

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

МУРИЙ ВАЛЕНТИН ВАЛЕНТИНОВИЧ

**ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИБУХОВИХ
РОБІТ ПРИ ВІДКРИТІЙ РОЗРОБЦІ РОДОВИЩ КОРИСНИХ
КОПАЛИН**

184 «Гірництво»

ОПП «Відкриті гірничі роботи»

ВИПУСКНА РОБОТА

на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра

Керівник _____ / Швець Є.М. /

Завідувач кафедри _____ / Жуков С.О. /

Кривий Ріг

2024 р.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ВСТУП.....	5
Розділ 1 Умови підготовки гірничих порід вибуховим способом і аналіз наукових підходів до підвищення її якості.....	9
1.1. Чинники, що впливають на якість підготовки порід за вибухової технології.....	9
1.2. Основні теоретичні положення, що обґрунтовують якість підготовки розкривних порід вибуховим способом.....	18
1.3. Процеси, що призводять до руйнування гірських порід під час вибуху свердловинного заряду.....	24
Розділ 2 Дослідження умов застосування свердловинних зарядів з використанням пеногелесвої забійки	31
2.1. Взаємодія продуктів детонації свердловинного заряду з матеріалом забійки	31
2.2. Дослідження дії продуктів детонації свердловинного заряду в процесі руйнування гірничого масиву.....	35
2.3. Екологічні аспекти вибухових робіт на кар'єрах	37
2.4. Резерви підвищення якості підготовки розкривних порід до екскавації.....	43
2.5. Пригнічення пилу та газів піногелеутворюючими складами.....	47
2.6. Дослідження параметрів зони поширення пилогазових продуктів вибуху.....	49
Розділ 3 Дослідження ефективності використання енергії вибуху.....	52
3.1. Технологічні вимоги до якості вибухового подрібнення гірських порід.....	52
3.2. Критерії оцінки технологічної ефективності вибухових робіт.....	55
3.3. Дослідження розподілу шматків гірських порід.....	58
3.4. Прогнозування гранулометричного складу підірваної гірничої маси...	61
Загальні висновки та рекомендації.....	64
Бібліографія.....	66

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи на тему «Дослідження напрямків підвищення якості вибухових робіт при відкритій розробці родовищ корисних копалин» складається з: 75 с., 23 рис., 6 табл., 110 джерел інформації.

"Випускна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2024. - 75 с."

Актуальність теми. При розробці родовищ корисних копалин відкритим способом понад 70% всього обсягу видобутку скельних та напівскельних порід на кар'єрах чорної, кольорової металургії та кар'єрах будівельних матеріалів проводиться із застосуванням буропідривних робіт.

Ефективність видобутку корисних копалин відкритим способом досягається обґрунтованим вибором технології, зокрема, вибухової, яка передбачає використання енергії вибуху, що значною мірою визначає якість підготовки гірничої маси до виймання. Якість підготовки розкривних порід вибуховим способом часто оцінюється рівномірністю гранулометричного складу, параметрами розподілу шматків у розвалі та параметрами розвалу, які в сукупності впливають на техніко-економічні показники наступних технологічних процесів.

Отримання гірничої маси необхідної крупності з мінімальними витратами матеріальних ресурсів може бути досягнуто з урахуванням встановлення раціональної питомої витрати енергії ВР, що забезпечує її максимальне використання на подрібнення гірських порід. У цьому випадку скорочуються втрати енергії зарядів ВР на марні форми роботи вибуху, максимально підвищується його дія в середовищі.

Єдина можливість підвищити якість підготовки гірничої маси в зоні нерегульованого подрібнення полягає в посиленні фугасної дії вибуху за рахунок збільшення часу впливу на масив продуктів детонації.

Одним із засобів затримки закінчення газоподібних продуктів детонації, що розширилися при вибуху, є забійка. Забійка свердловин вважається одним з основних факторів, що впливають на якість вибухових робіт. Вона перешкоджає передчасному закінченню продуктів детонації з усть свердловин, що збільшує на 20-25% частку енергії вибуху, що використовується корисно, а також сприяє більш повному перебігу хімічних реакцій. Це дозволяє знизити утворення шкідливих газів на 25-30%.

Тому дослідження напрямків підвищення якості вибухових робіт при відкритій розробці родовищ корисних копалин є актуальним науковим завданням.

Мета й завдання роботи. Основною метою магістерської роботи є аналіз стану науково-методичної бази з питання дослідження напрямків підвищення якості вибухових робіт при відкритій розробці родовищ корисних копалин.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані **основні задачі дослідження:**

1. Виконати аналіз сучасних досліджень щодо питання підвищення якості вибухових робіт при відкритій розробці родовищ корисних копалин.
2. Дослідити ефективність використання енергії вибуху, а також умови застосування свердловинних зарядів з використанням пеногелесвої забійки.
3. Сформулювати основні напрямки подальших досліджень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВИБУХОВІ РОБОТИ, ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ, ГРАНУЛОМЕТРИЧНИЙ СКЛАД, ЗАБІЙКА СВЕРДЛОВИНИ.

ВСТУП.

Ефективність видобутку корисних копалин відкритим способом досягається обґрунтованим вибором технології, зокрема, вибухової, яка передбачає використання енергії вибуху, що значною мірою визначає якість підготовки гірничої маси до виймання. Якість підготовки розкривних порід вибуховим способом часто оцінюється рівномірністю гранулометричного складу, параметрами розподілу шматків у розвалі та параметрами розвалу, які в сукупності впливають на техніко-економічні показники наступних технологічних процесів.

«Управління якістю вибухової підготовки засноване на закономірностях, що описують взаємодію продуктів детонації (ПД) заряду вибухової речовини (ВР) з навколишнім середовищем - гірським масивом і матеріалом забійки. Існуючі засоби та методи управління якістю вибухової підготовки розкривних порід поширюються, головним чином, на зону регульованого подрібнення, яка піддається активному, сукупному впливу всіх компонентів вибуху - ударних хвиль, прямих та відбитих хвиль напруг, газоподібних продуктів детонації» [2]. Ця частина масиву знизу обмежується площиною підосви уступу, що вибухає, а зверху деякою поверхнею, утвореною зонами руйнувань породи від попереднього вибуху. Це шар породи від 2 до 4 м у покрівлі горизонту, що за існуючою термінологією є зоною нерегульованого подрібнення. Інтенсивність хвиль напруг тут послаблюється у зв'язку з різким їх згасанням, а фугасної дії вибуху виявляється недостатнім для рівномірного подрібнення породи і тому спостерігається вихід негабаритних фракцій.

Щорічно для підготовки гірничої маси до виймання буриться до 12 млн. м свердловин, витрачається до 180 тис. т промислових вибухових речовин. При щорічній вибуховій підготовці близько 120 млн. м³ розкривних порід, у шар зони нерегульованого подрібнення потрапляє до 35 млн. м. Незважаючи на постійну тенденцію до збільшення питомої витрати ВР вихід негабариту становить 200-250 тис. м³ на рік. Ця обставина вимагає до 30-40 млн. грн.

додаткових витрат на вторинне подрібнення. Підвищується екологічне навантаження на довкілля, оскільки питомі витрати ВР при вторинному подрібненні накладними зарядами досягає 2 кг/м^3 .

Отримання гірничої маси необхідної крупності з мінімальними витратами матеріальних ресурсів може бути досягнуто з урахуванням встановлення раціональної питомої витрати енергії ВР, що забезпечує її максимальне використання на подрібнення гірських порід. У цьому випадку скорочуються втрати енергії зарядів ВР на марні форми роботи вибуху, максимально підвищується його дія в середовищі.

Єдина можливість підвищити якість підготовки гірничої маси в зоні нерегульованого подрібнення полягає у посиленні фугасного дії вибуху за рахунок збільшення часу впливу на масив продуктів детонації.

Одним із засобів затримки закінчення газоподібних продуктів детонації, що розширилися при вибуху, є забійка. Забійка свердловин вважається одним з основних факторів, що впливають на якість вибухових робіт. Вона перешкоджає передчасному закінченню продуктів детонації з усть свердловин, що збільшує на 20-25% частку енергії вибуху, що використовується корисно, а також сприяє більш повному перебігу хімічних реакцій. Це дозволяє знизити утворення шкідливих газів на 25-30%.

З великої різноманітності матеріалів, досліджених до теперішнього часу як забійки з урахуванням конструкцій свердловинних зарядів, найбільшого поширення у виробничих умовах знайшли:

- суцільна забійка буровою дрібницею, що здійснюється вручну або механізовано;
- гідрозабійка, що утворюється, в основному, за рахунок природного припливу з обводненого масиву.

Незважаючи на те, що ці види забійок приваблює невисокими витратами при виконанні, а їх величина в конкретних гірничо-геологічних умовах обґрунтовується з урахуванням максимально можливого охоплення вибухового масиву дроблячою дією зарядів ВР, конструктивно вони

визначають свій основний недолік, що полягає в зменшенні тієї частини масиву, яка піддається сукупному активному впливу продуктів детонації.

