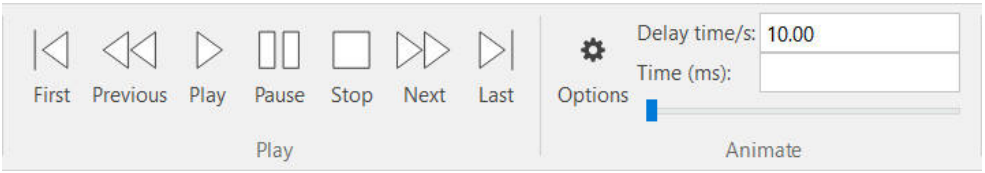


Рис. 4.34. Програвач, за допомогою якого налаштовується швидкість анімації для візуального тестування схеми ініціювання

9. Розрахунок параметрів розвалу гірських порід внаслідок вибуху

Дана функція в «Micromine Beyond» дозволяє уявити який вигляд матиме розвал гірських порід після вибуху. Цю інформацію можна використовувати при подальшому проєктуванні БВР для мінімізації розвалу подрібненої гірничої маси і розубожіння корисної копалини під час наступних вибухів.

Для розрахунку параметрів розвалу використовуються координати спеціальних маркерів до і після вибуху. В результаті створюються зміщені контури та вектори зміщення (рис. 4.35).

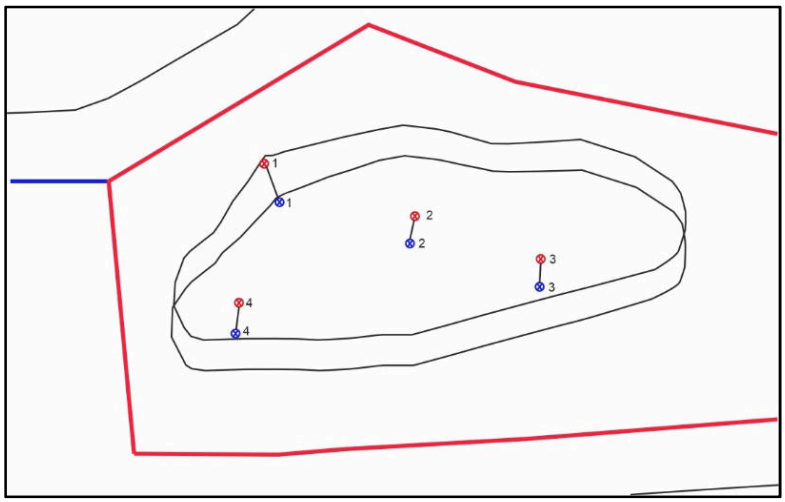


Рис.4.35. Контур буропідривного блоку до і після вибухових робіт та вектор зміщення

10. Експорт проєкту БВР у базу даних свердловин або формат IREDES

Дані проєкту БВР можуть бути проекспортовані у базу даних свердловин зі стандартною структурою, включаючи файл інтервалів із зарядом та забійкою (рис. 4.36). Туди ж в подальшому можна додавати, наприклад, результати опробування, у випадках, коли свердловини БВР використовуються також для експлуатаційної розвідки.

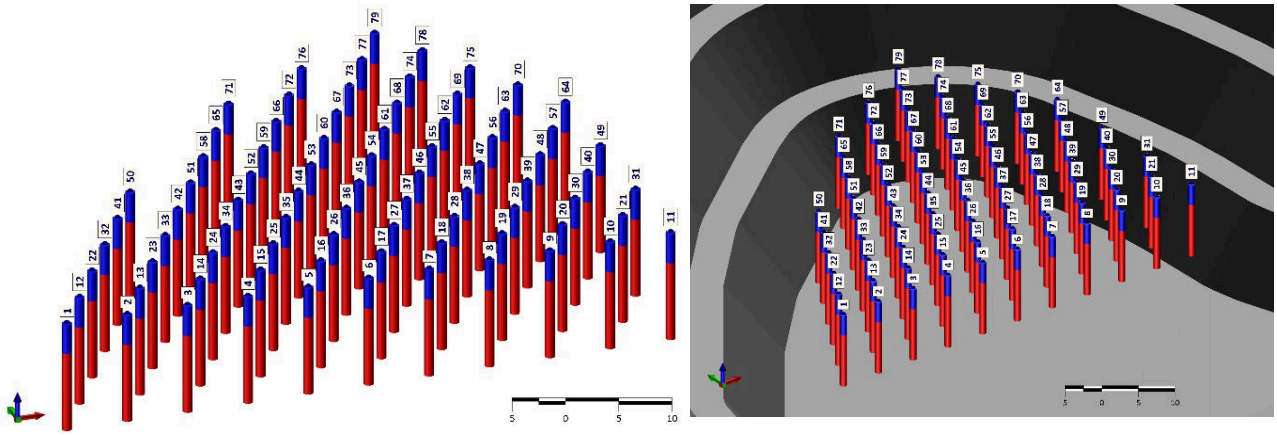


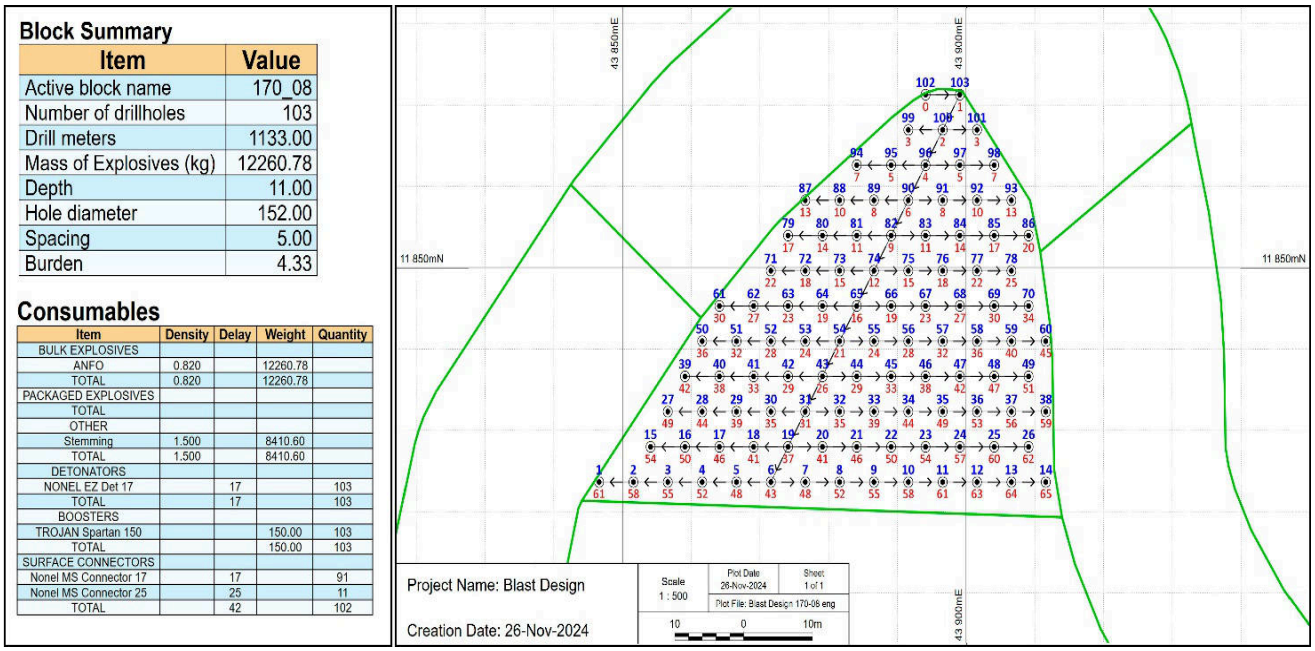
Рис. 4.36. Експорт бази даних свердловин у формат *IREDES*

Крім того, дані для буріння можуть експортуватися у формат *IREDES (International Rock Excavation Data Exchange Standard)*, який є світовим стандартом при обміні даними з буровим та іншим обладнанням.

11. Підготовка підсумкового звіту та наряду БВР (паспорта на буріння)

На основі проєкту БВР може бути створений підсумковий звіт щодо блоку (рис. 4.37), бази даних, витратних матеріалах. Він може містити дані про кількість свердловин, обсяги буріння, глибину, діаметр, параметри мережі, кількість (та вартість) витратних матеріалів – вибухових речовин, забійки, детонаторів, бойовиків тощо.

Креслення з розташуванням свердловин БВР та усіма необхідними параметрами має широкі можливості щодо налаштувань та може використовуватись як паспорт на буріння.



Block Summary

Item	Value
Active block name	170_08
Number of drillholes	103
Drill meters	1133.00
Mass of Explosives (kg)	12260.78
Depth	11.00
Hole diameter	152.00
Spacing	5.00
Burden	4.33

Consumables

Item	Density	Delay	Weight	Quantity
BULK EXPLOSIVES				
ANFO	0.820		12260.78	
TOTAL	0.820		12260.78	
PACKAGED EXPLOSIVES				
TOTAL				
OTHER				
Stemming	1.500		8410.60	
TOTAL	1.500		8410.60	
DETONATORS				
NONEL EZ Det 17		17		103
TOTAL		17		103
BOOSTERS				
TROJAN Spartan 150			150.00	103
TOTAL			150.00	103
SURFACE CONNECTORS				
Nonel MS Connector 17		17		91
Nonel MS Connector 25		25		11
TOTAL		42		102

Рис. 4.37. Підсумковий звіт проєкту БВР

4.4. Проєктування буропідривних робіт із застосуванням системи гірничо-геологічного моделювання в Geovia Surpac

Модуль «Проєктування БПР» в Geovia Surpac (рис. 4.38) дає можливість створювати проєкти бурових робіт, базу даних свердловин певної сітки та різних параметрів, моделювати параметри їх заряджання та комутацію блоку і зберігати у створеній базі. Даний модуль також дозволяє взаємодіяти з базами даних для імпорту/експорту інформації.

Свердловини в даному програмному середовищі можуть створюватися різними способами – всередині зазначеної прямокутної межі, вздовж сегмента та/або у прямій лінії між двома будь-якими точками у просторі графічного вікна системи.

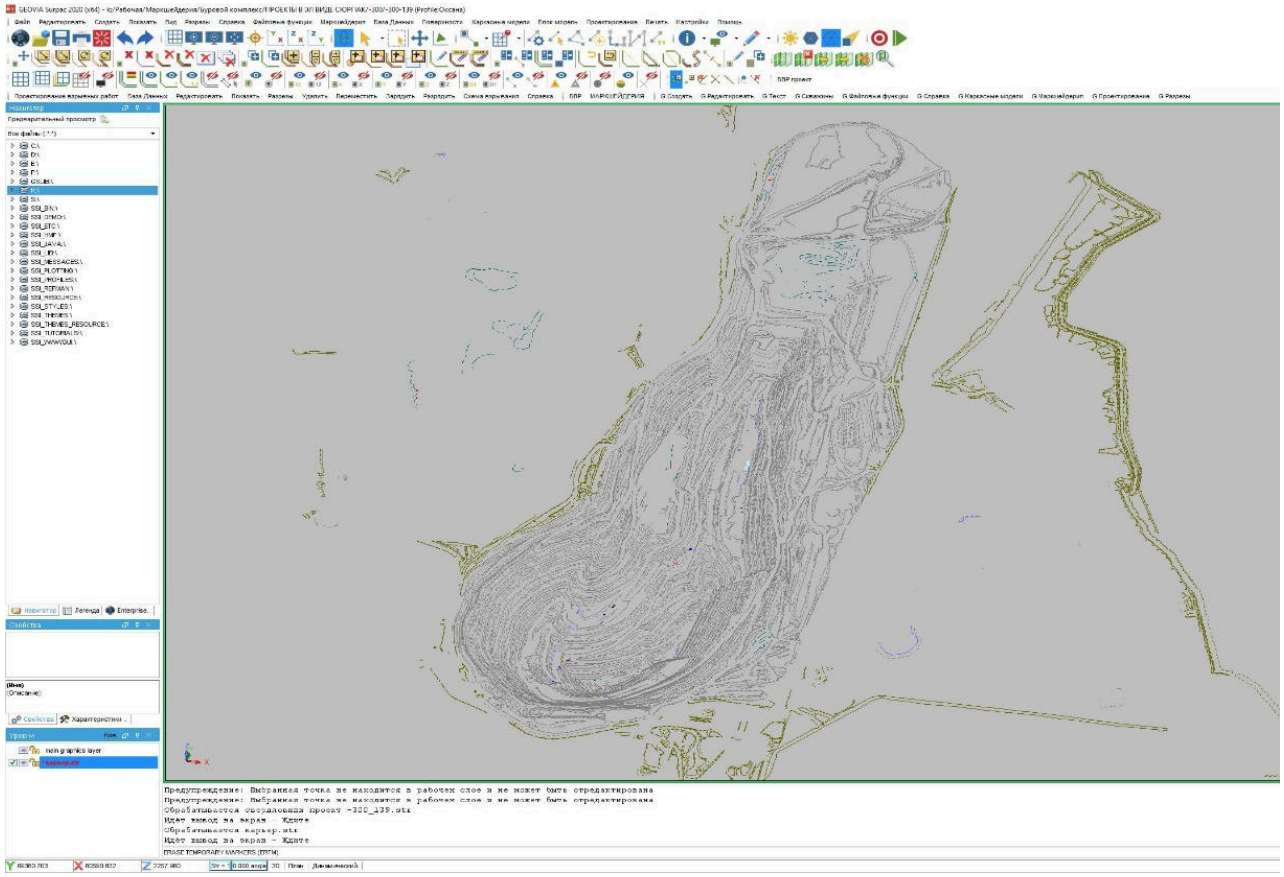


Рис. 4.38. Модуль «Проєктування БПР»

Для проєктування буропідривних робіт в Geovia Surpac необхідна наступна вихідна інформація.

1. Маркшейдерська зйомка фактичного положення гірничих робіт (рис. 4.39).