Досвід застосування на рудних кар'єрах вибухової технології з використанням як забійки твердих, пористих матеріалів (тирси, шлаку і пінополістиролу) наочно свідчить про підвищення якості подрібнення порід. Однак, незважаючи на свої переваги щодо підвищення якості підготовки порід до екскавації, пористі матеріали, що застосовуються як забійка, так і буровий дрібняк, сприяють підвищенню екологічній небезпеці вибухових робіт. Ця обставина, у свою чергу, вимагає проведення додаткових інженерно-технічних заходів, пов'язаних із придушенням пилогазових викидів. На виконання цих заходів потрібні значні витрати матеріальних та трудових ресурсів.

За існуючих обсягів вибухових робіт щороку в атмосферу викидається до 15 тис. тонн пилу. Цей чинник відчутно впливає на екологічну обстановку у регіоні. У його значимість ще більше зростатиме. Тому доцільно розглядати і ширшу категорію якості — якість вибухових робіт, яка характеризується не лише параметрами, що визначають якість підготовки гірничої маси до виймання, а й сукупністю показників, пов'язаних з екологічними наслідками вибухових робіт - розмірами зони розсіювання шкідливих домішок. пилогазової хмари (ПГХ) та їх концентрацією в атмосфері

В умовах ринкової економіки витрати на вибухову підготовку розкриття є одним з основних елементів собівартості видобутку твердих корисних копалин відкритим способом, тому зниження витрат на буропідривні роботи при підвищенні якості підривних робіт безсумнівно дасть позитивний ефект.

При виборі наукового напрямку з інтенсифікації процесу вибухової підготовки розкриття доцільно орієнтуватися не тільки на розробку технологічних рішень з приготування та використання в конструкції свердловинних зарядів низькощільних пористих забійних матеріалів на основі піногелів, використання яких дозволяє механізувати забійку, але й на боротьбу з наслідками масових вибухів. Піногелі одночасно володіють властивостями посилення фугасної дії вибуху та пилоподавлення, оскільки

містять у своєму складі воду.

Наявність води у вибухових свердловинах характерно для більшості кар'єрів. Осушення вибухових свердловин перед розміщенням в них зарядів, дозволяє в ряді випадків, використовувати в них більш дешеві неводостійкі ВР і реалізувати можливість раціонального використання води, видаленої зі свердловин, для приготування піногелевої забійки.

Значним доказом доцільності використання піногелеутворювальних складів при веденні вибухових робіт є можливість приготування забійки з доступних матеріалів, за допомогою модернізованих осушуючих машин.

У зв'язку з цим науково-технічне обґрунтування підвищення якості вибухових робіт, що передбачає не тільки якісну вибухову підготовку порід за рахунок розширення величини зони регульованого подрібнення, а й одночасне зниження шкідливих викидів в атмосферу, є важливою проблемою, вирішення якої дозволить підвищити ефективність тивність відкритої геотехнології в цілому, а тому має велике практичне значення.

Тому дослідження напрямків підвищення якості вибухових робіт при відкритій розробці родовищ корисних копалин є актуальним науковим завданням.

Мета й завдання роботи. Основною метою магістерської роботи є аналіз стану науково-методичної бази з питання дослідження напрямків підвищення якості вибухових робіт при відкритій розробці родовищ корисних копалин.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані **основні задачі дослідження:**

1. Виконати аналіз сучасних досліджень щодо питання підвищення якості вибухових робіт при відкритій розробці родовищ корисних копалин.
2. Дослідити ефективність використання енергії вибуху, а також умови застосування свердловинних зарядів з використанням пеногелевої забійки.
3. Сформулювати основні напрямки подальших досліджень.

РОЗДІЛ 1

УМОВИ ПІДГОТОВКИ ГІРНИЧИХ ПОРІД ВИБУХОВИМ СПОСОБОМ І АНАЛІЗ НАУКОВИХ ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЇЇ ЯКОСТІ

1.1. Чинники, що впливають на якість підготовки порід за вибуховою технологією

Якість підготовки розкривних порід при вибуховій технології оцінюється рівномірністю гранулометричного складу, параметрами розподілу шматків у розвалі та параметрами розвалу, які в сукупності впливають на техніко-економічні показники наступних технологічних процесів. Вона залежить від цілого ряду факторів природного та технічного характеру (рис. 1.1).

Вплив основних чинників на процес руйнування масиву гірських порід вибуховим способом описав Г.П. Демидюк [1], який виділив наступні групи властивостей: характеристики міцності породи, обумовлені силами зчеплення і характеризуються опором стиску, розтягу і зсуву; стисливість та пористість, що збільшують втрати енергії на пластичні деформації; в'язкість, що підвищує енергоємність руйнування; щільність, що визначає енерговитрати на подолання сил інерції; зернистість і сланцюватість, що характеризують кількість слабких місць та дефектів у породі; тріщинуватість, що полегшує руйнування масиву, але перешкоджає подрібненню великих окремоостей. Напрями з вдосконалення вибухових робіт на кар'єрах, сформульовані в роботах [2, 3], були розроблені з урахуванням груп властивостей розкривних порід. Це створення нових типів ВР зі збільшеною зоною хімічної реакції; вдосконалення конструкції зарядів, що забезпечують замикання продуктів вибуху; удосконалення параметрів вибухових робіт, що визначають раціональне просторове розміщення заряду у масиві; застосування способів та умов підривання, що забезпечують збільшення періоду дії на масив.

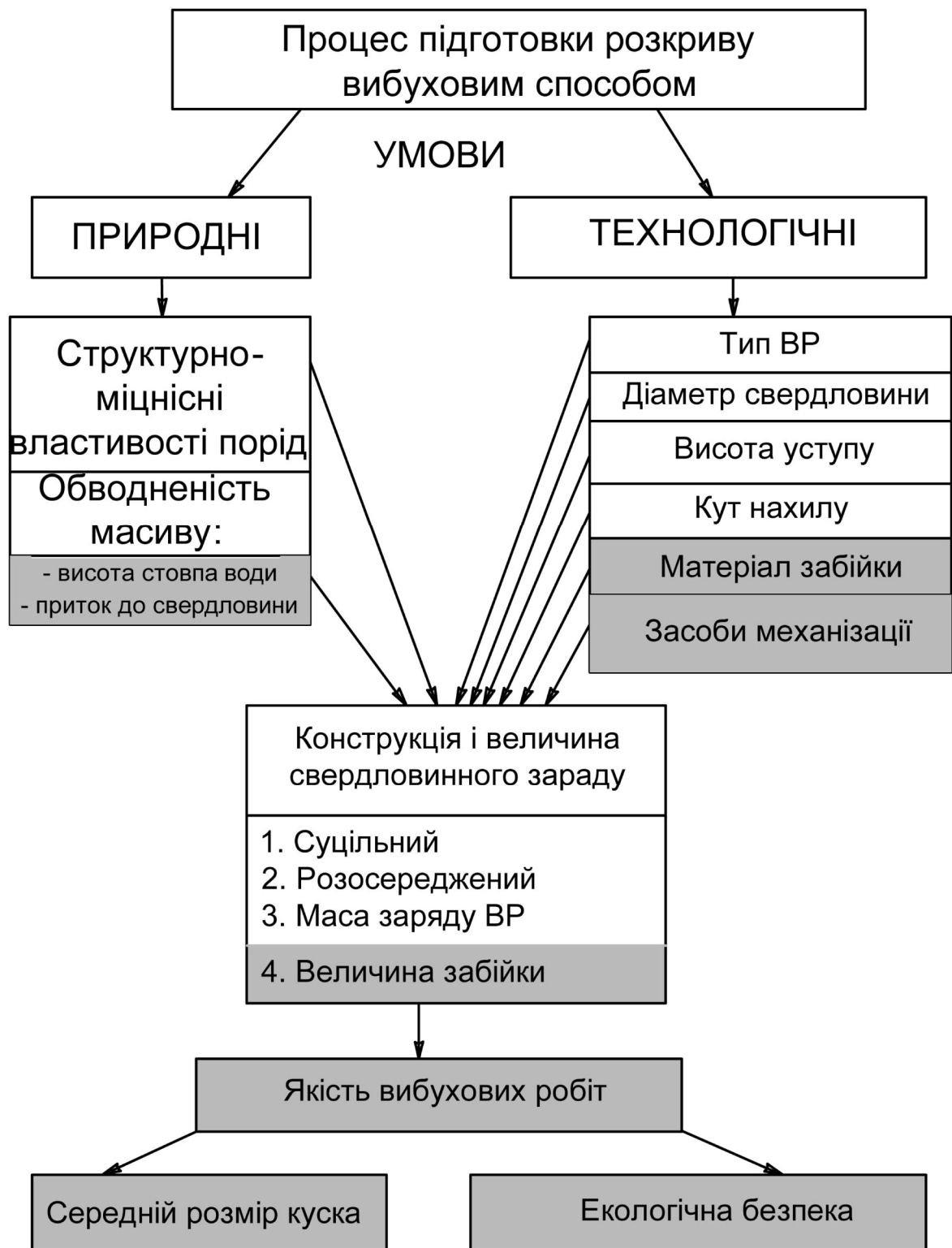


Рис. 1.1. Класифікація елементів системи управління якістю вибухових робіт

Тип ВР є основним показником щодо значення максимального тиску і швидкості його наростання, ці параметри є технічними характеристиками ВР. У роботах [4, 5] ширина зони хімічної реакції ВР розглядається як параметр, що дозволяє збільшити час дії тиску продуктів детонації на масив. При

виборі типу ВР для умов відкритих гірничих робіт враховують обсяг породи, що відбивається вибухом, її міцність, тріщинуватість, обводненість та енергетичні характеристики самої ВР. Вважається, що економічно доцільно у породах низької міцності застосовувати менш потужні ВР. Це пояснюється відповідністю детонаційних характеристик ВР властивостям порід та умовам їх навантаження [6]. Проте питома витрата ВР при цьому, зазвичай, зростає.

Питома витрата обраного типу ВР, від якої залежить повний запас енергії заряду, значно впливає на якість подрібнення порід. Великий досвід підривних робіт на кар'єрах свідчить у тому, що зміна питомої витрати ВР дозволяє у межах регулювати ступінь подрібнення порід. Однак, у ряді випадків при руйнуванні тріщинуватих порід, особливо коли розміри природних окремощ близькі до прийнятої величини кондиційного шматка, значне підвищення питомої витрати ВР не дає відчутних результатів [7]. Питома витрата ВР в основному визначається висотою уступу і параметрами сітки свердловин, які в конкретних гірничогеологічних умовах і вимогах технології розраховуються за відомими методиками [2, 8-12], а потім уточнюються дослідними вибухами. Відомо також, що при підриванні уступу свердловинними зарядами умовно існують дві зони - регульованого та нерегульованого подрібнення. У зоні регульованого подрібнення зміною питомої витрати ВР можна досягти практично будь-якої якості подрібнення. У другій зоні, тобто, з боку укосу уступу та верхнього майданчика (на глибину розміщення забійки) вплив питомої витрати не суттєвий [10, 13].

Вплив діаметра свердловин на якість вибухової підготовки гірничої маси у різних дослідників діаметрально протилежний. На підставі теоретичних та експериментальних досліджень стосовно відкритої розробки вугільних родовищ встановлено [7], що в дрібноблочних, сильнотріщинуватих породах, при транспортній системі розробки, економічно виправдано струсове підривання з питомою витратою 0,2-0,4 кг/м³ при діаметрі свердловин 0,190-0,320 м, а для підготовки великоблочних і виключно великоблочних порід - свердловин діаметром 0,150-0,270 м при

питомій витраті 0,5-1,0 кг/м³ так як збільшення витрат на буровибухові роботи компенсується зниженням вартості наступних технологічних процесів.

Зміна кута нахилу свердловин у межах від 90 до 60 градусів забезпечує умови для більш рівномірного розміщення заряду ВР у масиві, щодо відкритої поверхні, що сприяє збільшенню корисної роботи вибуху по подрібненню та переміщенню гірничої маси. Досвід проведення промислових вибухів сприяв обґрунтуванню кута нахилу свердловин у різних гірничогеологічних умовах. Так, при транспортній системі розробки великоблочних порід рекомендується приймати кут нахилу в межах 70-75 градусів, а в дрібно- і середньоблочних породах при висоті уступу до 15 м можливе застосування вертикальних свердловин. При безтранспортній системі розробки кут нахилу свердловин вибирається з урахуванням забезпечення максимального ефекту від вибухового переміщення породи і становить 60-75 градусів [7].

Залежно від кута нахилу свердловин і висоти уступу змінюється лінія опору по підшві (ЛОЗП) уступу. Теоретично і експериментально доведено те граничне значення ЛОЗП, яку здатний подолати вибух заряду ВР певного діаметра в конкретних гірничо-геологічних умовах. На думку Г.П. Демидюка і Н.В.Мельникова [12] доцільно приймати таку лінію опору по підшві, при якій заряд ВР по своїй дії займає проміжне положення між зарядом найбільшого камуфлету і зарядом дії, що спучує.

Конструкція заряду є технологічним фактором, що дозволяє змінити тривалість дії вибуху на гірниче середовище. Регулювання параметрів конструкції заряду призводить до зміни форми вибухового імпульсу і дає можливість керувати механізмом та інтенсивністю подрібнення гірських порід вибухом.

Основу досліджень з управління дією вибуху шляхом зміни конструкції заряду з осьовими чи радіальними проміжками, заповненими повітрям чи іншим інертним середовищем заклали роботи Н.В. Мельникова та Л.М.

Марченка [3], а потім продовжені І.Ф. Жаріковим [14-17]. Автори вважають, що покращене подрібнення породи досягається застосуванням розосереджених по довжині свердловини зарядів з повітряними компенсаційними проміжками між ними. Така конструкція заряду сприяє замиканню продуктів вибуху, що збільшує обсяг породи, в якому відбувається інтерференція вибухових хвиль і яка сприяє більш інтенсивному та рівномірному її подрібненню. Результати досвідних вибухів у породах середньої блочності свідчать, що при розподілі свердловинного заряду, питому витрату ВР можна знизити приблизно 10 % [7].

За інших рівних умов збільшення питомого імпульсу, навіть при меншому максимальному тиску в свердловині, сприяє використанню якісної забійки [18-25].

Аналіз науково-технічної інформації дозволяє виявити, що у відкритих гірничих роботах забійка свердловин виконується вручну і механізовано, тобто, за допомогою забійних машин. Як забійковий матеріал при механізованому способі забійки застосовують бетон, щебінь, пісок, глину, відсів збагачення, шлак, гідрогель, пінополістирол. При забійці свердловин вручну переважно використовується буровий дрібняк, яка в зимовий час ще й перемішується зі снігом.

Трудомісткість забійкових робіт дуже висока. На 1,0 т ВР необхідно в середньому до 1,3 т твердої забійки. Тому на практиці за першої ж можливості забійку не виконують, компенсуючи втрати енергії вибуху свердловинного заряду без забійки - збільшенням питомої витрати ВР.

У роботах [18, 22] доводиться, що замикаюча дія забійки забезпечує підвищення тиску в зарядній камері, а, отже, і умов для більш повного перебігу хімічних реакцій, що призводять до підвищення на 20-25% корисної роботи вибуху та зниження на 25-30 % виходу шкідливих газів. Особливо важливою ця обставина стає при застосуванні найпростіших аміачно-селітрених ВР з відносно невеликими швидкостями детонації, які вимагають для передачі енергії в середу підвищення тривалості впливу на неї продуктів

вибуху.

Одним із параметрів, що характеризують ефективність забійки, є її величина. Рекомендована величина забійки $l_{заб}$ за умовою повного охоплення вибухового масиву подрібнюючою дією заряду ВР за даними деяких дослідників наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Основні формули визначення величини забійки

№ з/п	Формула	Автор
1.	$l_{заб} = (0,7-0,8)W$	М.Б. Еткін [176]
2.	$l_{заб} = 0,5 \cdot l_{зар}$	Ф.А. Баум [20]
3.	$l_{заб} = 0,5 W$	Б.Н. Кутузов [97]
4.	$l_{заб} = (15 \div 25)4$	Н.Я. Репін [147]
5.	$l_{заб} = l_n + 2R/3$	А.В. Бірюков [32]

Примітка: W – лінія опору по підшві; $l_{зар}$ – довжина заряду ВР; d_c – діаметр свердловини; R – радіус зони подрібнення; l_n – довжина перебуру.

Формули (1) - (3) у табл. 1.1 рекомендуються для визначення величини забійки в свердловинних зарядах на рудних кар'єрах, а формули (4) і (5) – на вугільних розрізах. У роботі [9] величина забійки враховує товщину шару породи, зруйнованої без розпушення в зоні перебування попереднього вибуху (коефіцієнт розпушення дорівнює одиниці).