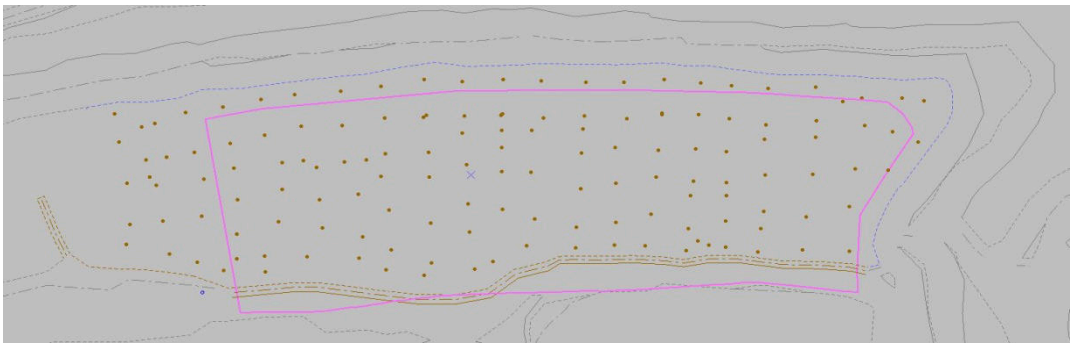


Рис. 4.39. Маркшейдерська зйомка фактичного положення гірничих робіт

2. Цифрова топографічна модель (ЦТМ) ділянки кар'єру (вибухового блоку), що створюється на основі цифрової зйомки фактичного положення гірничих робіт (рис. 4.40).

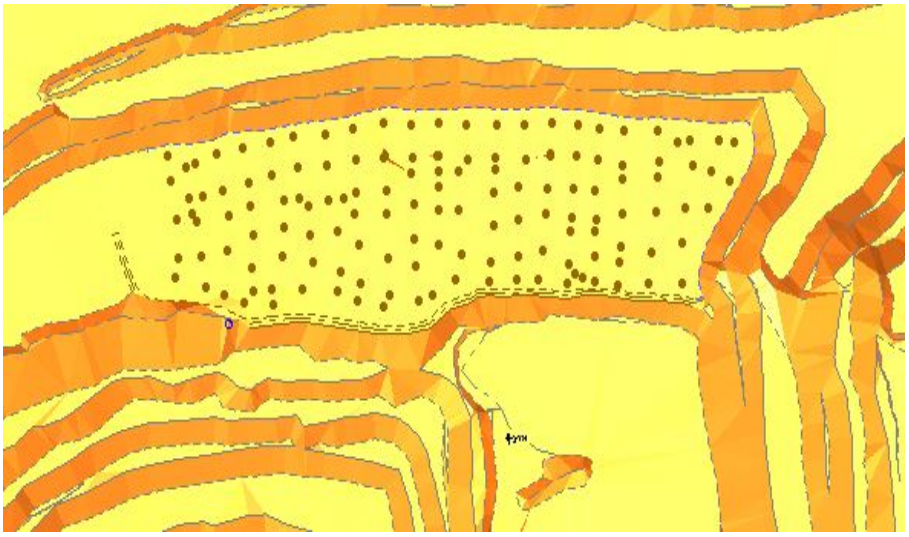


Рис. 4.40. Цифрова топографічна модель (ЦТМ) ділянки кар'єру (вибухового блоку)

3. Визначення контурів геологічних порід та розломів для встановлення якості корисних копалин в межах буропідривного блоку, що проєктується, та визначення (уточнення) фізико-механічних властивостей гірських порід (рис. 4.41).

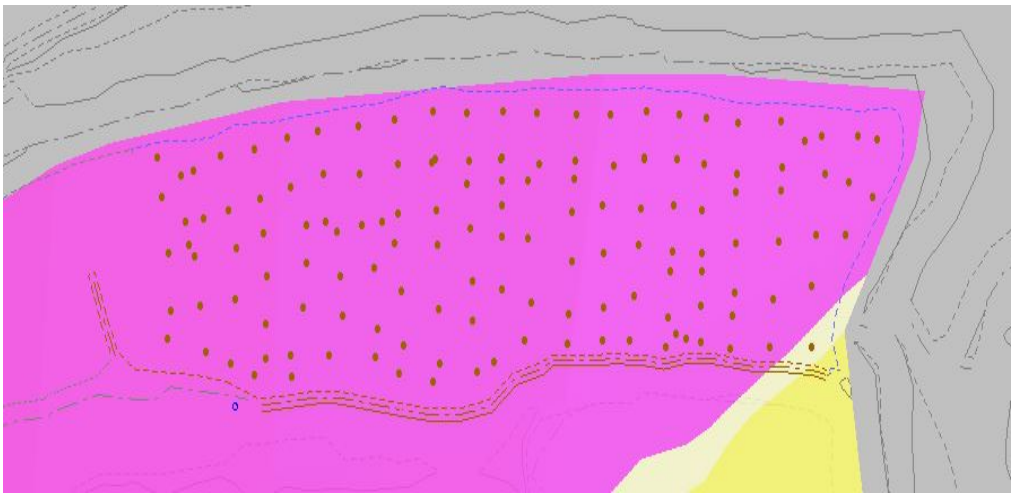


Рис. 4.41. Контури геологічних порід та розломів в межах буропідривного блоку

В відповідній закладці програми створюються дані про типи гірських порід, що розробляються на родовищі та їх фізико-механічні властивості.

Такі налаштування використовуються при бурінні свердловин та підриванні складних блоків з декількома видами гірських порід.

4. Визначення меж проєктного положення буропідривного блоку згідно з програмою гірничих робіт (рис. 4.42).

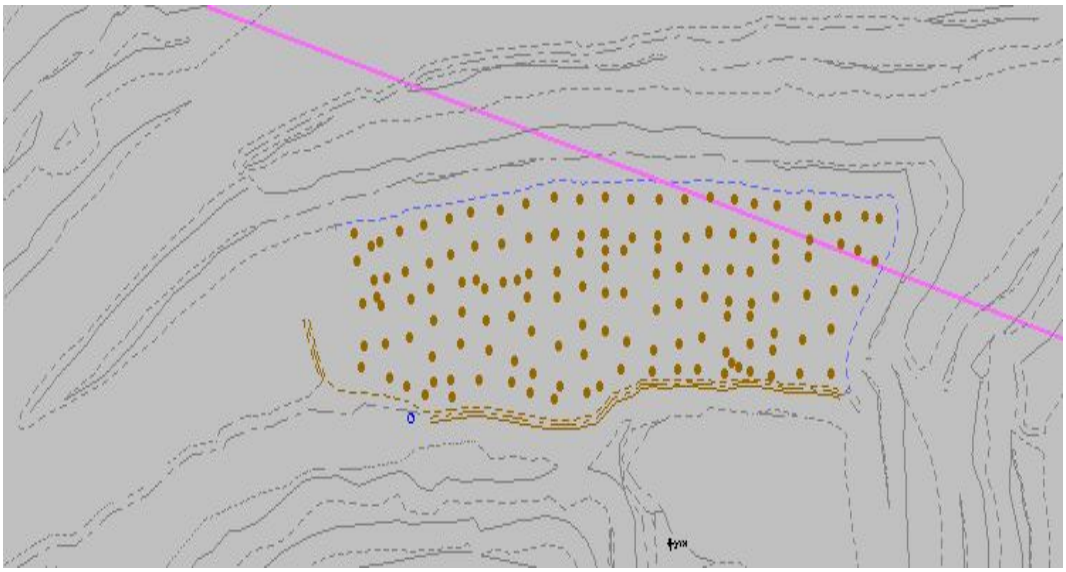


Рис. 4.42. Межі проєктного положення буропідривного блоку

Для створення сітки буропідривних свердловин необхідно визначитити контур вибухового блоку. Для цього підвантажують у робоче вікно *«Surpac стрінг»* файли фактичного та проєктних положень гірничих робіт та створюють новий рівень меж вибухового блоку.

Для правильної відбудови меж розміщення свердловин на блоці обводять контур блоку таким чином, щоб внутрішня межа проходила нижньою брівкою, а свердловини першого ряду не виходили за верхню брівку уступу.

Далі створюють мережу вибухових свердловин усередині меж блоку. Спочатку межа створення мережі буропідривних свердловин є прямокутником з можливістю його повороту під заданим кутом до ортогональної системи координат.

При створенні даних про свердловини на буропідривному блоці визначають їх координати та нумерують. Далі проводять розрахунок відстаней між свердловинами, рядами та ліній найменшого опору по підошві уступу (рис. 4.43).



Рис. 4.43. Свердловини на буропідривному блоці

В відповідних діалогових вікнах системи проєктування буропідривних робіт вносять:

- ідентифікатор сітки (тут мусить бути назва сітки свердловин та номер ідентифікації буропідривного блоку);

- назву бурового верстата, який буде виконувати буріння свердловин на блоці;

- спосіб підривання блоку;

- рівень підземних вод у разі наявної інформації щодо обводненості свердловин;

- зміни відстані між свердловинами в ряду та рядами;

- назву породи – вибирають зі списку типів порід (він складається з порід, занесених до форми «установки буріння та заряджання»;

- межі блоку (у разі створення сітки свердловин тільки всередині певного полігону активується ця функція);

- компонування свердловин: вибір типу сітки свердловин, прямокутна або ступінчаста (шахова);

- абсолютну висоту гирла свердловини;

Гирло свердловин може визначатися 3 способами:

- фіксована висотна позначка (визначається висотна відмітка, на якій розташовуватимуться всі гирла свердловин);

- рівень цифрової топографічної моделі блока (гирла свердловин ляжуть на ЦТМ поверхню, підвантажену у робоче вікно Surpac).

- програма може запропонувати вибрати модель у разі, якщо в робочому просторі підвантажено декілька ЦТМ:

- висотну позначку глибини свердловин;

- фіксовану довжину (всі свердловини будуть однакової довжини);

- довжину перебуру (за потреби вказують, на яку відстань необхідно перебурити свердловини; підсумкова довжина свердловини буде складатися з довжини свердловини та перебуру);

- азімут свердловини (у разі нахилу свердловин, вказують його азимут);

- кут нахилу свердловини (зазначають під яким кутом до горизонтальної площини будуть буритися свердловини);

- діаметр свердловин (вводять числове значення діаметра свердловин);

- інтелектуальна мітка (цей параметр забезпечує присвоєння літерно-числових міток вибухових свердловин);

- початкове значення (вводять номер, з якого почнеться нумерація свердловин у блоці).

Визначають послідовність ініціювання свердловинних зарядів. При цьому збільшують час на ініціювання для кожного нового ряду свердловин.

Після заповнення форми, необхідно зберегти створену мережу свердловин - як вибуховий блок - 1.str.

За допомогою файлу string описують мережу БВР, в якій кожна свердловина є окремим сегментом, що складається з двох точок – гирла і вибою (дна) свердловини.

Програма розраховує масу ВР виходячи з питомої ваги, параметрів свердловини та заряджання. У разі неправильного заряджання свердловин їх можна розрядити і зарядити повторно. Для розряджання свердловин використовують функцію головного меню (*Surpac: Проєктування > Проєктування вибухових робіт > Розрядити*), або застосовують відповідні функції на панелі інструментів.

Наступним етапом проєктування є занесення свердловин у базу даних (БД). Варто відзначити, що воно виконується після остаточного створення, редагування, переміщення, перейменування та заряджання свердловин. Це необхідно для централізованого зберігання всіх параметрів свердловин. БД БВР містить всю інформацію щодо свердловин – приналежність до певного блоку БВР (ім'я блоку), номер у цьому блоці, дані заряджання, положення у просторі, геометричні параметри та іншу інформацію. Завдяки такому способу зберігання користувач в будь-який момент часу можете підвантажити відпрацьований блок і подивитися його параметри.

Для створення бази даних БВР використовують головну функцію меню Surpac: Проєктування > Проєктування підривних робіт > Бази даних > Створити БД свердловин. Далі з'явиться форма, в якій необхідно вказати ім'я створюваної бази даних. Після цього програма запропонує вибрати тип БД. Створена база даних автоматично з'явиться у нижній частині робочого вікна, а також у папці, встановленій як робоча директорія.

Далі необхідно завантажити спроєктовані свердловини у створену БД.

Наступним етапом проєктування буропідривних робіт є схема підривання на блоці. Вона стане в нагоді при наступному виведенні блоку на друк. Для створення схеми підривання скористайтеся функцією головного меню *Surpac: Проєктування > Проєктування підривних робіт > Схема підривання > Розробити схему підривання.* Після вибору функції програма запропонує заповнити відповідну форму:

- назва схеми підривання – вибір типу схеми ініціювання. На вибір пропонується 3 схеми ініціювання: *V*-образна, діагональна та рядна (рис. 4.44);

- допуск на зсув від лінії підривання – усі свердловини, перпендикулярне зміщення яких від базисної лінії підривання менше, ніж зазначений допуск, автоматично розглядаються як такі, що знаходяться в одному ряду підривання;

- назва вихідного рівня – ім'я рівня, у якому будуть створені стрінги – схеми підривання;

- використовуйте вибухові свердловини із – виберіть спосіб підвантаження свердловин у робочий простір Surpac.

Є три способи вибору:

- активний рівень – програма використовуватиме свердловини з поточного рівня;

- стрінг-файл – необхідно вказати шлях до файлу, в якому зберігаються свердловини;

- база даних – зчитування свердловин із зазначеного блоку з завантаженої бази даних БВР. У разі вибору даного способу необхідно вказати назву рівня, в який вивантажаться свердловини із БД.

Після заповнення форми застосуйте її. Програма запропонує подальші дії.

Наступним кроком Surpac створить схему підривання відповідно до зазначеного типу схеми та накресленої лінії. В даному випадку, для прикладу, використовувалась схема підривання рядами (рис. 4.45).