Однак у роботі [7] зазначається, що шар породи в покрівлі уступу не піддається безпосередній дії подрібнюючих зарядів і є зоною нерегульованого подрібнення. Наявність зони нерегульованого подрібнення призводить до погіршення кускуватості гірничої маси. При певному діаметрі свердловини (d_c) і відповідної йому величині забійки $(15-25)d_c$, питома вага зони нерегульованого подрібнення з боку верхнього майданчика уступу в загальному обсязі гірничої маси, що відбивається, залежить (на думку авторів) від висоти уступу, яку слід враховувати як чинник під час розрахунку кускуватості. Ця частина масиву знизу обмежується площиною підшви уступу, що вибухає, а зверху деякою поверхнею, утвореною зонами руйнувань породи від попереднього вибуху. Згідно з роботами [27-29]

відомо, що зона нерегульованого подрібнення становить 15-25 радіусів свердловини. Це шар породи в покрівлі горизонту величиною від 2 до 4 м. Інтенсивність хвиль напруг тут послаблюється у зв'язку з різким загасанням, а фугасної дії вибуху виявляється недостатнім для рівномірного подрібнення породи, тому спостерігається вихід негабаритних фракцій.

Проаналізувавши наявні відомості про роль твердої забійки [3, 10, 18, 26, 30] та її величини [7, 9, 13, 26, 30, 31] на якість підготовки гірничої маси при веденні вибухових робіт, встановлено, що незважаючи на використання раціонального поєднання значень питомої витрати, висоти уступу, діаметра свердловин, кута їх нахилу, довжини колонки заряду ВР і т.д., внаслідок промислових вибухів не виключається вихід негабариту.

Негабаритні розміри шматків гірської породи визначаються виходячи з параметрів вантажно-транспортного і дробаркового обладнання, що застосовується. У гірничій промисловості максимальний розмір габаритних шматків (G) пов'язують із місткістю (E) ковшів екскаваторів. $G = 0,75\sqrt[3]{E}$ або транспортних (E_{TP}) засобів $G = 0,5\sqrt[3]{E}$ [13].

Для посилення опору продуктам вибуху свердловинного заряду створюють умови, що сприяють ущільненню забійного матеріалу за рахунок додаткового заряду ВР, що вибухає в матеріалі забійки [28, 32]; підривання укорочених, парнозближених свердловин [10, 28, 33]; розміщення в забоїчному матеріалі конусоподібних вставок [16].

У низці робіт [34-36] доводиться ефективність використання пористих матеріалів, зокрема, пінополістиролу і тирси в якості забійки і заповнювача проміжку, що розосереджує заряд ВР. Експериментальними вибухами встановлюються раціональні параметри проміжку з полістиролу, що дорівнює 0,12-0,2 висоти уступу. Критерієм вибору довжини проміжку було якість подрібнення гірничої маси. При використанні проміжку з полістиролу вихід негабариту знижувався в 1,5 рази. Відомо, що пінополістирол відносно дорогий матеріал, тому застосування такої технології обмежене і не знаходить широкого застосування. Тому з метою економії пінополістиролу в

роботі [37] пропонується використання між зарядом ВР і твердою забійкою демпфіруючого шару, що сприяє збільшенню замикаючого ефекту. Пояснення ефекту будується на припущенні про те, що пористий демпфуючий шар здатний знизити швидкість поширення ударної хвилі по забійці щодо поширення її по масиву. Під впливом пружної хвилі напруг, на думку авторів, відбувається зміщення масиву і стиснення твердої забійки на величину, необхідну для заклинювання її в свердловині.

Незважаючи на свої переваги, пористі матеріали, що застосовуються як забійка, як і буровий дрібняк, сприяють підвищенню екологічної небезпеки вибухових робіт.

З позицій екології кращою є гідрозабійка, яка не містить твердих частинок. При відпрацюванні обводнених горизонтів з високим статистичним рівнем підземних вод гідрозабійка формується шляхом природного припливу води в свердловини.

Аналітичне дослідження механізму дії гідрозабійки наведено в [38], де розглянуто характер розподілу нормальних тисків розпору в набивці під впливом ударної хвилі. У роботі [39] розглядається метод розрахунку повного імпульсу, обумовленого бічним розпором рідини і їй подібних матеріалів, що використовуються як забійки, які при вибуху передають тиск рівномірно на всі боки. Показано, що повний імпульс вибуху, що передається стінкам свердловини, зростає під впливом бічного розпору рідинної забійки на 26 % порівняно з піщаною. У разі, коли гідрозабійка використовується в сухих свердловинах, визначається наявність гідроізолюючих оболонок. Це збільшує трудомісткість операцій при набиванні свердловин за рахунок значних обсягів води, яку необхідно доставляти до місця вибуху і заливати в оболонки.

Компенсувати ці недоліки намагаються за допомогою гідрогелевої забійки. Гідрогелева забійка, маючи тиксотропні зв'язки, не розтікається по тріщинах. Механізм взаємодії продуктів вибуху з гідрогелевою забійкою досліджено в [39, 40]. Автори припускають, що в момент вибуху по забійці

поширюється ударна хвиля, яка стискає шари гідрогелю на контакті «заряд-забійка». Гідрогель деформується, розриваючи тиксотропні зв'язки, і переходить у рідкий стан. Внаслідок теплообміну між рідиною та продуктами вибуху, температура останніх зменшується, тиск у зарядній порожнині падає. Гази, насичені рідиною викидаються з гирла свердловини з меншою швидкістю і меншою кількістю шкідливих домішок. Водночас авторами зазначено, що в промислових умовах у нижній частині свердловини на висоту 2-2,5 м використовувалася забійка з щебеню, з наступним заливанням до гирла гідрогелем. В той же час, авторами не досліджено умови формування забійки. Не вказано, чи залишилося (при заливці гідрогелю) в порожнинах між шматками щебеню повітря, яке могло сприяти посиленню замикаючого ефекту.

У роботі [22] розглянуто характер зміщення забійки з різних матеріалів під час вибуху шпурового заряду. Як ВР використовувалися патрони амоніту №6 ЖВ. Довжина заряду становила 0,36 м, довжина шпуру 1,0 м, його діаметр 0,042 м. В результаті цих експериментів встановлено, що нижній шар забійки з глибини 0,6 м від гирла шпуру під дією продуктів детонації починає зміщуватися зі зростаючою швидкістю. Через 2 мс швидкість руху зменшується, потім швидкість знову зростає. Цей ефект автори пояснюють тим, що забійка під тиском газів і реакції стінок свердловини виявляється в складному напруженому стані, і до деякого критичного моменту ця система перебуває в рівновазі, поки не відбудеться ущільнення і зріз матеріалу забійки або руйнування середовища. Нижня частина забійки, що отримала ударний імпульс, передає його сусіднім частинам, в результаті чого відбувається різке ущільнення забійного матеріалу і збільшення сил тертя, як між частинками забійного матеріалу, так і між забійкою і стінками свердловини.

У роботі [28] висувається гіпотеза про те, що з фізичних міркувань найбільш високими замикаючими властивостями володіє обтяжена рідина з бульбашками повітря. Близький до такого фізичного стану матеріал може

бути створений, на думку автора, під час вибуху всередині стовпа рідинної забійки невеликого заряду ВР (активна забійка).

Аналіз результатів досліджень показує, що наявність проміжку з низькощільних матеріалів у крупнозернистій забійці, в якій повітря міститься між зернами, невеликі повітряні проміжки в гідрозабійці (між ампулами), або бульбашки газу у воді створюють ефект затримки зсуву забійки, і, отже, підвищують час впливу продуктів вибуху масив.

Питання про те, забійку з якого матеріалу вважати якісною, залишається недостатньо дослідженим. Вважаючи, що руйнування гірничого масиву здійснюється спільною дією енергії хвиль напруг і тиску газоподібних продуктів вибуху, переважна така забійка, яка замикає газоподібні продукти вибуху на час, необхідний для руйнування гірничого масиву хвилями напруг до утворення тріщин, через які ці продукти вириваються у повітря. Матеріал цієї ж забійки повинен сприяти зниженню поширення пилогазових викидів.

Таким чином, в результаті аналізу існуючих уявлень про вибухову технологію при підготовці розкривних порід до виймання, одним з основних факторів, що впливають на якість руйнування породи, є забійка. Технологія виконання забійки передбачає механізацію виконання цієї трудомісткої операції. Однак на практиці забійка вибухових свердловин буровим дрібняком, здійснюється вручну. Технологія застосування низькощільних пористих матеріалів у конструкції свердловинного заряду як забійка з метою підвищення якості вибухових робіт, вивчена недостатньо повно.

1.2. Основні теоретичні положення, що обґрунтовують якість підготовки розкривних порід вибуховим способом

Існуючі промислові ВР, при їх виготовленні характеризуються встановленими їм параметрами, зокрема. швидкістю детонації за відповідної щільності ВР, теплою вибуху, питомим обсягом газів.

М.А. Кук [41] свідчить про існування трьох основних теорій вибухового

руйнації гірських порід вибухом.

Ударно-хвильова теорія або теорія лійкоутворення. Основними елементами ударно-хвильової теорії є імпеданси ВР і породи, що визначають роль відбитих хвиль у механізмі руйнування [42-44].