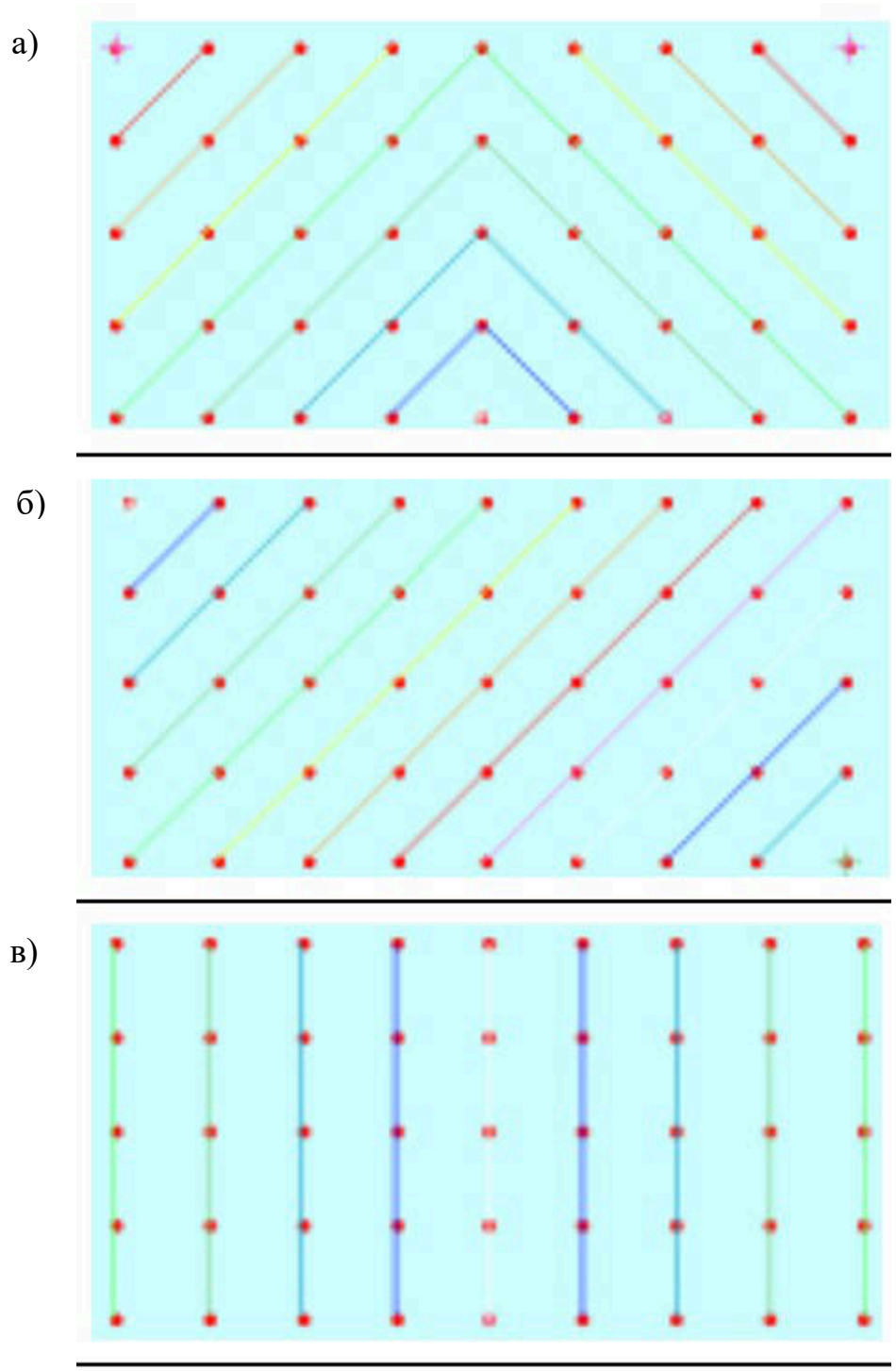


Рис. 4.44. Схеми ініціювання: а) *V*-образна, б) діагональна, в) рядна

Як можна помітити, в автоматичному режимі програма створює прийнятну схему підривання лише на простих ділянках блоку. Даний спосіб створення схем підривання може підійти для блоків простої форми (квадратні, прямокутні), що в реальних умовах трапляється вкрай рідко. Тому

рекомендується використовувати функцію створення ручного схеми підривання. Це допомагає чіткіше контролювати процес створення схеми ініціювання.

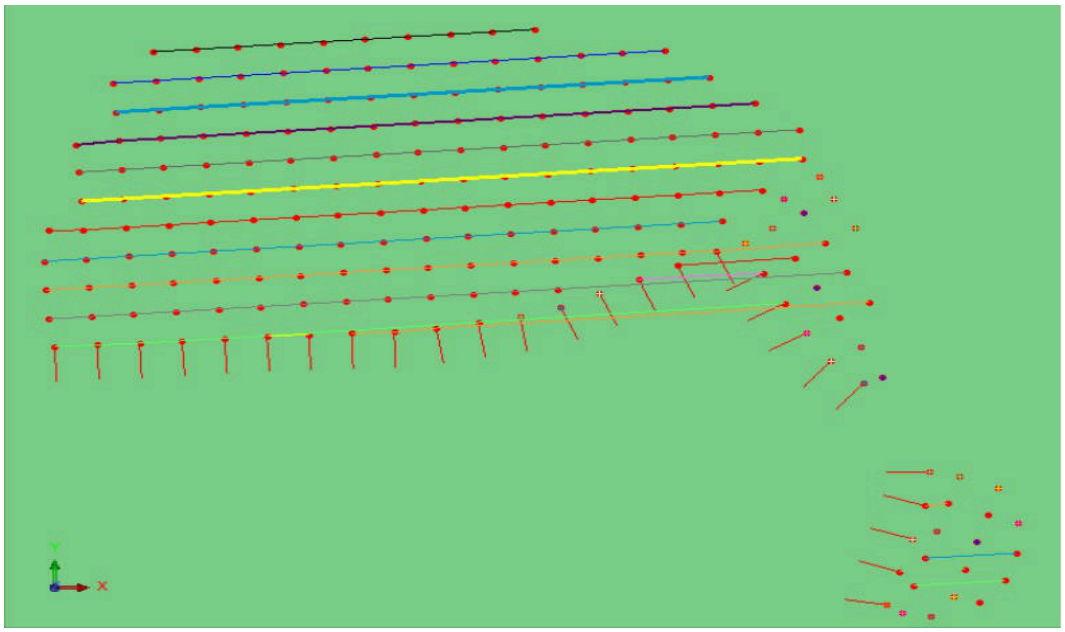


Рис. 4.45. Загальний вигляд схеми підривання свердловинних зарядів

Для створення схеми підривання в режимі користувача застосовують функцію головного меню *Surpac: Проєктування >Проєктування підривних робіт > Схема підривання.*

Програма пропонує заповнити форму майже таку саму як при автоматичному створенні схеми підривання, лише за винятком нижнього блоку. У нижній частині форми міститься блок вибору способу визначення свердловин, що відносяться до ряду ініціювання.

Після створення схеми ініціювання проводять анімацію вибуху. Це допоможе переконатися в правильності схеми підривання. Для цього встановлюють необхідну швидкість анімації та запускають її, натиснувши відповідну кнопку на панелі у блоці "Анімація". Далі по черзі підсвічуватимуться свердловини із відповідним уповільненням (рис. 4.46). На графіку (рис. 4.47) показано криву зміни кількості вибухових свердловин залежно від часу детонації.

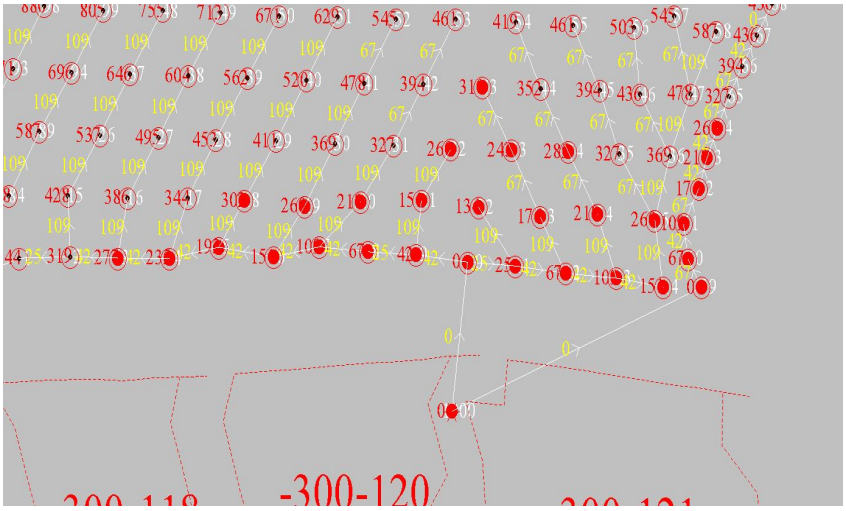


Рис. 4.46. Проєктування послідовності ініціювання та анімація вибуху

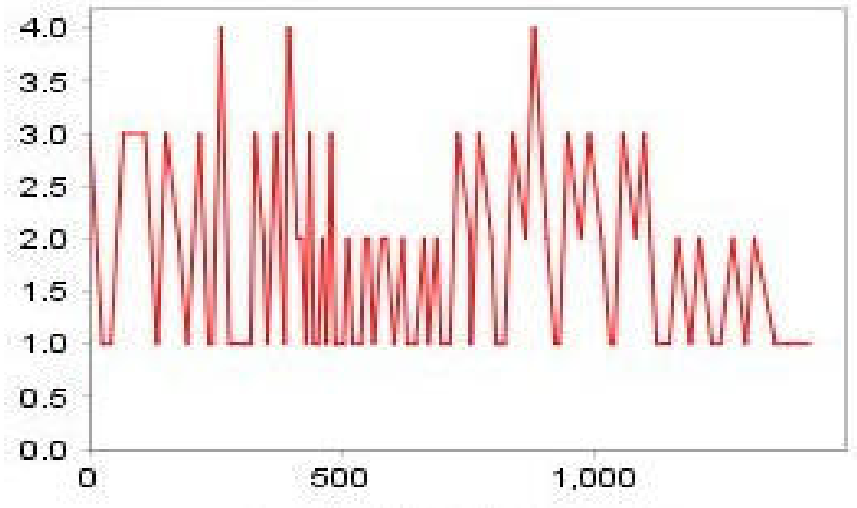


Рис. 4.47. Крива змін кількості підривних свердловин в залежності від часу детонації

Після закінчення формування схеми підривання її можна зберегти та вивантажити у стрінг-файл. Для збереження схеми ініціювання користуються функцією "Зберегти послідовність запалювання" на панелі створення схеми ініціювання (рис. 4.48).

Після закінчення проєктування буропідривного блоку є можливість створити деякі звітні довідки щодо цього блоку.

Стандартні функції дозволяють створити кілька довідок щодо блоку. Основними з них є «Зведення з підривання» та «Наряд на роботи».



Рис. 4.48. Панель інструментів

Для отримання цих довідок потрібно створити каркасну модель вибуху. Весь розрахунок об'ємних показників буде тривати з цією моделлю.

Для створення каркасної моделі у робоче вікно Surpac необхідно вивантажити свердловини вибухового блоку, для якого створюється каркасна модель.

Для цього користуються функцією головного меню *Surpac* (*Проєктування* > *Проєктування вибухових робіт* > *База даних* > *Вивантажити вибухові свердловини з БД*) або відповідною функцією на панелі швидкого доступу.

Після вивантаження свердловин із БД потрібно створити стрінг меж блоку, з якого буде створено каркасна модель.

Для цього користуються стандартною функцією меню Surpac: *Проєктування* > *Проєктування вибухових робіт* > *Проєктування вибухових робіт* > *Створити стрінг межі вибуху.*

Для створення каркасної моделі блоку користуються стандартною функцією головного меню Surpac *(Проєктування* > *Проєктування вибухових робіт* > *Проєктування вибухових робіт* > *Створити каркасну модель буропідривного блоку*) або відповідною функцією на панелі швидкого доступу (рис. 4.49).



Рис. 4.49. Вигляд панелі швидкого доступу

Коли форму заповнено, програма запропонує вибрати стрінг меж буропідривного блоку (рис. 4.50).

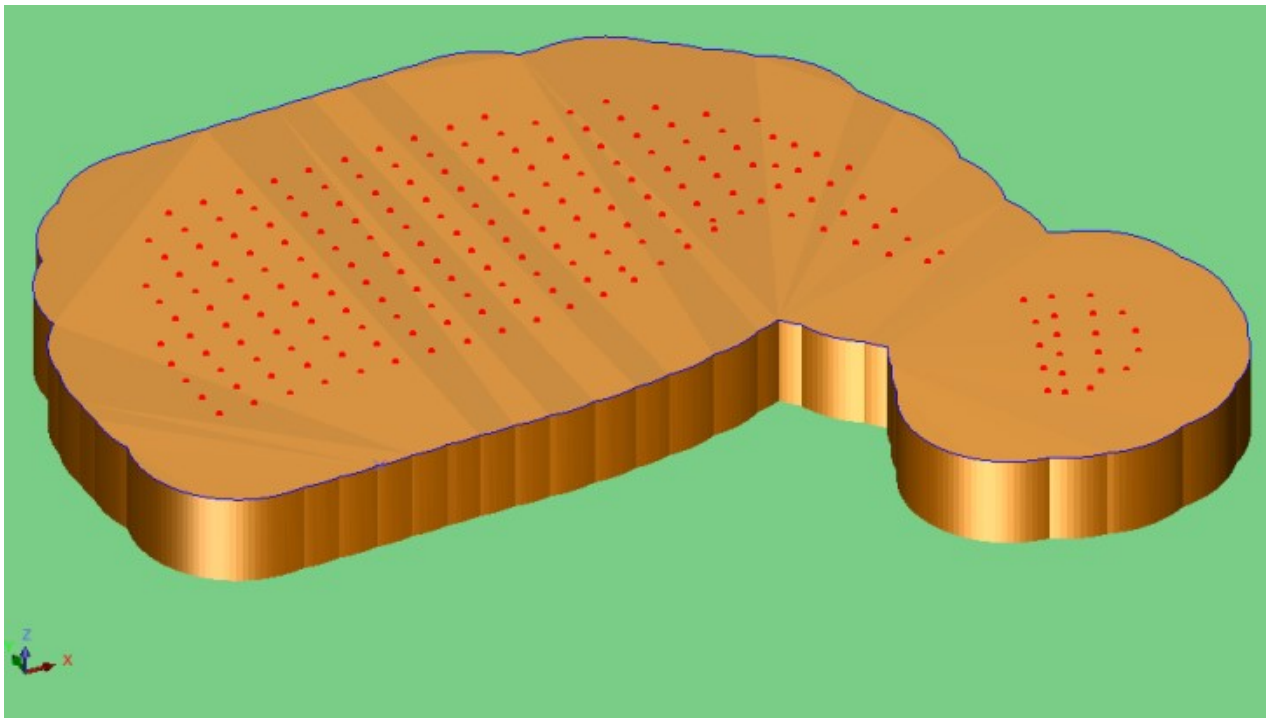


Рис. 4.50. Проєкт буропідривного блоку

Після створення каркасної моделі буропідривного блоку роблять паспорт масового вибуху та довідку-наряд на роботи. Для цього треба скористатися відповідними функціями головного меню Surpac: *Проєктування* > *Проєктування вибухових робіт* > *Довідка* > *Довідка з підривання/наряд на робот*и.

Завершальним етапом проєктування буропідривних робіт є експорт інформації щодо свердловин в базу даних ПЗ Wenco, Surface Manager (номер, діаметр, кут нахилу та координати свердловин, назва блоку, відстань між рядами, відстань між свердловинами, лінія опору по підошві, величина перебуру).

Проєкт буріння свердловин та схеми ініціювання свердловинних зарядів з використанням ПЗ DraftSight наведено відповідно на рис. 4.51 та 4.52.

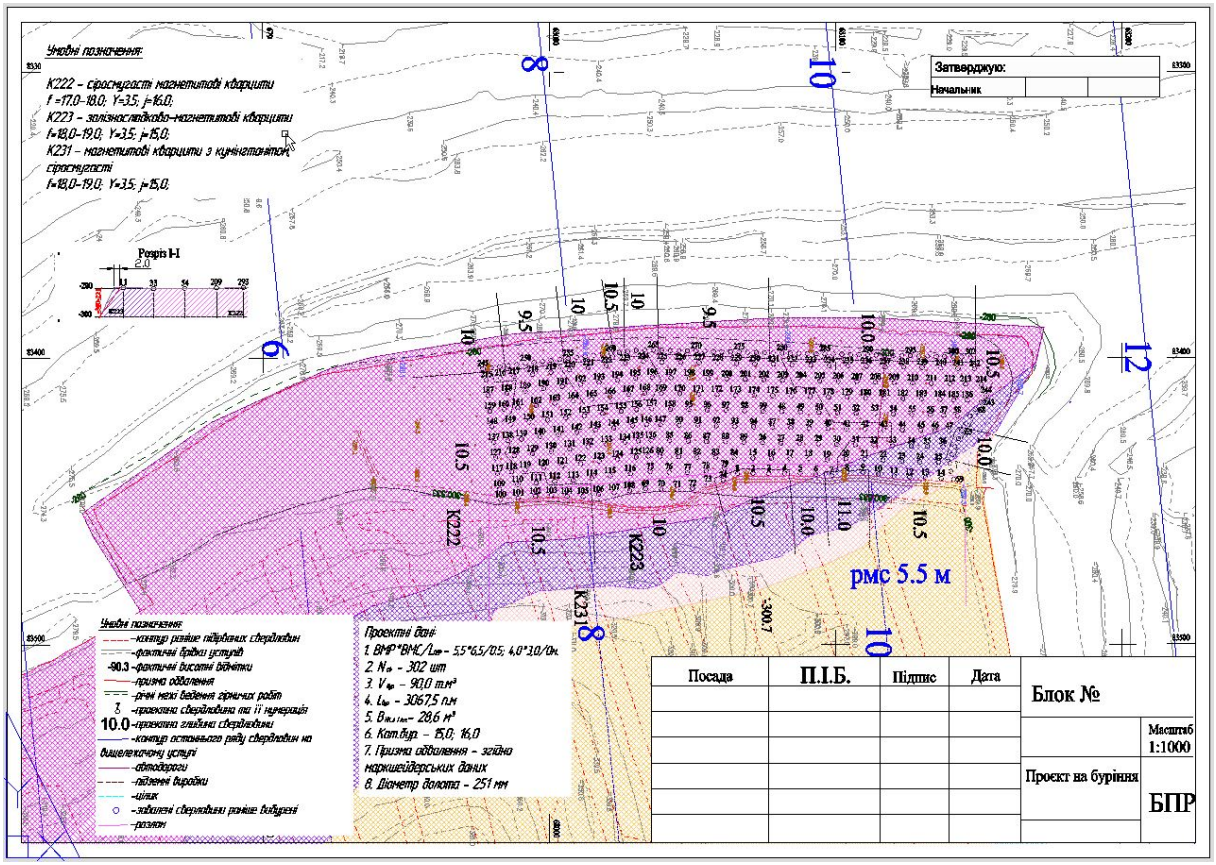


Рис. 4.51. Проєкт буріння з використанням ПЗ DraftSight

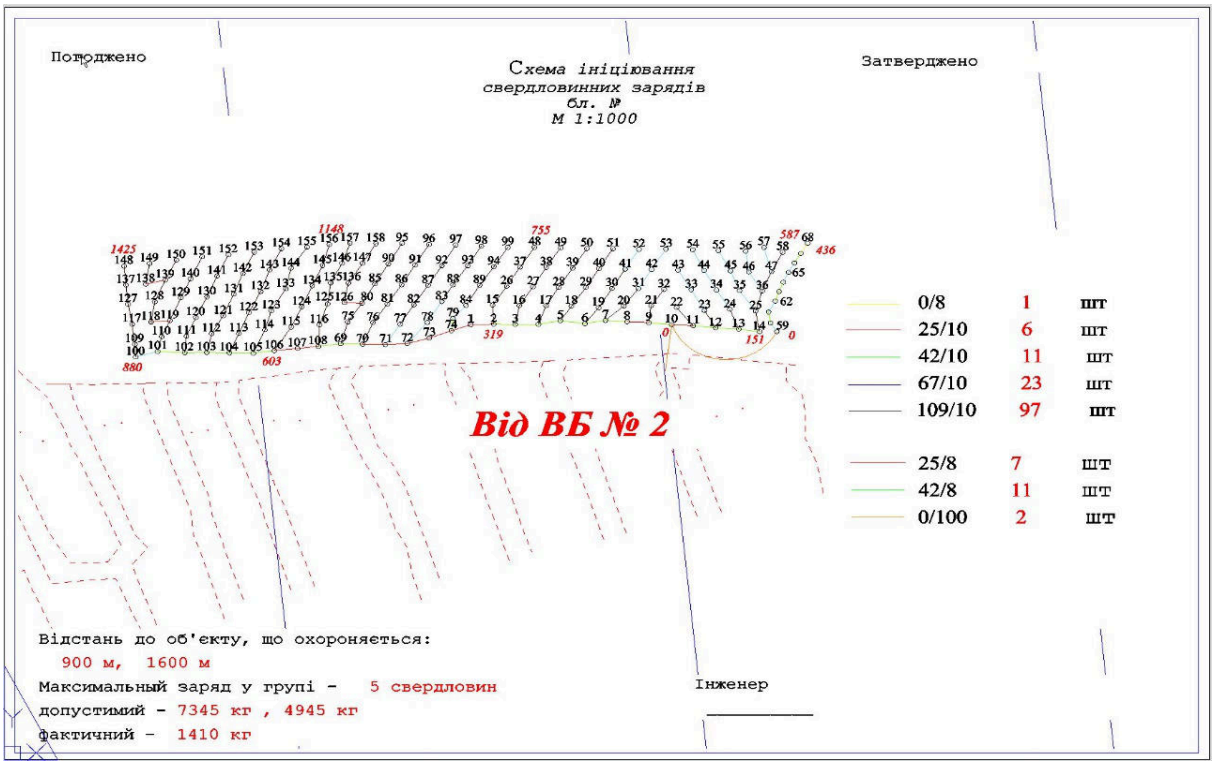


Рис. 4.52. Схема ініціювання свердловинних зарядів

Після підготовки проєкту буріння свердловин із використанням ПЗ DraftSight (рис. 4.51 – 4.52), відповідна документація передається на узгодження та до виконання на підприємстві.

Контрольні запитання:

1. Які основні завдання виконуються із застосуванням інформаційних технологій при буропідривних роботах?

2. Опишіть порядок проєктування бурових робіт з використанням системи K-MINE.

3. Яким чином виконується розрахунок зарядів свердловин в системі K-MINE?

4. Для чого здійснюється обмін даними зі змішувально-зарядними машинами при проєктуванні в системі K-MINE?

5. Коротко опишіть етапи проєктування БВР в системі Micromine Beyond?

6. Опишіть процес розрахунку параметрів розвалу гірських порід в системі Micromine Beyond?

7. Як відбувається визначення меж проєктного положення буропідривного блоку в системі Geovia Surpac?

Список рекомендованої літератури до розділу 4

1. Persson, P. A., Holmberg, R., & Lee, J. (2018). Rock blasting and explosives engineering. CRC press.

2. Shahmoradi, J., Talebi, E., Roghanchi, P., & Hassanalian, M. (2020). A comprehensive review of applications of drone technology in the mining industry. Drones, 4(3), 34.

3. Ainalis, D., Kaufmann, O., Tshibangu, J. P., Verlinden, O., & Kouroussis, G. (2017). Modelling the source of blasting for the numerical simulation of blast-induced ground vibrations: a review. Rock mechanics and rock engineering, 50, 171-193.

4. Abbaspour, H., Drebenstedt, C., Badroddin, M., & Maghaminik, A. (2018). Optimized design of drilling and blasting operations in open pit mines under

technical and economic uncertainties by system dynamic modelling. International Journal of Mining Science and Technology, 28(6), 839-848.

5. Nguyen, H., Bui, X. N., & Moayedi, H. (2019). A comparison of advanced computational models and experimental techniques in predicting blast-induced ground vibration in open-pit coal mine. Acta Geophysica, 67(4), 1025-1037.

6. Xie, C., Nguyen, H., Bui, X. N., Choi, Y., Zhou, J., & Nguyen-Trang, T. (2021). Predicting rock size distribution in mine blasting using various novel soft computing models based on meta-heuristics and machine learning algorithms. Geoscience Frontiers, 12(3), 101108.

7. Hasanipanah, M., Naderi, R., Kashir, J., Noorani, S. A., & Zeynali Aaq Qaleh, A. (2017). Prediction of blast-produced ground vibration using particle swarm optimization. Engineering with Computers, 33, 173-179.

8. Aben, E. K., Malanchuk, Z., Fedotenko, V., & Orynbaev, B. (2018). improving efficiency of rock breaking using pre-weakening of rock mass. Zhurnal. No, 2, 41-47.

9. Kunytska, M., Lunov, A., Panasiuk, A., Iskov, S., & Shlapak, V. (2023). Digital simulation of open-pit mining organisation system. Geomate Journal, 25(109), 197-204.

10. Leonida, C. (2022). Software for Successful Mines. Engineering and Mining Journal, 223(11), 22-27.

11. Blom, M., Pearce, A. R., & Stuckey, P. J. (2019). Short-term planning for open pit mines: a review. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 33(5), 318-339.

12. Utili, S., Agosti, A., Morales, N., Valderrama, C., Pell, R., & Albornoz, G. (2022). Optimal pitwall shapes to increase financial return and decrease carbon footprint of open pit mines. Mining, Metallurgy & Exploration, 39(2), 335-355.

13. Zarubin, M., Statsenko, L., Spiridonov, P., Zarubina, V., Melkoumian, N., & Salykova, O. (2021). A GIS software module for environmental impact assessment of the open pit mining projects for small mining operators in Kazakhstan. Sustainability, 13(12), 6971.

14. Оперативне планування і управління гірничотранспортними роботами в кар'єрі при розробці залізорудних родовищ: Монографія / Б.Ю. Собко, Д.В. Вінівітін, В.В. Лотоус, М.В. Назаренко, О.О. Азюковський, О.В. Ложніков,О.С. Ковров,О.М. Лазніков. – Дніпро: Журфонд, 2020. – 203 с. ISBN 978-966-934-269-0

15. Геоінформаційні технології на відкритих гірничих роботах для оптимізації процесів видобутку і переробки корисних копалин: Монографія / М.В. Назаренко, Б.Ю. Собко, В.В. Лотоус, Д.В. Вінівітін, О.О. Азюковський, О.В. Ложніков, О.С. Ковров, О.М. Лазніков. – Дніпро: Журфонд, 2020. – 224 с. ISBN 978-966-934-314-7

РОЗДІЛ 5. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА БЕЗПЕКА ВИКОНАННЯ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ НА КАР’ЄРАХ

У розділі викладено основні відомості організації та правил безпеки проведення буропідривних робіт при розробці скельних гірських порід відкритим способом, методика визначення безпечних відстаней під час підривних робіт.

Спираючись на матеріал розділу, студент повинен знати основні завдання, що вирішуються при організації буропідривних робіт у кар'єрі та правила безпеки їх виконання, вміти проводити розрахунки безпечних відстаней.

5.1. Організація та основи безпеки виконання бурових робіт

Основні завдання, які вирішуються при організації бурових робіт у кар'єрі:

- своєчасна підготовка блоку до буріння;

- забезпечення незалежності та безперебійної роботи бурових верстатів.

Реалізацію цих завдань можна розділити два етапи: підготовка до буріння та власне бурові роботи.

Підготовка до буріння включає:

- зачистку робочого майданчика (уступу);

- перенесення транспортних комунікацій, ліній високовольтних передач (ЛЕП), трансформаторних підстанцій та пунктів увімкнення;

- планування, очищення від снігу, налаштування доріг для переміщення верстатів.

Після цього проводять маркшейдерську зйомку блоку, винесення проєктних позначок, розташування свердловин на місцевості відповідно до проєкту масового вибуху, перегін верстата на блок, де триватиме буріння, підключення до пунктів увімкнення (КТП) і підготовку до роботи.

Бурові роботи можуть здійснюватися як із закріпленням, так і без закріплення (відкритий цикл) бурових верстатів за екскаваторними блоками. При жорсткому закріпленні скорочуються перегони верстатів з уступу на уступ, відключення та підключення до електромережі та інші непродуктивні роботи.

Однак необхідна сувора взаємопов’язаність продуктивності бурових верстатів та екскаваторів.

При відкритому циклі можлива гнучкіша організація робіт і підвищення продуктивності бурового обладнання. За умови відкритого циклу обурюють екскаваторні блоки, якщо продуктивність верстатів недостатня або істотно вище продуктивності екскаваторів. В інших випадках доцільно закріплювати бурові верстати за окремими екскаваторами.

При роботі в межах блоку декількох бурових верстатів їх розташовують на майданчику з таким розрахунком, щоб забезпечувалося незалежне переміщення від свердловини до свердловини.

Організація буріння свердловин повинна забезпечити максимальну ефективність робіт і взаємозв'язок з наступними процесами, в першу чергу, з виймально-вантажними роботами. Для досягнення зазначеної мети слугують програми та мережеві графіки проведення всіх видів робіт, включаючи планово-попереджувальні ремонти та обслуговування ЛЕП, пунктів увімкнення та електрообладнання.

При розробці скельних та напівскельних порід екскаваторні блоки зазвичай поділяють на окремі робочі блоки, у кожному з яких послідовно виконують окремі процеси. Кожен робочий блок перебуває в одному з наступних станів: очікування роботи (в резерві); підготовки до буріння (планування майданчика тощо); власне буріння; підготовки до вибуху (зарядка свердловин) та підривання; екскавації гірничої маси. Ефективне використання обладнання залежить насамперед від порядку ведення робіт на блоках бурових та вибухових робіт.

При послідовному обурюванні та підриванні бурових блоків буріння чергового блоку починають тільки після підривання попереднього. Цю схему застосовують за відсутності достатнього запасу підірваної породи, а також при обмеженому фронті робіт (вузькі робочі майданчики, проведення траншей). Недоліками схеми є необхідність відгону верстатів при підриванні (не менше ніж на 150 м) і жорсткий зв'язок між бурінням і екскавацією.