Теорія радіального тріщиноутворення, розроблена групою шведських учених [45], в якій визначальна роль у механізмі руйнування відводиться хвилі зсуву на ранній стадії поширення ударної хвилі та подальшому розвитку радіальних тріщин. Вважається, що ця теорія також ударно-хвильова, хоча роль відкільних руйнувань у вільній поверхні в ній зводиться до мінімуму.

Третя теорія відома за назвою енергетична [46, 47]. За цією теорією тиск продуктів детонації стискає вибухаючий масив, приводячи його в напружений стан, що полегшує подальше подрібнення, і створюючи в масиві швидкісне поле, що сприяє наступній заключній стадії первинного подрібнення.

Деякі теорії вибухового руйнування гірничого середовища, ґрунтуються на твердженні, що під час вибухових навантажень тверді тіла мають текти, тобто підкоряються законам пластичності. У цьому випадку для теоретичного опису поведінки середовища користуються математичним оператором механіки суцільного середовища, зокрема гідродинаміки.

Перша спроба описати процес руйнування масиву гірських порід під впливом вибуху у разі неоднорідності середовища трапляється у роботах [48, 49]. З основних положень енергетичної теорії вибуху, М.В. Мачинський пояснює виникнення тріщин у слабких місцях вибухового масиву, як результат дії хвилі напруги, після проходження якої тріщини продовжують розвиватися і в якийсь момент часу стуляються, внаслідок чого гірська порода виявляється роздробленою.

Фізично глибоко обґрунтовані уявлення якісної картини дії вибуху на середу викладено у роботах [24, 50, 51] Г.І. Покровського, в яких розглядаючи положення автотодельності поширення ударних хвиль при

вибуху та основні енергетичні залежності, встановлено ряд параметрів ударної хвилі, що виникає в середовищі під час вибуху сферичного заряду ВР. Цими параметрами є максимальне значення надлишкового тиску хвилі стиснення у твердому середовищі та час його дії у хвилі стиснення.

Основними передумовами гідродинамічної гіпотези О.Е Власова є: несжимаємість середовища, уявлення гірничого середовища як ідеальної рідини, миттєве поширення енергії вибуху у середовищі. Вважаючи, що енергія вибуху передається гірничому середовищу у вигляді кінетичної енергії, рух несжимаємого середовища виражається у вигляді відомих рівнянь гідродинаміки ідеальної рідини [52-54]:

$$\begin{aligned} \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} &= 0 \\ \frac{du}{dt} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dP}{dx} &= 0 \\ \frac{dv}{dt} + \frac{1}{\nu} \cdot \frac{dp}{dy} &= 0; \quad \frac{dw}{dt} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dz} = 0 \end{aligned} \quad (1.1)$$

де u, v, w - складові швидкості; ρ - щільність вибухового середовища, P - тиск.

Ввівши допоміжну функцію потенціалу швидкості

$$\varphi = \frac{1}{\rho} \int P dt \quad (1.2)$$

та визначивши величини компонентів швидкості, як похідні цієї функції, О.Є. Власов звів завдання вирішення рівняння Лапласа:

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{d^2\varphi}{dy^2} + \frac{d^2\varphi}{dz^2} = 0 \quad (1.3)$$

Компоненти швидкості визначаються виразом:

$$u = -\frac{d\varphi}{dx}; \quad v = -\frac{d\varphi}{dy}; \quad w = -\frac{d\varphi}{dz}. \quad (1.4)$$

Положення гідродинамічної теорії використовувала у своїх роботах і група дослідників під керівництвом М.А. Лаврентьєва [55]. Розглядаючи твердий ґрунт як ідеальну стисливу рідину, вони створили теоретичні основи

спрямованого переміщення ґрунту дією вибуху.

Цікавим є висновок О.М. Ханукаєва у тому, що швидкість переміщення частинок породи певного типу ВР залежить від властивостей порід. Використовуючи залежність $U = U(\rho)$, їм отримано рівняння [6]:

$$\frac{-5}{\rho} - \frac{-4}{\rho} - \frac{-}{\rho} \cdot \left[1 + \left(\frac{2 \cdot U}{C} \right)^2 \right] + 1 = 0 \quad (1.5)$$

Рішення цього рівняння методом послідовних наближень дозволяє за одним параметром U (масової швидкості зміщення частинок) визначити відносну зміну щільності, а, отже, і тиск на кордоні «ВР-середовище».

Японський дослідник Кутао Хіно [56] пояснює механізм руйнування порід з позиції теорії руйнування відбитою хвилею. Погляди японського дослідника багато в чому збігаються з концепціями О.М. Ханукаєва. Однак Кутао Хіно дійшов висновку, що міцність породи на стиск не стала, а перебуває в лінійній залежності від бічного розпору [57]:

$$S_c = a + bp, \quad (1.6)$$

де S_c - межа міцності породи на стиск; p - бічний розпір; a і b - експериментальні коефіцієнти для певного типу породи.

Кутао Хіно встановив залежності виду:

$$N = \frac{P_D}{S_t} = 2^n; l = \frac{df}{N}, \quad (1.7)$$

де N - кількість відкольних шарів, що утворюються в породі ударною хвилею; P_D - максимальний тиск продуктів детонації ВР; S_t - межа міцності породи при розтягуванні; df - ЛОЗП, що дорівнює глибині повної вирви, утвореної відколами; l - товщина відкольних шарів; n - коефіцієнт згасання хвилі.

Ці залежності дозволили йому визначити ступінь подрібнення породи і зробити висновок про те, що чим більший бічний розпір, тим більша кількість відшарувань і, отже, вищий ступінь подрібнення породи.

Японський дослідник Т. Сакураї [58], відчуючи ВР на баллистическом маятнику, встановив, що частка енергії, що витрачається при вибуху на

бризантні і фугасні форми роботи, коливається в значних межах для різних ВР.

Англійські дослідники Хоке, Пак, Еванс, Джеймс та інші під час вивчення дії вибуху та поширення хвиль напруг у гірських породах також виходять із положень теорії руйнації середовища відбитими хвилями [47].

Є.П. Максимова [59], проводячи експериментальні вибухи на бетонних кубиках, дійшла висновку, що основний обсяг руйнувань викликається тріщинами, що поширюються від зарядної камери. Обсяг руйнувань, вироблений відбитими хвилями, незначний.

Узагальнені уявлення Ф.А. Баума про механізм руйнування породи вибухом, найбільш повно відображають істотні сторони цього процесу, що протікає під сукупним впливом продуктів детонації, ударних хвиль (УХ) та хвиль розвантаження (розрідження). У часі та за природою фізичних явищ, що визначають його, вибух характеризується декількома послідовними стадіями [60, 61].

На контакті «заряд-порода» діє закон стисливості, що визначає початкові параметри і ряд закономірностей поширення ударних хвиль [62, 63].

Друга стадія процесу починається після виходу УХ на вільну поверхню. Вона пов'язана з поширенням відбитої від цієї поверхні хвилі розрідження і її взаємодією з хвостовою частиною хвилі стиснення, що біжить. В результаті цього процесу в породі виникають значні напруги, що розтягують, і в кінцевому результаті - нові тріщиноутворення. Перетин цих тріщин і природних мікро- і макротріщин, що є в породі, з системою радіальних тріщин, що виникають (що потенційно намітилися) в ній на попередній стадії розвитку вибуху, призводить до утворення просторової сітки тріщин, характер якої в певною мірою визначає можливі розміри та кількість роздроблених при вибуху шматків породи. Роль відкольних явищ у процесі подрібнення порід вибухом дуже невелика.

Третя, заключна стадія процесу руйнування зводиться в основному до

впливу на породу, що вже розширилася до $r = r_{кр}$ продуктів детонації. На момент повного свого розширення ПД ще містять близько 50% енергії вибуху від її загальної кількості. Під впливом цієї енергії відбуваються різні види доруйнування породи (проникнення газів у тріщини, відрив окремих шматків від масиву тощо), переміщення зруйнованої маси породи та розліт окремих шматків масиву.

С.А. Християнович та Є.І. Шемякін [64] провели дослідження динамічної стисливості міцних гірських порід та металів для діапазону тисків 100-150 Кбар, тобто в умовах наближених до вибухових робіт у гірських породах. У цьому діапазоні відбувається перехід твердих тіл з пружного в пластичний і, можливо, в гідродинамічний стан.

Деякі додаткові дані про взаємозалежність інтенсивності подрібнення породи від різних фізичних факторів вибуху містяться у роботах Ф.І. Кучерявого, М.Г. Новожилова та М.Ф. Друкованого [2, 32, 65]. Вони експериментально довели, що на інтенсивність подрібнення гірських порід, поряд із величиною тиску на фронті хвилі, значний вплив надає час дії вибуху на масив.