При бурінні з випередженням на один блок наявність проміжного забуреного блоку (між обурюваним і підірваним) дозволяє збільшити запас підірваної породи, ліквідувати перегони верстатів при підриванні, їх простої при вторинному підриванні тощо. За таких умов використання верстатів покращується (на 10 – 15 %), полегшується підготовка вибуху.

До недоліків схеми слід віднести заморожування витрат, витрачених на обурення проміжного блоку, зниження оборотності обігових коштів. Остаточний вибір порядку виконання буропідривних робіт у блоках проводять після ретельних техніко-економічних розрахунків.

При виконанні бурових робіт можливі такі небезпеки для обслуговуючого персоналу та людей, зайнятих виконанням на уступі суміжних технологічних чи допоміжних процесів:

- механічні травми при обслуговуванні та ремонті бурового обладнання;
- обвалення порід разом із буровим верстатом;
- перекидання верстатів при бурінні або перегоні в межах блоку (з уступу на уступ);
- ураження електричним струмом;
- обрив канатів;
- виникнення пожежі;
- потрапляння людей у пробурені свердловини.

Для виключення інцидентів або аварій, що супроводжуються нещасним випадком, мусять дотримуватися певні вимоги, що регламентуються «Правилами охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом».

Кожен працівник до початку роботи повинен переконатися в безпечному стані свого робочого місця, перевірити наявність та справність запобіжних пристроїв, захисних засобів, інструмента, механізмів і пристроїв, потрібних для роботи.

Бурові верстати, що знаходяться в експлуатації, мають бути справними, оснащені сигнальними пристроями, гальмами, огородженнями доступних

рухомих частин механізмів (муфт, передач тощо), протипожежними засобами, мати освітлення, комплект справного інструмента, пристроїв, захисних засобів від ураження електричним струмом і необхідну контрольно-вимірювальну апаратуру, а також справно діючий захист від перевантажень та перепідйому.

Система змащення мусить бути у належному стані, безпечною в обслуговуванні. Змащування приводів обладнання та механізмів, що не мають вбудованих систем мастила, під час роботи забороняється.

Робоче місце для ведення бурових робіт має бути забезпечене:

- підготовленим фронтом робіт (очищеним та спланованим робочим майданчиком);

- комплектом справного бурового інструменту;

- проєктом (паспортом, технологічною картою) на буріння.

Буріння свердловин слід проводити відповідно до інструкцій, розроблених організаціями на основі типових для кожного способу буріння.
На всі види технічного обслуговування і ремонтів у відповідності з чинним на підприємстві положенням повинні бути наявні інструкції (технологічні карти, проєкти організації робіт). У них вказуються необхідні пристосування, інструменти, визначається порядок і послідовність робіт, що забезпечують безпеку їх проведення. Робітники мусять бути ознайомлені з зазначеними документами під розпис.

Щоб уникнути обвалення порід і падіння верстата під укіс уступу, його треба розташовувати на безпечній відстані від верхньої брівки уступу, що визначається розрахунком або проєктом, але не менше 2 м від брівки до найближчої точки опори механізму, а його поздовжня вісь при бурінні першого ряду свердловини має бути перпендикулярна бровці уступу. При встановленні бурових верстатів шарошкового буріння на перший від укосу ряд свердловин управління верстатами має здійснюватися дистанційно.

Аби унеможливити перекидання, буровий верстат повинен бути встановлений на спланованому майданчику. Забороняється підкладати шматки породи під домкрати верстатів. Переміщення бурового верстата з піднятою

щоглою уступом допускається по спланованій трасі. При перегоні з уступу на уступ або під високовольтною ЛЕП щогла має бути укладена в транспортне положення, буровий інструмент – знятий або надійно закріплений.

Ураження електричним струмом може бути обумовлене порушенням діючих нормативних вимог щодо безпечної експлуатації електроустаткування (ремонт і заміна кабелю під напругою; торкання струмопровідних дротів; відсутність або ненадійність заземлювальних пристроїв і апаратів контролю – реле витоку струму; пошкодження кабелю; відсутність чи ненадійність індивідуальних засобів захисту).

Персонал, що допускається до роботи з електротехнічними пристроями, електрифікованим інструментом або стикається за характером роботи з електроприводом машин і механізмів, мусить володіти кваліфікаційною групою з електробезпеки.

Гнучкі кабелі, що живлять бурові верстати, необхідно прокладати так, щоб виключити можливість їх пошкодження, промерзання, завалу породою, наїзду на них транспортних засобів та механізмів. По обводненому майданчику кабель потрібно прокладати на опорах (козлах) або сухому відсипанні. На початку зміни, а також протягом роботи, необхідно постійно оглядати гнучкі кабелі.

Підйомний канат бурового верстата повинен розраховуватись на максимальне навантаження та мати п'ятикратний запас міцності.

При виборі каната потрібно керуватися заводським актом – сертифікатом. Не менше одного разу на тиждень механік ділянки або спеціально призначена особа мусять проводити зовнішній огляд каната та робити запис до журналу про результати огляду. Кінці дротів, що виступають, під час огляду обрізають. За наявності в підйомному каналі більше 10 % порваних дротів на довжині кроку звивки його слід замінити.

Номенклатура та кількість протипожежних засобів для кожного типу машин мають бути узгоджені з інспекторами «Держпраці». Мастильні та обтиральні матеріали повинні зберігатися у закритих металевих ящиках.

Зберігання на гірничих і транспортних машинах легкозаймистих речовин не дозволяється.

Забороняється буріння свердловин верстатами вогневого (термічного) буріння в гірських породах, схильних до займання та виділення отруйних газів.

Кожна свердловина, діаметр гирла якої більше 250 мм, після закінчення буріння має бути перекрита. Ділянки пробурених свердловин слід захищати попереджувальними знаками. Порядок огородження зони пробурених свердловин та їх перекриття затверджується технічним керівником організації.

5.2. Визначення безпечних відстаней при виконанні підривних робіт

Радіус небезпечної зони від розльоту шматків зруйнованої породи розраховується за формулою:

$$r_{розл.} = 1250 \cdot \eta_{св.} \sqrt{\frac{f}{1+\eta_{наб.}} \cdot \frac{d_{св.}}{a}}\ , \text{м},$$

де $\eta_{св.}$ – коефіцієнт заповнення свердловини ВР; $\eta_{наб..}$ – коефіцієнт заповнення свердловини забійкою; f – коефіцієнт міцності порід за шкалою М. М. Протод'яконова; d – діаметр свердловини, м; a – відстань між свердловинами, м.

При підриванні серії свердловинних зарядів одного діаметра з різними параметрами a, $\eta_{св.}$, $\eta_{наб.}$ розрахунок $r_{розл}$ повинен виконуватися за найменшим значенням a, $\eta_{наб.}$ і найбільшому $\eta_{св.}$ з усіх, що є в даній серії.

Якщо вибуховий блок має породи різної міцності в розрахунку $r_{розл}$ необхідно брати максимальне значення коефіцієнта міцності.

Радіус небезпечної зони по розльоту шматків породи для людей мусить бути більше 200 м. Лінія межі вибухонебезпечної зони за фактором розльоту шматків породи при вибухових роботах наноситься на план розвитку гірничих робіт кар'єра.

Визначення безпечних відстаней за дією ударно-повітряних хвиль.

При одночасному підриванні свердловинних зарядів подрібнення безпечну відстань за дією ударно-повітряних хвиль при руйнуванні порід вище VI категорії за класифікацією СНіП визначають за формулами:

$$r_в = 200 \cdot \sqrt[3]{Q_э}, \text{ м} \quad \text{при } 5000 > Q_э \geq 1000 \text{ кг},$$
$$r_в = 65 \cdot \sqrt{Q_э}, \text{ м} \quad 2 < Q_э \leq 1000 \text{ кг},$$
$$r_в = 63 \cdot \sqrt[3]{Q_э^2}, \text{ м} \quad Q_э < 2 \text{ кг},$$

де: $Q_э$ – еквівалентна маса заряду, кг; для групи з N свердловинних зарядів довжиною більше 12 діаметрів визначається за формулою:

$$Q_э = 12 \cdot p \cdot d \cdot K_з \cdot N,$$

де: p – місткість ВР в одному метрі свердловини, кг; d – діаметр свердловини (шпуру), м; *Кз* - коефіцієнт, який залежить від відношення довжини набійки до діаметра свердловини (шпуру); *Кз* = 0,002; N – кількість свердловинних (шпурових) зарядів; при уповільненому підриванні кількість зарядів в максимальній групі.

Якщо заряди ініціюються ДШ, до обчисленого значення *Qє* слід додати сумарну масу ВР, що міститься в мережі ДШ, кг.

$$Q_э^{заг.} = Q_э + Q_{ДШ}, \text{ кг}.$$

Розрахунок сейсмонебезпечної відстані під час вибуху свердловинних зарядів.

Визначається за формулою:

$$r_c = K_г \cdot K_c \cdot \frac{a}{N^{1/4}} \cdot \sqrt[3]{Q_{г.у.}}, \text{ м},$$

де: r_c – відстань від місця вибуху до об'єктів, які підлягають охороні м; *Кг* – коефіцієнт, який залежить від властивостей ґрунтів на даній відстані біля фундаменту об'єктів (будинків, споруд); для умов кар'єра *Кг* = 15; *Кс* – коефіцієнт, який залежить від типу будинків (споруд) і характеру будівництва; a – коефіцієнт, який залежить від умов підривання, a = 1,5; N – кількість груп зарядів; $Q_{гр.}$ – найбільша маса зарядів в групі уповільнення, кг.

На підставі визначення небезпечних зон від розльоту шматків породи, дії ударно-повітряних хвиль сейсмонебезпечна відстань при вибухових роботах береться найбільша.

5.3. Організація та безпека проведення вибухових робіт на кар’єрах

При підготовці масових вибухів в разі застосування детонуючих вибухових речовин (крім димного пороху), виробів, що містять детонуючі ВР без засобів ініціювання і метальних зарядів на період заряджання замість небезпечних зон можуть встановить заборонені зони, в межах яких заборонено перебувати людям, які не пов'язані з зарядженням.

На відкритих гірничих роботах при тривалому (більше зміни) заряджанні в залежності від гірничотехнічних умов і організації робіт заборонена зона повинна становити не менше 20 м від найближчого заряду. Вона поширюється як на робочий майданчик того уступу, на якому проводиться заряджання, так і нижче та вище, де розташовані уступи по горизонталі від найближчих зарядів.

Доставку вибухових матеріалів від складу до місця робіт (в межах земельного відводу) здійснюють за встановленими керівником організації (керівником вибухових робіт) маршрутами. Її можуть робити проінструктовані робітники під наглядом підривників або супроводжуючих осіб.

Автомобілі, які використовуються для транспортування ВМ, повинні відповідати усім вимогам. Спільна доставка, перевезення ВР і засобів ініціювання допускається тільки при дотриманні певних вимог згідно із законом України «Про перевезення небезпечних вантажів».

При виконанні вибухових робіт для оповіщення людей обов'язковим є подання звукових, а в темний час доби і світлових сигналів. Заборонено подачу сигналів голосом, а також із застосуванням вибухових матеріалів.

Значення і порядок подачі сигналів:

- *перший сигнал – попереджувальний* (один довгої тривалості) – подають при оголошенні небезпечної зони. Всі працівники, які не зайняті заряджанням

і підриванням, мусять покинути межі небезпечної зони, а в місцях входу до неї зони виставляються пости охорони;

- *другий сигнал – бойовий* (два тривалих) – після нього проводять вибух;

- *третій сигнал* – відбій (три коротких) – означає закінчення підривних робіт.

При масових вибухах сигнали подає спеціально призначений працівник підприємства (організації).

Способи подачі і призначення сигналів, час проведення підривних робіт доводять до відома працівників підприємства (організації), а також мешканців населених пунктів, прилеглих до небезпечної зони.

Небезпечні зони, їх охорона, а також місця перебування людей і устаткування, порядок доставки та розміщення вибухових матеріалів при підготовці і проведенні масових вибухів, порядок допуску людей після вибуху встановлюють в проєкті масового вибуху.

Безпечні відстані для людей, устаткування, будівель, споруд розраховують з огляду на наступні фактори: за розлітанням окремих шматків породи, сейсмічним впливом, дією ударної повітряної хвилі (УПХ) на будівлі і споруди, дією УПХ на засклення при підриванні зовнішніх зарядів і свердловинних (шпурових) зарядів розпушування, дією отруйних газів при підриванні зарядів викиду. Методика розрахунку безпечних відстаней наведена в «Правилах безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення».

За безпечну відстань вважають найбільшу з розрахованих відповідно до різних факторів. Мінімально допустимі відстані на відкритих роботах складають:

- при підриванні зовнішніх зарядів (в тому числі кумулятивних) – 300 м;

- шпурових, малокамерних зарядів (рукавів), свердловинних зарядів – 200 м;

- котлових і камерних – 300 м.

Підривання декількох свердловинних зарядів проводять тільки із

застосуванням засобів ініціювання, допущених для цих цілей. При глибині свердловини більше 15 м обов'язковим є дублювання внутрішньосвердловинних мереж.

Підривання свердловинних зарядів роблять за допомогою електродетонаторів (електропідривання) з використанням детонуючого шнура або неелектричних систем ініціювання з низькоенергетичними хвилеводами.

Електровогневе підривання триває з урахуванням вимог, передбачених при електричному способі підривання.

Вогневий спосіб ініціювання дозволено застосовувати на земній поверхні лише в тих випадках, коли він не може бути замінений іншими способами.

Під час грози заборонено проводити вибухові роботи як на земній поверхні, так і на поверхні в гірничих виробках. Якщо електропідривну мережу змонтовано до настання грози, то підривання виконують до її настання або від'єднують дільничні мережі від магістральних. Їх кінці ретельно ізолюють, а людей видаляють за межі небезпечної зони або в укриття.

Забороняється починати роботи з вибуховими матеріалами при недостатньому освітленні робочого місця.

У всіх випадках, коли заряди не можуть бути підірвані з причин технічного характеру (непереборні протягом зміни порушення вибухової мережі тощо), їх розглядають як відмови.

Порядок попередження, виявлення та ліквідацію відмовлених зарядів вибухових речовин регламентовано інструкцією «Держпраці», на основі якої кожне підприємство (організація), що веде вибухові роботи, незалежно від форми власності, має скласти інструкцію з ліквідації відмовлених зарядів вибухових речовин. Її затверджує керівник (технічний директор) і погоджує з територіальними органами «Держпраці».

Під відмовою розуміють повну або часткову відсутність детонації заряду, його частини або групи зарядів після подачі у вибухову мережу ініціюючого імпульсу.

Відмови поділяють на одиночні, групові (відмова двох і більше зарядів ВР) і масові, якщо відмовили всі заряди ВР, що підлягають підриванню, або одного або декількох блоків, об'єднаних в єдину вибухову мережу.

За зовнішніми ознаками розрізняють відкриті відмови, які виявляються при зовнішньому огляді, і приховані, котрі не можна виявити за зовнішніми ознаками при огляді вибою після вибуху.

При масових вибухах порядок оглядів місць вибухових робіт на предмет виявлення відмов здійснюють в порядку, встановленому проєктом.

Кожна відмова заряду (або підозрювана), в тому числі виявлена пізніше в процесі відвантаження гірничої маси, підлягає реєстрації в «Журналі реєстрації відмов при вибухових роботах».

При виявленні відмови або при її підозрі на земній поверхні підривник зобов'язаний виставити помітний знак.

Роботи, пов'язані з ліквідацією відмов, проводять під керівництвом особи із технічного нагляду.

У місцях відмов заборонені будь-які технологічні процеси, не пов'язані з ліквідацією відмовили зарядів.

Ліквідацію відмовлених свердловинних зарядів проводять:

а) підриванням такого заряду, в разі, коли відмова сталася внаслідок порушення цілісності зовнішньої вибухової мережі, і лінія найменшого опору відмовленого заряду не зменшилася; якщо при перевірці буде виявлено можливість небезпечного розльоту шматків гірничої маси або впливу УПХ під час вибуху, повторне підривання відмовленого заряду заборонено;

б) розбиранням породи в місці знаходження свердловини з несправним зарядом та витяганням останнього вручну; при неможливості розбирання породи дозволено розкривати свердловину обурюванням і підриванням шпурових зарядів, розташованих не ближче 1 м від стінки свердловини;

в) підриванням заряду в свердловині, пробуреній паралельно на відстані не менше 3 м від свердловини з несправним зарядом;

г) при підриванні вибухових речовин (крім димного пороху) із застосуванням детонуючого шнура – вимиванням заряду зі свердловини або

флегматизацією заряду розчином солі (за погодженням з експертною організацією);

д) при неможливості ліквідувати відмову перерахованими способами – за проєктом, складеним за участю спеціалізованої експертної організації з безпеки робіт і затвердженим керівником підприємства (організації).

При підриванні із застосуванням ДШ зарядів вибухової речовини з гранулотола і ВР на основі аміачної селітри, що не містять в своєму складі порохів, нітроефірів або гексогену, розбирання породи, у якій відмовив заряд, допускається проводити екскаватором з виключенням безпосереднього впливу ківша на вибухові речовини і ДШ.

Екскаваторні розбирання ведуть проінструктовані члени екіпажу, ознайомлені з інструкцією, в присутності осіб, відповідальних за ліквідацію відмови, і лише за письмовим дозволом, занесеним в журнал приймання-здачі змін екскаватора.

У процесі розбирання машиніст і особи, відповідальні за ліквідацію відмови, зобов'язані уважно стежити за вибоєм. При появі довгих відрізків ДШ і проміжного детонатора необхідно тимчасово припинити розбирання породи і вручну, дотримуючись запобіжних заходів, витягти проміжний детонатор і ДШ.

Після цього продовжують розбирання з дотриманням запобіжних заходів до повного вилучення всього відмовного заряду.

Ліквідацію відмов зовнішнього заряду проводять шляхом обережного зняття вручну частини забійного матеріалу, встановлення заряду нового бойовика, подальшого відновлення забійки і підривання в звичайному порядку.

Ліквідацію одиночних відмовних шпурових зарядів ведуть підриванням зарядів у допоміжних шпурах, пробурених паралельно існуючого на відстані не ближче 30 см.

Збір і знищення залишків ВМ при ліквідації відмовних зарядів проводять з дотриманням вимог ПБ -13-407-01.

Забороняється проводити роботи із ліквідації відмов при недостатньому освітленні.

Про час ліквідації відмови роблять відповідний запис у «Журналі реєстрації відмов». У тих випадках, коли відмова був записана в журналі приймання-здачі змін екскаватора, позначку про ліквідацію відмови вказують і в цій книзі.

Дотримання правил безпеки при зберіганні і транспортуванні вибухових матеріалів мають на меті забезпечити їх збереження, запобігти раптовому вибуху, а в разі його виникнення виключити поширення детонації на інші сховища, звести до мінімуму кількість людей, що знаходяться в небезпечній зоні.

Контрольні запитання:

1. Які основні завдання вирішуються при організації бурових робіт у кар'єрі?
2. Які можливі небезпеки для робітників можуть виникнути при виконанні бурових робіт в кар’єрі?
3. Основні правила безпеки (вимоги), що повинні дотримуватися робітниками при бурових роботах в кар’єрі.
4. За якими безпечними відстанями проведення підривних робіт визначають розмір безпечної зони?
5. Які сигнали оповіщення є обов’язковими при вибухових роботах в кар’єрах?
6. Що називають відмовою спрацювання заряду вибухових речовин?
7. Які існують способи ліквідації відмовних свердловинних зарядів?

Список рекомендованої літератури до розділу 5

1. НПАОП 0.00-1.24-10 «Правила охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом».
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. – 194 с

3. НПАОП 0.00-1.67-13 Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні.

4. Закон України від 06.04.2000 № 1644-III «Про перевезення небезпечних вантажів» (із змінами та доповненнями).

5. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з дисципліни «Технологія та безпека виконання підривних робіт» (розрахунок підготовки скельних гірських порід до виїмки вибухом) для студентів спеціальності 184 «Гірництво». Автори: Б.Ю. Собко, М.О. Чебанов - Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2021 – 41 с.

ТЕСТОВИЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНЬ

Тести до першого розділу

Тест 1.1

Руйнування породи на вибої шпура (свердловини) буровим інструментом і її видалення на поверхню – це?

а) Процес розкриття родовища;
б) процес заряджання;
в) процес буріння;
г) відвалоутворення.

Тест 1.2

Який спосіб буріння у гірничій промисловості є зайвим?

а) Діагональний;
б) ударно-канатний;
в) обертальний;
г) шарошковий.

Тест 1.3

Яке устаткування передбачає руйнування породи високотемпературними струменями, які створюються в насідок згорання рідкого горючого?

а) Верстати шарошкового буріння;
б) верстати вогневого буріння;
в) гідромолоти;
г) гідроциклони.

Тест 1.4

Яким діаметром буряться свердловини шарошковими верстатами?

а) Від 100 до 400 мм;
б) від 160 до 320 мм;
в) від 160 до 450 мм;
г) від 50 до 120 мм.

Тест 1.5

Як відбувається видалення бурового дрібняку зі свердловини при шарошковому бурінні?

а) Стиснутим повітрям;
б) в цьому немає потреби;
в) кислотним розчином;
г) вручну.

Тест 1.6

Процеси підготовки до буріння блоку не включають?

а) Зачистку робочого майданчика (уступу);

б) перенесення транспортних комунікацій, ліній високовольтних передач (ЛЕП), трансформаторних підстанцій і приключних пунктів;

в) транспортування гірничої маси у відвал;

г) планування, очищення від снігу, влаштування доріг для переміщення верстатів.

Тест 1.7

Штучне циліндричне поглиблення в гірській породі діаметром не більше 75 мм і глибиною до 5 м – це?

а) Свердловина;

б) шпур;

в) камера;

г) траншея.

Тест 1.8

Яка межа міцності порід, в яких можна бурити свердловини верстатами шарошкового буріння?

а) Від 3 до 12 балів;

б) не більше 7 балів;

в) від 10 балів і вище;

г) від 6 до 18 балів.

Тест 1.9

У чому полягає особливість обертального (шнекового) буріння?

а) Інструмент одночасно обертається і подається на вибій;

б) застосовується при гідромеханізації гірничих робіт;

в) інструмент може бурити свердловини будь-якої глибини;

г) не застосовується на відкритих гірничих робота.

Тест 1.10

В яких проміжках часу буровий інструмент повертається уривчасто при застосуванні ударно-обертального?

а) Постійно повертається уривчасто;

б) лише при бурінні м'яких порід;

в) під час технічного обслуговування;

г) між ударами вмонтованим у молоток поворотним пристроєм.

Тести до другого розділу

Тест 2.1

Що таке швидкоплинний процес термодинамічної незворотної зміни речовини, який супроводжується звільненням значної кількості енергії в обмеженому об'ємі?

а) Екскавація;
б) вибух;
в) консервація;
г) транспортування.

Тест 2.2

Які основні недоліки у тротиловмісних вибухових речовинах?

а) Складність виготовлення і використання;
б) висока вартість і низька ефективність;
в) висока токсичність і вибухонебезпечність;
г) немає вірної відповіді.

Тест 2.3

Які вибухові речовини є найбільш екологічними?

а) Емульсійні;
б) тротилові;
в) ігданіти;
г) граммоніти.

Тест 2.4

Чим запалюється ініціююча вибухова речовина у капсулі-детонаторі?

а) Дизельним паливом;
б) вогнепровідним шнуром;
в) сірниками;
г) усі відповіді правильні.

Тест 2.5

Чим відрізняються електродетонатори сповільненої від миттєвої дії?

а) Не відрізняються;
б) перші можуть ініціюватися дистанційно;
в) перші не передбачають первинного заряду;
г) в них між ініціювальним ВР і електрозапальником розміщений стовпчик сповільнюваного складу.

Тест 2.6

Знайдіть зайву перевагу неелектричних систем ініціювання зарядів вибухових речовин?

а) Безпечність;
б) несприйнятливість до електричних розрядів напругою до 30 кВ;
в) велика потужність дії вибухової речовини в системі ініціювання;
г) дуже малі витрати вибухової речовини.

Тест 2.7

Що є основним елементом неелектричної системи ініціювання «Нонель»?

а) Мідний шнур;
б) геомембрана;
в) трубопровід;
г) порожнистий шнур-хвилевід.

Тест 2.8

Знайдіть помилку у відношенні способів і засобів підривання?

а) Вогневий спосіб – капсуль-детонатор;
б) детонуючим шнуром – детонуючий шнур;
в) електричний спосіб – електродетонатор;
г) електричний спосіб – капсуль-детонатор.

Тест 2.9

Знайдіть зайве підривання за часом?

а) Прискорене;
б) сповільнене;
в) миттєве;
г) короткоуповільнене.

Тест 2.10

Хімічні сполуки або механічні суміші, які під дією зовнішнього імпульсу (нагрівання, удар, іскри вогню) здатні вибухати – це?

а) Набійки;
б) заряди;
в) вибухові речовини;
г) системи ініціювання.

Тести до третього розділу

Тест 3.1

Що відноситься до експлуатаційних параметрів свердловин?

а) Забійка, перебур, висота уступу;
б) перебур, лінія найменшого опору;
в) діаметр, довжина, кут похилу;
г) забійка, висота уступу.

Тест 3.2

Який спосіб розміщення заряду по відношенню до об'єкту руйнування зайвий?

а) Метод внутрішніх зарядів;
б) метод зовнішніх зарядів;
в) метод шпурових зарядів;
г) метод свердловинних зарядів.

Тест 3.3

Який параметр зайвий у паспорті буропідривних робіт?

а) Характеристика і напрямок об'єкта;
б) величина заряду і забивки в шпурі;
в) об'єм ківша екскаватора;
г) спосіб і черговість підривання зарядів.

Тест 3.4

Яка вимога до схем підривання зарядів відсутня?

а) Надійність передачі детонації;
б) максимальний сейсмічний ефект вибуху;
в) переміщення породи вибухом у заданому напрямку;
г) мінімальний сейсмічний ефект вибуху.

Тест 3.5

Для чого використовують свердловинні заряди ВР з повітряними проміжками?

а) Для підвищення інтенсивності подрібнення порід;
б) для зменшення висоти уступів;
в) для збільшення діаметра свердловини;
г) не використовуються при відкритих гірничих роботах.

Тест 3.6

Навіщо застосовують внутрішньосвердловинне уповільнення?
а) Збільшення глибини свердловини;
б) підвищення продуктивності бурового верстата;
в) підвищення якісних характеристик корисних копалин;
г) значне поліпшення подрібнення порід.

Тест 3.7

Для чого не призначена забивка свердловини?
а) Запобігання витоку продуктів детонації;
б) підвищення продуктивності бурового верстата;
в) зменшення кількості отрутних газів;
г) забезпечення повноти детонації.

Тест 3.8

Які методи руйнування негабаритів ви знаєте?
а) Підривання накладним зарядом;
б) підривання шпуровим зарядом;
в) використання бутобою;
г) усі відповіді правильні.

Тест 3.9

Для чого використовується механізація вибухових робіт?
а) Для збільшення висоти видобувних уступів;
б) зниження якості подрібнення гірничої маси;
в) механізація не впливає на якість подрібнення;
г) підвищення продуктивності праці.

Тест 3.10

Найкоротша відстань від центра заряду до відкритої поверхні – це?
а) Ширина можливої призми обвалення;
б) висота уступу;
в) лінія найменшого опору по підошві;
г) довжина заряду.

Тести до четвертого розділу

Тест 4.1

Знайдіть перевагу у використанні безпілотних інформаційно-навігаційних систем управління?

а) Можливість здійснення гірничих робіт без виймально-навантажувального устаткування;

б) відсутність витрат на використання безпілотних систем;

в) підвищення безпеки і продуктивності устаткування;

г) переваги відсутні.

Тест 4.2

Яка система дистанційного управління буровими верстатами використовується компанією Atlas Copco?

а) АТБ;

б) RCS;

в) АБС;

г) на цих верстатах не використовуються безпілотні системи.

Тест 4.3

Яким чином відбувається корекція даних буріння свердловин при супутниковій навігації?

а) За допомогою базової станції на уступі;

б) за допомогою маркшейдера;

в) корегування не потрібне;

г) за допомогою мобільного телефону.

Тест 4.4

Знайдіть зайву перевагу автобуріння свердловин?

а) Відсутність технічного персоналу на підприємстві;

б) постійна продуктивність бурового верстата;

в) незалежність від досвіду оператора;

г) оператор може виконувати паралельно декілька завдань.

Тест 4.5

Яке завдання не виконує модуль буропідривних робіт в системі K-MINE?

а) Створення проєкту на буріння свердловин;

б) буріння та заряджання свердловин;

в) створення проєкту на вибух;

г) побудова розрізу і розрахунок параметрів бурового блоку.

Тест 4.6

Які вихідні дані для проєктування буропідривних робіт в системі K-MINE не використовуються?