Аналіз наукової інформації показує, що уявлення різних авторів про механізм руйнування породи вибухом, взяті окремо, не дають повного пояснення цього складного фізичного процесу підготовки порід до виймання. Віддати перевагу тій чи іншій думці неможливо, оскільки кожне з них більшою чи меншою мірою відповідає певним гірничотехнічним умовам. Немає необхідності ігнорувати одну точку зору та розвивати іншу, оскільки вони однаково плідні для практики буропідривних робіт. Однак раціональний синтез основних результатів досліджень, наведених у цьому розділі, дозволяє певною мірою розкрити сутність і складність аналізованого процесу і використовувати його як інструмент для визначення параметрів буропідривних робіт, що дозволяють підвищити якість підготовки розкривних порід при вибуховій технології. У зв'язку з цим проблема пошуку нових можливостей управління якістю вибухової підготовки гірських порід до екскавації стає дуже важливою.

1.3. Процеси, що призводять до руйнування гірських порід під час вибуху свердловинного заряду

Для створення напруги, що призводить до руйнування розкривних порід в умовах відкритих гірничих робіт, використовують енергію промислових ВР, що характеризуються щільністю, швидкістю детонації, теплотою вибуху, питомим обсягом газів вибуху. Похідними від цих параметрів залежно від структурно-міцнісних властивостей середовища є такі параметри, як: тиск на фронті ударної хвилі, масова швидкість частинок за фронтом ударної хвилі; розміри зон пластичних деформацій, тріщиноутворення (подрібнення) та сейсмічний вплив.

Розмаїття структурно-міцнісних властивостей гірських порід, складність і швидкість перебігу явищ, якими супроводжується вибух, визначає неможливість точного вирішення завдань вибухового руйнування середовища. Якісну картину поведінки гірничого масиву під час вибуху в ньому одиночного свердловинного заряду можна проілюструвати наступним чином. Після практично миттєвої детонації заряду ВР на його місці утворюються газова камера, в якій стрибкоподібно підвищується тиск. У масиві при взаємодії з продуктами детонації виникає складне не стаціонарне поле напруг, при якому за проміжок часу, що визначається мікросекундами, тиск досягає максимуму, а потім падає практично до вихідного значення.

У разі використання бризантних ВР у зарядній камері виникає тиск $P_{зк}$, визначається за рівнянням Абеля - Нобеля [30, 66]:

$$P_{зк} = \frac{P_0 V_0 T_{вз} \rho_{ВР}}{273(1 - \alpha \rho_{ВР})} \quad (1.8)$$

де P_0 - атмосферний тиск при температурі 273° К ($P_0 = 1,01 \cdot 10^5$ Па $\approx 0,1$ МПа); V_0 - обсяг газів вибуху ВР, м³; $T_{вз}$ - температура вибуху, °К; $\rho_{ВР}$ - щільність заряджання ВР, кг/м³; α - коволюм, м³/моль.

Для реального газового процесу при вибуху промислового ВР у розрахунках необхідно враховувати реальні обсяги, займані газоподібними продуктами вибуху. У роботі [67] пропонується максимально можливий тиск визначати із співвідношення:

$$P_{\max} = \frac{P_0 V_z T_g}{V_{zk} T_{cp}} \text{ або } P_{\max} = 3,48 \rho_{BP} V_z T_g \cdot 10^{-4} \quad (1.9)$$

де P_0 - атмосферний тиск, МПа; V_z - обсяг газів, що утворюються під час вибуху, м³/кг; T_g - температура вибуху, °К; T_{cp} - температура середовища ($T_{cp} = 291^\circ \text{ К}$); V_{zk} - об'єм зарядної камери, м³; ρ_{BP} - густина ВР, кг/м³.

Багато промислових ВР у реальних зарядах детонують зі зниженою швидкістю чи зі швидкістю змінною за довжиною заряду. У загальному випадку наведені вище співвідношення можна використовувати для обчислення параметрів тільки початкової частини хвилі напруги, що поширюється в середовищі від заряду ВР. Тому для негомогенних ВР, до яких належить більшість промислових ВР, внаслідок нестаціонарного протікання детонації за довжиною заряду або її низьких значень за наявності інертних домішок прийнято вважати, що початковий середній тиск продуктів детонації в зарядній камері дорівнюватиме половині детонаційного [62]:

$$P_{cp} = \frac{0,5 \rho_{BP} D^2}{(n+1)} \quad (1.10)$$

Рівняння ударної складової тиску «холодного» стиснення, що визначає динамічну стисливість гірських порід, описується ударною адіабатою [60]

$$P_y = B \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^n - 1 \right] \quad (1.11)$$

де P_y - тиск на фронті ударної хвилі; B - функція ентропії.

Експериментально Ф.А. Баум довів, що для скельних порід в діапазоні $2 \cdot 10^9 - 2 \cdot 10^{10}$ Па параметр B не залежить від ентропії і практично залишається постійним, що дає можливість розглядати ударні хвилі в акустичному наближенні. Тоді:

$$B = \frac{\rho_0 C_0^2}{A_{me}} \quad (1.12)$$

де C_0 - швидкість звуку в масиві; n , A_{me} - коефіцієнти, що визначаються експериментально.

У цьому випадку, якщо відома швидкість звуку в масиві, можна не

вдаючись до експериментів встановити закон стисливості порід при високих тисках. Так, наприклад, [61, 68, 69] наводяться значення параметрів B , n , $A_{тв}$, отриманих в результаті експериментів (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 - Експериментальні значення констант

Назва			Константи		
Джерело інформації	Досліджувана порода	Інтервал значень P , Па	n	$A_{тв}$	B , Па
О.Ф. Баум [61]	Вапняк	$2 \cdot 10^9$ - $2 \cdot 10^{10}$ та більше	4	4	$1,31 \cdot 10^{10}$
	Мармур	$2 \cdot 10^9$ - $2 \cdot 10^{10}$ та більше	4	4	$2,05 \cdot 10^{10}$
	Граніт	$2 \cdot 10^9$ - $2 \cdot 10^{10}$	4	4	$2,35 \cdot 10^{10}$
В.М. Гоголів [68]		$<4 \cdot 10^9$	3	3	-
		$>4 \cdot 10^9$	5	5,5	-
Е.О.Мінделі [69]	Вапняк Мармур	$(1,5-6) \cdot 10^9$	7	-	$0,8 \cdot 10^8$ $4,35 \cdot 10^9$

О.М. Ханукаєв [70] висловлює думку про те, що вираз (1.4.6) при $P > 4 \cdot 10^9$ Па дає помилку обчисленні до 20%, так як не враховує зміни температури. Проте І.Ф. Океанії [71], аналізуючи поширення ударних хвиль у твердих тілах при тиску менше $5 \cdot 10^{10}$ Па, приходять до висновку, що тиск ударного стиснення відрізняється від тиску «холодного» стиску не більше ніж на 10%, тому пропонує для спрощення розв'язування рівнянь поширення ударних хвиль приблизно вважати ізотерму, зентропу і ударну адіабату – такими, що збігаються.

Відомо, що при вибуху заряду ВР у гірських породах та у воді ударна хвиля має місце при стрибкоподібному підвищенні тиску до 10^9 Па, а в сипучих середовищах та в повітрі при тисках порядку 10^6 Па. Після ударного навантаження і наступного ізентропійного розширення щільність твердої середовища виявляється більше початкової, а води та повітря, менше

початкової, тобто механізм дисипації енергії в породах, ґрунтах, воді та повітрі розрізнений за своїм механізмом [2, 25, 30].

Таким чином, для визначення початкової напруги на кордоні «ВР-порода» використовуються рівняння стану ВР, породи та закони збереження маси, імпульсу та енергії. Втрати енергії вибуху, пов'язані з відображенням на межі розділу, мають деякий екстремум, що відповідає рівності акустичних імпедансів ВР і породи, а напруга на межі розділу залежить від співвідношення детонаційного імпедансу та акустичної жорсткості породи [28].

За зоною пластичних деформацій ударна хвиля трансформується у хвилю напружень та її згідно [60] на відстані $r_k > 2r_0$ можна розглядати в акустичному наближенні, де стисливість середовища можна знехтувати, а тиск визначається:

$$P_k = P_n \left(\frac{r_0}{r_x} \right)^n \quad (1.13)$$

де n - показник, що змінюється в залежності від відстані r_x от 2 до 1.

«Максимальна напруга на фронті хвилі σ і швидкість масового зміщення породи U пов'язані між собою залежністю» [23]:

$$\sigma = \frac{U \rho_0 C_P}{q} \quad (1.14)$$

де q - прискорення сили тяжіння; C_P - швидкість поздовжньої хвилі.

Таким чином, зміна напруги в неоднорідних породах, як зазначено в [29, 72], повинна мати деяку ступінчасту форму. Вибухові хвилі в гірських породах не мають такої форми, проте, загальна закономірність падіння напруг підпорядковується експоненційному закону. При аналітичному розгляді залежність для характерної ударної хвилі має вигляд [6, 41, 68]:

$$P = P_{\max} e^{\frac{1}{r}} \quad (1.15)$$

де P_{\max} - максимальний тиск, який у істинній ударній хвилі виникає на фронті

хвилі; t - час необхідний для досягнення хвилею даного профілю фіксованої точки; τ - час релаксації.