а) Аерофотозйомка;

б) дані позиціонування GPS-ровера;

в) розповідь машиніста бурового верстата про стан гірничого масиву;

г) дані лазерного сканування поверхні.

Тест 4.7

Для чого виконується моделювання процесу ініціювання вибухових свердловин в системі K-MINE? Функція дозволяє:

а) Визначити місця можливого підбою гірничого масиву;

б) скоротити кількість вибухових свердловин;

в) збільшити об'єм вибухових матеріалів в свердловині;

г) визначити продуктивність бурового верстату.

Тест 4.8

Знайдіть помилку в послідовності при проєктуванні БВР у Micromine Beyond?

а) Побудова (імпорт) контурів блоків БВР → створення схеми БВР та налаштування параметрів;

б) створення бібліотеки витратних матеріалів → розрахунок заряду та схеми ініціювання;

в) розрахунок зміщення внаслідок вибуху → експорт проєкту БВР у базу даних свердловин;

г) розрахунок зміщення внаслідок вибуху → створення бібліотеки витратних матеріалів.

Тест 4.9

Що використовується за основу при створенні цифрової топографічної моделі вибухового блоку при моделюванні в Geovia Surpac?

а) Цифрова зйомка фактичного положення гірничих робіт;

б) фотографії кар'єру;

в) інформація про річну продуктивність кар'єру;

г) інформація про технічні характеристики бурового верстата.

Тест 4.10

Знайдіть завершальний етап проєктування буропідривних робіт в Geovia Surpac?

а) Створення сітки буропідривних свердловин;

б) створення каркасної моделі блоку;

в) експорт інформації щодо свердловин в базу даних ПЗ;

г) створення схеми ініціювання зарядів.

Тести до п'ятого розділу

Тест 5.1

Які сигнали подаються в кар'єрах при проведенні вибухових робіт?

а) Перший сигнал – бойовий (два тривалих), другий сигнал-відбій (три коротких);

б) перший сигнал – попереджувальний (три коротких), другий сигнал – відбій (два тривалих);

в) перший сигнал – попереджувальний (один тривалий), другий сигнал – бойовий (два тривалих), третій сигнал – відбій (три коротких);

г) перший сигнал – попереджувальний (два тривалих), другий сигнал – бойовий (два коротких), третій сигнал – відбій (три тривалих).

Тест 5.2

Як визначається ступінь безпеки вибухових робіт за ядовитими газами?

а) Вуглекислим балансом вибухової речовини;

б) сірчаним балансом речовини;

в) кисневим балансом вибухової речовини;

г) всі відповіді вірні.

Тест 5.3

Яка безпечна відстань і небезпечна зона наведена неправильно?

а) Негабарити – 300 м;

б) шпурові заряди – 200 м;

в) зовнішні заряди – 300 м;

г) свердловини – 200 м.

Тест 5.4

Який сигнал оповіщення при вибухових роботах вказано неправильно?

а) Перший сигнал – запобіжний (один тривалий);

б) другий сигнал – бойовий (два тривалих);

в) третій сигнал – відбій (три коротких);

г) другий сигнал – бойовий (три тривалих).

Тест 5.5

Що означає відкритий цикл при закріпленні бурових верстатів за екскаваторними блоками?

а) Бурові верстати керуються за допомогою дистанційного управління;

б) відсутність суворої взаємоприв'язки продуктивності бурових верстатів і екскаваторів;

в) бурові верстати не використовуються;

г) кожен екскаватор підпорядковується буровому верстату.

Тест 5.6

Які заходи передбачаються, щоб унеможливити перекидання бурового верстату під час бурових робіт?

а) Поверхня робочих майданчиків має бути спланованою;

б) встановлення додаткових контрвантажів;

в) закріплення бурового верстата до екскаватора;

г) додаткові заходи не потребуються.

Тест 5.7

Вкажіть граничний діаметр свердловини, за якого не потрібно перекривати її гирло після закінчення буріння?

а) При будь-якому діаметрі гирла перекривання недоцільне;

б) 319 мм;

в) 249 мм;

г) при будь-якому діаметрі гирла, перекривання після буріння не передбачене.

Тест 5.8

Яка небезпечна зона під час вибухових робіт має визначатися?

а) Від розльоту шматків породи;

б) від дії ударно-повітряних хвиль;

в) сейсмічнонебезпечна відстань;

г) усі відповіді правильні.

Тест 5.9

Яким вимогам мають відповідати автомобілі, що використовуються для транспортування вибухових матеріалів?

а) Вимоги відсутні;

б) Закону України «Про перевезення небезпечних вантажів»;

в) лише автомобілі правоохоронних органів;

г) доставка вибухових матеріалів до місця вибуху на кар'єрі має здійснюватися в ручному режимі.

Тест 5.10

Якими інструкціями керуватися при виявленні та ліквідації відмовних зарядів вибухових речовин?

а) Внутрішніми документами підприємства;

б) не передбачено особливих інструкцій;

в) інструкцією «Держпраці»;

г) повідомляти у правоохоронні органи.

Еталонні відповіді до тестів

Ключі до тестів 1 розділу

Тест №1.1 – в) Тест №1.2 – а)

Тест №1.3 – б) Тест №1.4 – б)

Тест №1.5 – а) Тест №1.6 – в)

Тест №1.7 – б) Тест №1.8 – г)

Тест №1.9 – а) Тест №1.10 – г)

Ключі до тестів 2 розділу

Тест №2.1 – б) Тест №2.2 – в)

Тест №2.3 – а) Тест №2.4 – б)

Тест №2.5 – г) Тест №2.6 – в)

Тест №2.7 – г) Тест №2.8 – г)

Тест №2.9 – а) Тест №2.10 – в)

Ключі до тестів 3 розділу

Тест №3.1 – в) Тест №3.2 – а)

Тест №3.3 – в) Тест №3.4 – б)

Тест №3.5 – а) Тест №3.6 – г)

Тест №3.7 – б) Тест №3.8 – г)

Тест №3.9 – г) Тест №3.10 – в)

Ключі до тестів 4 розділу

Тест №4.1 – в) Тест №4.2 – б)

Тест №4.3 – а) Тест №4.4 – а)

Тест №4.5 – б) Тест №4.6 – в)

Тест №4.7 – а) Тест №4.8 – г)

Тест №4.9 – а) Тест №4.10 – в)

Ключі до тестів 5 розділу

Тест №5.1 – в) Тест №5.2 – в)

Тест №5.3 – а) Тест №5.4 – г)

Тест №5.5 – б) Тест №5.6 – а)

Тест №5.7 – в) Тест №5.8 – г)

Тест №5.9 – б) Тест №5.10 – в)

КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

1. Визначить величину опору за підошвою *W* знаючи, що місткість 1 м свердловини *P=80 кг/м*, а питома витрати вибухової речовини $q=0,8$ *кг/м*^{3}.

2. В свердловину діаметром *d=250 мм* заряджають вибухову речовину Україніт ПП-2Б, яка має щільність $\Delta=1,2$ *кг/дм*^{3}, встановіть місткість 1 м свердловини *P*.

3. Встановіть обсяг гірських порід, що припадає на одну свердловину першого ряду, якщо величина опору по підошві *W=8 м,* висота уступу $H_у=10$ *м*, а коефіцієнт зближення зарядів *m=1*.

4. Визначить довженну заряду в свердловині, якщо обсяг гірських порід, що припадає на одну свердловину $V_{св}=810$ *м*^{3}, питома витрати вибухової речовини $q=0,9$ *кг/м*^{3}, а місткість 1 м свердловини *P=100 кг/м.*

5. Розрахуйте довжину свердловини, якщо величина опору за підошвою *W=10 м,* а висота уступу $H_у=15$ *м.*

6. Встановіть фактичну довжину набійки, знаючи, що маса заряду в свердловині *Q=720 кг*, місткість 1 м свердловини *P=80 кг/м,* а довжина свердловини $L_{св}=13$ *м*.

7. Встановіть необхідну кількість свердловин для підготовки гірської породи обсягом $V_{м.в.}=90\ 000$ *м*^{3}, якщо обсяг гірських порід, що припадає на одну свердловину $V_{св}=1\ 000$ *м*^{3}.

8. Визначите річну потребу вибухової речовини, якщо маса заряду в свердловині *Q=600 кг*, кількість свердловин в одному масовому вибуху $n_{св}=80$ *шт*, кількість масових вибухів на місяць *m=2 шт*.

9. Визначте ширину вибухового блоку $Ш_{ВБ}$, якщо величина опору за підошвою *W=8 м,* відстань між рядами свердловин *b=7 м*, а кількість рядів свердловин $n_р=6$ *шт*.

10. Визначте довжину вибухового блоку $L_{ВБ}$, якщо величина опору по підошвою *W=9 м,* відстань між свердловинами в ряду *a=8 м*, а кількість свердловин в ряді $n_{св}=15$ *шт*.

11. Встановіть загальний об'єм вибухового блоку, якщо висота уступу $H_у=10$ *м,* ширина вибухового блоку $Ш_{ВБ}=45$ *м,* а довжина вибухового блоку $L_{ВБ}=110$ *м.*

12. Розрахуйте річний об'єм буріння, якщо річна продуктивність кар'єру за гірничою масою $A_р$=1,2 млн м^3/рік, а вихід гірничої маси з 1 м свердловини $B=60$ *м*^{2}.

13. Встановіть чи отримане значення величини опору за підошвою $W=8$ *м* відповідає умовам безпечного розміщення бурового верстата, якщо висота уступу $H_у=10$ *м*, кут укосу уступу $\alpha=80°$, а берма безпеки с = 2 м.

14. Знаючи довжину заряду $l_{зар}=7$ *м* та місткість 1 м свердловини $P=70$ *кг/м,* встановіть масу заряду в свердловині.

15. На вибуховому блоці використовується короткоуповільнене підривання з рядною схемою, встановіть загальне уповільнення $\tau_{заг}$, якщо кількість рядів свердловин $n_р=8$ *шт,* а уповільнення між рядами $\tau=17$ *мс*.

Еталонні відповіді до контрольних завдань

1. Розв'язок:

$$W = 0{,}9 \cdot \sqrt{\frac{P}{q}} = 0{,}9\sqrt{\frac{80}{0{,}8}} = 9 \text{ м}$$

2. Розв'язок:

$$P = 7{,}85 \cdot d_{СВ}^2 \cdot \Delta = 7{,}85 \cdot 2{,}5^2 \cdot 1{,}2 = 58{,}87 \text{ кг/м}$$

Відповідь: *P=58,87 кг/м*

3. Розв'язок:

$$a = m \cdot W = 1 \cdot 8 = 8 \text{ м}$$

$$V_{\text{св.}}^{\text{I}} = a \cdot W \cdot H_{\text{у}} = 8 \cdot 8 \cdot 10 = 640 \text{ м}^3$$

Відповідь: $V_{св}$*=640 м*^{3}

4. Розв'язок:

$$Q = V_{\text{св}} \cdot q = 810 \cdot 0{,}9 = 729 \text{ кг}$$

$$l_{зар} = Q/P = 729/100 = 7{,}29 \text{ м}$$

Відповідь: $l_{зар}$*=7,29 м.*

5. Розв'язок:

$$l_{\text{пер}} = 0{,}1 \cdot W = 0{,}1 \cdot 10 = 1 \text{ м}$$

$$L_{\text{св}} = H_{\text{у}} + l_{\text{пер}} = 15 + 1 = 16 \text{ м}$$

Відповідь: $L_{СВ}$*=16 м.*

6. Розв'язок:

$$l_{зар} = Q/P = 720/80 = 9 \text{ м}$$

$$l_{\text{наб}} = L_{св} - l_{зар}^{I} = 13 - 9 = 4 \text{ м}$$

Відповідь: $l_{наб}$*=4 м.*

7. Розв'язок:

$$n_{св.} = \frac{V_{м.в}}{V_{св}} = \frac{90000}{1000} = 90 \text{ шт}$$

Відповідь: $n_{св}$*=90 шт.*

8. Розв'язок:

$$Q_{рік} = n_{св.} \cdot Q_{м.в.} \cdot m_в \cdot 12 = 80 \cdot 600 \cdot 2 \cdot 12 = 1152000 \text{кг}$$

Відповідь: $Q_{рік}=1152000$ *кг*

9. Розв'язок:

$$Ш_{ВБ} = W + b \cdot (n_р - 1) = 8 + 7 \cdot (6 - 1) = 43 \text{ м}$$

Відповідь: $Ш_{ВБ}=43$ *м.*

10. Розв'язок:

$$L_{ВБ} = W + a \cdot (n_{св.I}^{м.в} - 1) = 9 + 8 \cdot (15 - 1) = 121 \text{ м}$$

Відповідь: $L_{ВБ}=121$ *м.*

11. Розв'язок:

$$V_{ВБ} = H_у \cdot Ш_{ВБ} \cdot L_{ВБ} = 10 \cdot 45 \cdot 110 = 49500 \text{ м}^3$$

Відповідь: $V_{ВБ}=49500$ *м*^{3}.

12. Розв'язок:

$$L_б = \frac{A_р}{B} = \frac{1200000}{60} = 20000 \text{ м}$$

Відповідь: $L_б=20000$ *м.*

13. Розв'язок:

$$W_б = H_у \cdot ctq\alpha + c = 10 \cdot 0{,}176 + 2 = 3{,}76 \quad \text{м}$$

$W \geq W_б$ $8 \geq 3{,}76$

Відповідь: $W \geq W_б$ $8 \geq 3{,}76$

14. Розв'язок:

$$Q = l_{зар} \cdot P = 7 \cdot 70 = 490 \text{ кг}$$

Відповідь: $Q=490$ *кг*

15. Розв'язок:

$$\tau_{заг} = n_р \cdot \tau = 8 \cdot 17 = 136 \text{ мс}$$

Відповідь: $\tau_{заг}=136$ мс.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Анісимов, О.О. Технологія будівництва та розробки глибоких кар'єрів: Монографія / О.О. Анісімов. – Д .: Національний гірничий університет, 2015. – 272 с.
2. Вдосконалення транспортних схем видачі руди для умов ВАТ "Південний ГЗК": монографія. / М.К. Короленко та ін. Кривий Ріг: Діоніс, 2012. 344 с.
3. Геоінформаційні технології на відкритих гірничих роботах для оптимізації процесів видобутку і переробки корисних копалин: Монографія / М.В. Назаренко, Б.Ю. Собко, В.В. Лотоус, Д.В. Вінівітін, О.О. Азюковський, О.В. Ложніков, О.С. Ковров, О.М. Лазніков. – Дніпро: Журфонд, 2020. – 224 с. ISBN 978-966-934-314-7
4. Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи : підруч. // А.Ю. Дриженко. - Д.: ДВНЗ "НГУ", 2014. – 590 с.
5. Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи: терміни та їх визначення: навч. пос. / А.Ю. Дриженко, О.О. Шустов. – Д.: НГУ, 2010. – 167 с.
6. Закон України від 06.04.2000 № 1644-III "Про перевезення небезпечних вантажів" (із змінами та доповненнями).
7. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин: монографія / Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 212 с.
8. Купрін В.П., Коваленко І.Л. Розробка і впровадження емульсійних вибухових речовин на кар'єрах України.- Дніпро.- 2012.-242.
9. Кравець, В. Г., & Бойко, В. В. (2018). Методичне видання з курсу «Прикладна геофізика» для студентів спеціальності 184 «Гірництво» спеціалізацій «Геотехнічне і міське підземне будівництво»,«Розробка родовищ та видобування корисних копалин».
10. Мала гірнича енциклопедія / За ред. В.С. Білецького. – Донецьк : Східний видавничий дім, 2013. – Т. 3. – 644 с.
11. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з дисципліни "Технологія та безпека виконання підривних робіт" (розрахунок підготовки скельних гірських порід до виїмки вибухом) для студентів спеціальності 184 "Гірництво". Автори: Б.Ю. Собко, М.О. Чебанов - Дніпро: НТУ "Дніпровська політехніка", 2021 – 41 с.
12. Наукові основи раціонального природокористування при відкритій розробці родовищ / Г.Г. Півняк, І.Л. Гуменик, К. Дребенштедт, А.І. Панасенко. – Д .: НГУ. – 2011. – 568 с.
13. НПАОП 0.00-1.24-10 "Правила охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом".

14. НПАОП 0.00-1.67-13 Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні.
15. Оперативне планування і управління гірничотранспортними роботами в кар'єрі при розробці залізорудних родовищ: Монографія / Б.Ю. Собко, Д.В. Вінівітін, В.В. Лотоус, М.В. Назаренко, О.О. Азюковський, О.В. Ложніков,О.С. Ковров,О.М. Лазніков. – Дніпро: Журфонд, 2020. – 203 с. ISBN 978-966-934-269-0
16. Організація та планування відкритих гірничих робіт (системний підхід): Підруч. для магістрів спец. 184 Гірництво / Б.Ю. Собко, В.В. Панченко, В.Ю. Лотоус, Д.В. Винивитин ; Нац. техн. ун-т. "Дніпровська політехніка". – Д.: НТУ "ДП", 2020. – 200 с.
17. 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. - 194 с
18. Симанович, Г. А., Хоменко, О. Є., & Кононенко, М. М. (2014). Руйнування гірських порід вибухом.
19. Собко Б.Ю. Наукові основи валоризації процесів діяльності та розвитку гірничих підприємств / А.М. Мельников, Н.Б. Собко // Д.: НГУ. – 2011.
20. Соболєв В.В. Способи підривання зарядів вибухових речовин. Дніпро, "ЛізуновПрес", 2013.
21. Тенденції розвитку природоохоронних технологій відкритої розробки корисних копалин: моногр. / Г.Г. Півняк, Б.Ю. Собко, К. Дребенштедт, О.В. Ложніков; М-во освіти і науки України, Нац. техн. у-т "Дніпровська політехніка". – Дніпро: НТУ "ДП", 2019. – 387 с.
22. Технологія відкритої розробки пологих родовищ корисних копалин: (навч. посібник з грифом МОН України)/ І.Л. Гуменик, Г.Я. Корсунський, О.В. Ложніков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д. : НГУ, 2014. – 310 с.
23. Технологія відкритої розробки родовищ корисних копалин : навч. посіб. : у 2-х ч. Ч.2. Системи відкритої розробки родовищ / Б.Ю. Собко, Г.Д. Пчолкін, Г.Я. Корсунський, О.В. Ложніков ; Нац. техн. ун-т "Дніпровська політехніка". – Д. : НТУ "ДП", 2020. – 239 с
24. Технологія відкритої розробки родовищ корисних копалин : навч. посіб.: у 2-х ч. Ч1. Розкриття родовищ / Б.Ю. Собко, Г.Д. Пчолкін, Г.Я. Корсунський, О.В. Ложніков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д. : НГУ, 2017. – 166 с.
25. Технологія та безпека виконання підривних робіт : навч. посіб. Для ВНЗ / В.В. Соболєв, Р.М. Терещук, О.Є. Григор'єв; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2017. – 314 с.

26. Abbaspour, H., Drebenstedt, C., Badroddin, M., & Maghaminik, A. (2018). Optimized design of drilling and blasting operations in open pit mines under technical and economic uncertainties by system dynamic modelling. International Journal of Mining Science and Technology, 28(6), 839-848.
27. Aben, E. K., Malanchuk, Z., Fedotenko, V., & Orynbaev, B. (2018). improving efficiency of rock breaking using pre-weakening of rock mass. Zhurnal. No, 2, 41-47.
28. Ainalis, D., Kaufmann, O., Tshibangu, J. P., Verlinden, O., & Kouroussis, G. (2017). Modelling the source of blasting for the numerical simulation of blast-induced ground vibrations: a review. Rock mechanics and rock engineering, 50, 171-193.
29. Altiti, H., Alrawashdeh, R., & Alnawafleh, H. (2021). Open pit mining. Mining techniques: Past, present and future.
30. Ataei, M., KaKaie, R., Ghavidel, M., & Saeidi, O. (2015). Drilling rate prediction of an open pit mine using the rock mass drillability index. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 73, 130-138.
31. AyalaCarcedo, F. (2017). Drilling and blasting of rocks. Routledge.
32. Blom, M., Pearce, A. R., & Stuckey, P. J. (2019). Short-term planning for open pit mines: a review. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 33(5), 318-339.
33. Froyland, G., Menabde, M., Stone, P., & Hodson, D. (2018). The value of additional drilling to open pit mining projects. Advances in applied strategic mine planning, 119-138.
34. Hasanipanah, M., Naderi, R., Kashir, J., Noorani, S. A., & Zeynali Aaq Qaleh, A. (2017). Prediction of blast-produced ground vibration using particle swarm optimization. Engineering with Computers, 33, 173-179.
35. Kunytska, M., Lunov, A., Panasiuk, A., Iskov, S., & Shlapak, V. (2023). Digital simulation of open-pit mining organisation system. Geomate Journal, 25(109), 197-204.
36. Leonida, C. (2022). Software for Successful Mines. Engineering and Mining Journal, 223(11), 22-27.
37. Nguyen, H., Bui, X. N., & Moayedi, H. (2019). A comparison of advanced computational models and experimental techniques in predicting blast-induced ground vibration in open-pit coal mine. Acta Geophysica, 67(4), 1025-1037.
38. Persson, P. A., Holmberg, R., & Lee, J. (2018). Rock blasting and explosives engineering. CRC press.
39. Shahmoradi, J., Talebi, E., Roghanchi, P., & Hassanalian, M. (2020). A comprehensive review of applications of drone technology in the mining industry. Drones, 4(3), 34.

40. Utili, S., Agosti, A., Morales, N., Valderrama, C., Pell, R., & Albornoz, G. (2022). Optimal pitwall shapes to increase financial return and decrease carbon footprint of open pit mines. Mining, Metallurgy & Exploration, 39(2), 335-355.
41. Xie, C., Nguyen, H., Bui, X. N., Choi, Y., Zhou, J., & Nguyen-Trang, T. (2021). Predicting rock size distribution in mine blasting using various novel soft computing models based on meta-heuristics and machine learning algorithms. Geoscience Frontiers, 12(3), 101108.
42. Zarubin, M., Statsenko, L., Spiridonov, P., Zarubina, V., Melkoumian, N., & Salykova, O. (2021). A GIS software module for environmental impact assessment of the open pit mining projects for small mining operators in Kazakhstan. Sustainability, 13(12), 6971.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

А

аміачна селітра, *9, 39, 41, 43, 47, 50, 115, 119, 186*
автобуріння свердловин, *122, 125*
AN-FO, *9, 46, 119*

Б

безпілотні інформаційно-навігаційні системи, *121, 128, 140*
бризантні вибухові речовини, *9, 38, 39, 42, 51, 53, 59, 115*
буріння, *6, 10, 14, 15, 17, 21, 27, 88, 121, 130, 158, 175, 180*
бурові роботи, *6, 175*
буровий верстат, *12, 14, 15, 16, 20, 23, 27, 77, 95, 98, 121, 122, 125, 134, 163, 175, 179*
буропідривні роботи, *9, 121, 159, 166, 169*

В

величина заряду, *77, 156*
вибух, *7, 31, 33, 34, 37, 49, 51, 62, 142*
вибухові матеріали, *9, 31, 42, 52, 76, 94, 116, 182, 184, 187*
вибухові речовини, *7, 13, 31, 45, 83, 154, 155, 186*
вибухові роботи, *6, 10, 76, 184*
вибухові суміші, *9, 38, 41, 42, 45, 50, 63, 94, 119*
виробки, *6, 34*
висота уступу, *78, 87, 151*
висота розвалу, *105, 108, 110, 157*
витратні матеріали , *148, 149, 153, 156, 159*
відмовлені заряди, *184 , 185, 186*
внутрішній заряд, *6, 35*
вогневе буріння, *14, 15, 26 , 88, 180*
вогневе підривання зарядів, *7, 54*
вогнепровідний шнур, *9, 51, 54, 56, 59*

Г

гідромолот, *112*
граммоніт, *43, 45*

Д

детонаційна хвиля, *7, 38*
детонація, *7, 32, 38, 42, 53, 60, 69, 82, 92, 168, 185*
детонувальний шнур, *9, 54, 59 , 60, 69, 82, 102, 182, 184*
дистанційне управління, *12, 121, 124, 178*
діаметр свердловини, *12 , 17, 18, 24, 27, 75, 77, 85, 90, 130, 152, 164, 180*

Е

електричне підривання, *7, 53, 57, 100, 184*
електровогневе підривання зарядів, *7, 53, 57, 184*
електродетонатор, *9, 38, 54, 56, 60, 64, 100, 113, 184*
емульсійні вибухові речовини , *9, 12, 42, 45, 47, 48, 117, 119*

З

забивка, *11, 92*
заряд, *6, 11, 13, 16, 22, 31, 33, 34, 52, 58, 75, 78, 83, 93, 105, 118, 136*
заряджання, *6, 68, 80, 91, 95, 116, 142, 155, 164, 182*
засоби ініціювання, *9, 13, 31, 38, 41, 51, 53, 57, 62, 128, 137, 138, 177, 182, 184*

звукова хвиля, *32*
змішувально-зарядна машина, *9, 47, 117, 118, 142, 144*
зовнішній заряд, *6, 35, 76, 113, 114, 183, 186*
зосереджений заряд, *6, 42, 76, 78*

І

ігданіт, *42, 43, 87, 94 , 116*
ініціюючі вибухові речовини, *9, 38, 41, 55, 57, 71*

К

калієва селітра, *9, 40, 51*
капсуль-детонатор, *8, 9, 55*
короткоуповільне підривання, *11, 54, 57, 105*
кисневий баланс, *49, 50*

Л

лінія найменшого опору, *9, 79, 95, 100, 109, 163, 171, 185*

М

масовий вибух, *9, 11, 72, 110, 121, 128, 136, 141, 143, 151, 171, 175, 182, 185*
метод свердловинних зарядів, *75, 77*
метод шпурових зарядів, *75*
метод камерних зарядів, *76*
метод малокамерних зарядів, *76*
метод зовнішніх зарядів, *76*
миттєве підривання, *53, 54*

Н

набійка, *77, 79, 89, 91, 92*
негабарит, *35, 42, 62, 75, 89, 94, 110, 111, 114*
неелектричні системи ініціювання, *9, 54, 58, 62, 69, 71, 84, 85, 100, 114, 184*
Нонель, *62, 63, 65*

П

патрон-бойовик, *9, 52, 56, 61, 70, 116, 155*
перебур, *78, 85, 97, 120, 126, 152, 164, 171, 182*
повітряні проміжки, *11, 26, 81, 82, 137*
продукти вибуху, *9, 14, 19, 33, 35, 44, 92, 114*
промислові вибухові речовини, *9, 31, 33, 37, 39, 41, 48, 50, 55, 71, 75*
проміжний детонатор, *9, 58, 83, 85, 88, 91, 186*

Р

розвал гірничої маси, *35, 62, 75, 102, 105, 108, 157*
розосереджений заряд, *7, 11, 78, 79, 82, 137*
руйнування негабаритів, *75*

С

свердловина, *6, 11, 14, 17, 20, 34, 70, 75, 78, 80, 96, 112, 123, 149, 176*
свердловинні заряди, *22, 31, 42, 52, 61, 65, 69, 75, 77, 81, 84, 86, 90, 93, 103, 165, 171, 180*
сейсмічний ефект, *72, 85*
сигнали оповіщення, *182, 183*
система K-Mine, *128, 129, 135, 137, 139, 142, 145, 147*
система Micromine Beyond, *148, 157*
система Geovia Surpac, *159, 160*
сповільнене підривання, *53, 54, 139*
супутникова навігація, *123, 124*
суцільний заряд, *7, 35, 78, 87, 136*
схема підривання, *62, 75, 98, 107, 166, 168*

Т

тротил, *43, 49, 118*
тротилові шашки, *93*

У

ударна хвиля, *8, 12, 32, 34, 37, 63, 69, 72, 82, 113, 180*
ударно-повітряна хвиля, *9, 37, 63, 180, 181*

Ш

шарошкове буріння, *12, 15, 20*
швидкість детонації, *33, 42, 44, 52, 59, 84*
ширина розвалу, *103, 105, 107, 109*
шпур, *6, 11, 14, 35, 51, 70, 75, 77, 113, 115, 181*

Щ

щільність заряджання, *49, 80, 95, 118*

Навчальне видання

Собко Борис Юхимович
Ложніков Олексій Володимирович
Чебанов Максим Олександрович

БУРОПІДРИВНІ РОБТИ НА КАР'ЄРАХ

Навчальний посібник

Видано в авторській редакції

Підписано до друку 22.01.2025. Формат 30×42/2.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 12,4.
Обл.-вид. арк. 16,0. Тираж 100 пр. Зам. № .

Підготовлено до друку
у НТУ «Дніпровська політехніка».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004 р.
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19

Видрукувано в ПП Вахмістров О.Є.
Адреса Видавництва та друкарні:
49000, м. Дніпро, вул. Писаржевського, 18.