Реальний гірський масив складається з неоднорідних порід з природною тріщинуватістю. Тріщини та порожнини можуть бути заповнені повітрям або водою. Хвиля напруг, зустрічаючи на своєму шляху поверхні розділу середовищ і зазнаючи численні заломлення і відбиття, дещо розсіюється. Це пояснюється тим, що на межі розділу хвиля трансформується на минулу та відбиту.

Продукти детонації здійснюють роботу з переміщення кордону розділу «ВР-середовище», яка закінчується у певний момент, коли тиск газів стає рівним силі опору гірських порід стиску. Робота продуктів детонації відповідно до закону збереження та перетворення енергії йде на збільшення потенційної та кінетичної енергії частинок середовища біля кордону «ВР-середовище». Процес вибуху в замкнутому обсязі поділяється на два етапи: детонацію і розширення продуктів детонації, що прореагували. У початковий момент розвитку вибухового перетворення ВР тиск у вибуховій камері стрибком передається на межу розділу «ВР-середовище». Другий етап некерований і визначається лише законом адіабатичного розширення газів у середовищі. На межі розділу «продукти детонації – середовище» виконується умова $P_{BP} = P_{cp}$; $U_{BP} = U_{cp}$, тобто тиск у досить малому обсязі середовища на кордоні дорівнює зовнішньому тиску з боку продуктів детонації, а масова швидкість частинок середовища дорівнює швидкості продуктів детонації. На відстані 3-6 радіусів заряду від вибуху ударної хвилі, трансформуючись у хвилю напруги, випромінюється в масив, відриваючись від фронту руйнувань. Тиск у продуктах детонації з відстанню знижується значно швидше, ніж у ударній хвилі [60]:

$$P_x = \overline{P}_n \left(\frac{r_0}{r_x} \right)^6 \quad (1.16)$$

де P_x - тиск газоподібних продуктів детонації; \overline{P}_n - початковий, середній

тиск продуктів детонації у момент вибуху; $\frac{r_0}{r_x}$ - відносна відстань.

Якісні закономірності поширення хвилі швидкостей зміщень теоретично досліджено у роботі [53, 54]. За припущенням О.Е.Власова, амплітуда хвилі швидкостей зсувів для циліндричного або сферичного заряду може бути описана виразом:

$$v(r) = U_0 \bar{r}^{-n} \quad (1.17)$$

де U_0 - швидкість зміщення на стінці зарядної камери; \bar{r} - відносна відстань від розглянутої точки до зарядної камери; n - ступінь згасання амплітуди хвилі зміщень.

При вибуху свердловинного заряду в гірських породах дію продуктів детонації на середу прийнято розглядати як складову трьох частин заряду (рис. 1.2). Верхню, найближчу до відкритої поверхні - у вигляді півсфери в напівпросторі; середню - циліндричного заряду в напівпросторі, що діє у бік відкритої поверхні, тобто укусу уступу і в протилежний бік у безмежний простір і, нарешті, нижню торцеву, як півсферу в безмежному просторі. Такий підхід до аналізу процесів, що відбуваються під час вибуху в масиві, підтверджується результатами низки досліджень [2, 6, 25].

Так у роботі [25] показано, що у формуванні вирви викиду бере участь не весь свердловинний заряд, а тільки його частина, що становить 8-10% від загальної маси заряду ВР. Довжина колонки цієї частини заряду ВР відповідає $5^{\text{н}}$ - $6^{\text{н}}$ діаметрам заряду. Тому, відповідно до рекомендацій [2, 29] торцеві частини заряду слід розглядати як зосереджені, а їх дію в гірничому середовищі, як дію сферичного заряду. Дія на масив основної частини свердловинного заряду, що становить більше 20 діаметрів, розглядається як циліндричного.

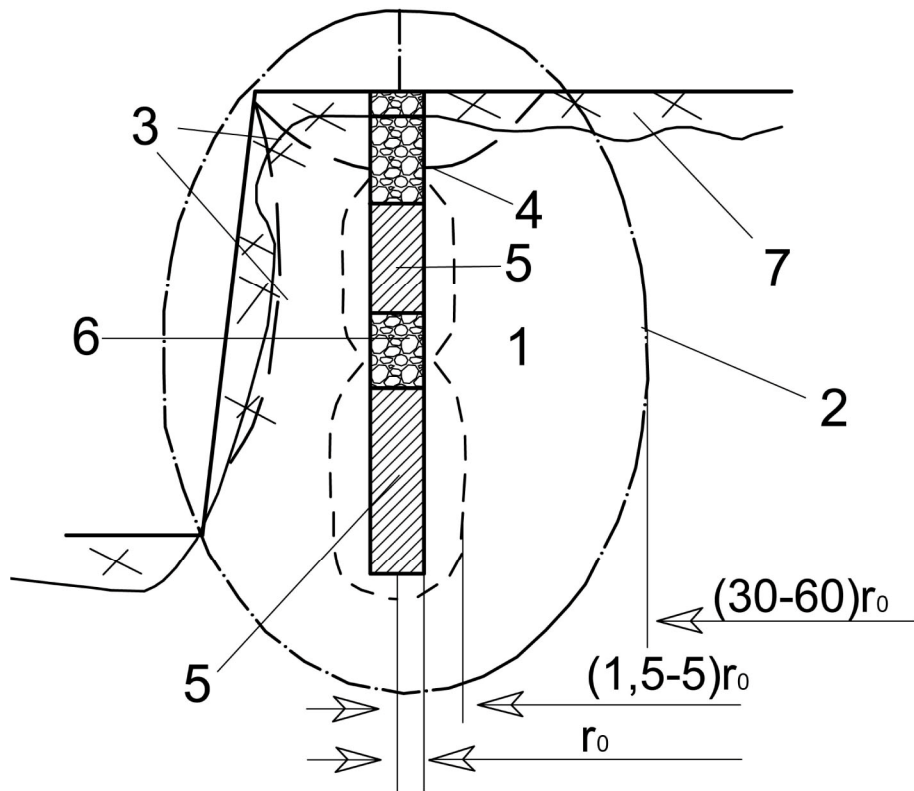


Рис. 1.2. Схематичне зображення параметрів вибухової хвилі у масиві від свердловинного заряду: 1 - межа зони пластичних деформацій; 2 – фронт хвилі стиснення; 3 - фронт відбитої хвилі; 4 - забійка; 5 – заряд ВР; 6 – інертний проміжок; 7 – зона руйнувань від попереднього вибуху; r_0 - радіус заряду

Таким чином, у просторі та в часі хвиля швидкостей зміщень має імпульсивний характер, зростаючи від 0 до деякого максимального значення величини в даній точці простору і потім асимптотично убуваючи. Для сферичної частини хвилі, що поширюється масивом від торця подовженого свердловинного заряду в околиці неактивної частини свердловини, де розміщується забійка, різниця швидкостей зміщень в гірничому масиві і забійці, може істотно вплинути на процес руйнування породи.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕНОГЕЛЄСВОЇ ЗАБІЙКИ

2.1. Взаємодія продуктів детонації свердловинного заряду з матеріалом забійки

Від торця верхньої частини заряду ВР у матеріалі забійки поширюється плоска хвиля. Такий підхід до розгляду питання цілком виправданий тим, що площа поверхні фронту хвилі обмежена стінками свердловини. Незаряджена ВР частина свердловини може бути заповнена повітрям (вибух без забійки); твердою забійкою (найчастіше буровий дрібняк); гідрозабійкою (вода, гідрогель) і низькощільною забійкою (швидкотвердіюча піна, тирса і т.п., матеріали або рідина з бульбашками повітря).

На відміну від гірських порід у масиві практично будь-який з матеріалів, що застосовуються як забійка, містить значно більше повітря або рідини і під впливом ударної хвилі таке багатокомпонентне середовище має особливий закон стиснення та розвантаження, що враховує властивості компонентів та їх вміст. Згасання вибухових хвиль у багатокомпонентних середовищах значно зростає зі збільшенням вмісту газоподібного компонента, а швидкість звуку може бути на порядок меншою, ніж у кожному з компонентів окремо. У вільному стані компоненти матеріалу забійки стискаються по адіабаті Пуассона для газу і за рівнянням Тета для твердих і рідких середовищ [73, 74].

При підриванні без забійки над зарядом знаходиться повітря при атмосферному тиску. Оскільки щільність повітря на кілька порядків менша за щільність і тиск продуктів детонації, можна вважати, що швидкість зміщення середовища на межі розділу середовищ не менше, ніж швидкість детонації ВР.

Ударна хвиля ПВ на торці заряду, спрямованому в незаряджену ВР

частину свердловини на межі розділу «ВР-повітря» переходить у ударно-повітряну хвилю (УПВ). Надлишковий тиск на фронті УПВ у незарядженій частині свердловини можна визначити за формулою М.А. Садовського [50]:

$$\Delta P_{\phi} = 88 \frac{q}{SR} + 14,6 \left(\frac{q}{SR} \right)^{\frac{2}{3}} + 1,81 \left(\frac{q}{SR} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.1)$$

де q - всі частини заряду, що діє у бік горизонтальної відкритої поверхні, кг;
 S - площа перерізу свердловини, м²; R - поточна координата від торця заряду по довжині незарядженої частини свердловини, м.

Швидкість ударної хвилі з часом зменшується, наближаючись до швидкості звуку повітря. Для наближених розрахунків можна визначити час

дії надлишкового тиску $t = 0,92 \frac{R}{c} \sqrt[6]{\frac{q}{RS}}$. Слід зазначити, що при русі по

порожнині свердловини (відповідно до гідродинамічної теорії) тиск, що чиниться на стінки, дорівнюватиме надлишковому тиску на фронті ударної хвилі.

Таким чином, стінка свердловини відчуватиме напруги падаючої та відображеної поперечної складової хвилі напруг з боку масиву та надлишкового тиску ударної повітряної хвилі з боку торця заряду ВР. Продукти детонації не зустрічають будь-якого опору та вільно вириваються в атмосферу, знижуючи фугасний ефект вибуху.

Матеріали, що використовуються як тверда забійка, розрізняються за фізико-механічними властивостями і характером опору виходу газових продуктів детонації зі свердловин. В даний час використовують забійку з пластичних матеріалів (глиняна, піщано-глиниста, з суглинків); дрібнозернисту сипку забійку (піщана, шлакова, з відходів збагачувальних фабрик і бурової дрібниці); крупнозернисту забійку (щебінь, суміш щебеню з піском).

Всі теоретичні роботи, присвячені вивченню забійки, засновані на припущенні, що її матеріал є щільним і нестисненим. У результаті час

вильоту забійки, розрахований до того ж без урахування сил тертя, значно відрізняється від експериментальних даних.

Вперше складний характер руху різних шарів стисливої зернистої забійки при вибуху шпурових зарядів було досліджено Е.О. Мінделі [22]. Авторам встановлено, що залежність швидкості вильоту суцільної нестисненої забійки (стрижня) від часу має вигляд параболічної кривої, і не підпорядковується закону руху зернистого забійного матеріалу.

У роботах [75-79] встановлено, що більш інтенсивно ударні хвилі згасають у низькощільних газорідних середовищах.

Спочатку дослідження з поширення ударних хвиль у бульбашкових середовищах розвивалося з позицій створення захисних бульбашкових екранів при підводних вибухах, а піни розглядалися, як засіб пожежогасіння в шахтах небезпечних по газу та пилу, коли можливі вибухи та спалахи газоповітряної суміші [80].

У роботі [80] експериментальним шляхом встановлено, що при взаємодії ударної хвилі з тиском на фронті 0,3 МПа в піні кратністю 200 в залежності протяжності пінної пробки можливий викид, руйнування, стиснення, пружне відновлення та в'язкопластичний перебіг пінного середовища. Явище викиду пінної пробки спостерігалось, коли її довжина була меншою за деяку критичну. Ударна хвиля та потік газів за фронтом руйнували осередки пінного каркасу та сприяли частковому випаровуванню рідкої фази. Зі збільшенням довжини пінної пробки характер взаємодії ударної хвилі із нею змінювався. Замість руйнування комірчастої структури спостерігалось її стиснення, а у разі перевищення критичної довжини пробки, що дорівнює 6,5 м, відбувається пружно-пластичне відновлення. В результаті релаксації пружних напруг пінна пробка набувала зворотного руху, швидкість якого залежала від тиску на фронті прямої ударної хвилі і при його зміні від 0,2 до 0,4 МПа змінювалася від 90 до 150 м/с. Пінна пробка завдовжки 45 м забезпечувала повне згасання ударної хвилі.

У бульбашкових середовищах з концентрацією рідини до 500 кг/м^3

зниження ударного навантаження при взаємодії хвилі з бульбашковим екраном деякої товщини має особливості [78]. Елементарна бульбашка розглядається як вільна сферична поверхня, а фронт хвилі, що проходить по бульбашковій структурі, розглядається як плоский. Плоский фронт ударної хвилі, взаємодіючи зі сферичною поверхнею бульбашки, під час обтікання його поверхні, передає різним точкам поверхні бульбашки неоднакові початкові поступальні швидкості, які можна розглядати як масові. Несиметричне схлопування бульбашок призводить до перетворення ударної хвилі. Внаслідок цієї взаємодії ударна хвиля розширюється на дві хвилі. Перша хвиля - це трансформований шаром бульбашок імпульс ударної хвилі та випромінювання шару. Друга хвиля - це випромінювання енергії хвилі, поглиненої пухирцевим шаром, і яка у процесі взаємодії з бульбашкою дисипує, переходячи в кінетичну енергію радіальних пульсацій та внутрішню енергію стисненого газу. Зрештою вся енергія, поглинена бульбашковим шаром, за відсутності інших видів втрат у момент закінчення схлопування бульбашок буде зосереджена в стиснутому газі, визначивши дисипацію енергії ударної хвилі і амплітуду випромінювання, а інерційність процесу схлопування – затримку максимуму випромінювання (рис. 2.1).

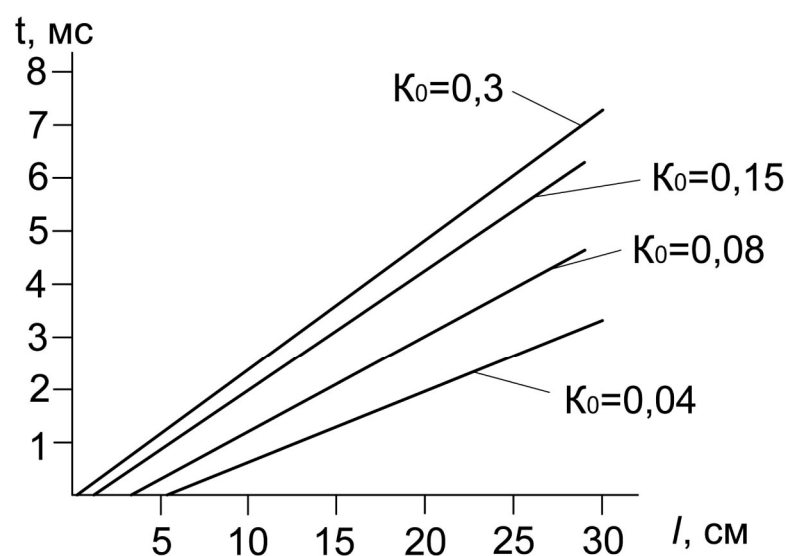


Рис. 2.1. Залежність часу затримки випромінювання енергії хвилі від довжини шару піни з різною концентрацією газу (K_0) у рідині

Середовища, що складаються з компонентів з різною стисненністю (газ, рідина) у першому наближенні прийнято розглядати як баротропні середовища, тобто $P = P(p)$. В основу цієї моделі покладено припущення, що кожен із цих компонентів стискається за законом, властивим йому у вільному стані.

Якщо за нормальних умов щільність повітря становить $\rho_1 = 0,0012$ кг/м³, щільність води $\rho_2 = 1000$ кг/м³, а швидкість звуку відповідно $C_1 = 300$ м/с и $C_2 = 1500$ м/с, то при вибуху еталонної ВР швидкість ударної хвилі, з падінням тиску в бульбашковому середовищі змінюється до швидкості звуку.

Таким чином, розглянувши теоретичні та експериментальні дослідження, можна констатувати, що низькощільні бульбашкові суміші внаслідок затухаючого характеру пульсацій бульбашок спричиняють акустичні втрати хвилі, тобто дозволяють погасити швидкість ударної хвилі. Це явище призводить до затримки на деякий проміжок часу випромінювання енергії ПД. Масова швидкість частинок низькощільних бульбашкових сумішей загасає значно швидше, ніж у гірському масиві.

2.2. Дослідження дії продуктів детонації свердловинного заряду в процесі руйнування гірничого масиву

Дія вибуху заряду ВР у гірничому середовищі характеризується імпульсом тиску в зарядній камері, що збуджує в середовищі імпульс напружень. Імпульси тиску та напруги визначаються зміною величини тиску або напруги в часі та інтервалом часу застосування навантаження [81]. Параметри імпульсу напруги в середовищі визначаються параметрами імпульсу тиску в зарядній камері [26].

$$I = \int_0^t P(t) dt \quad (2.2)$$

У роботі [2], виходячи із закону зміни тиску, встановлено:

$$P = P_{cp} \left(\frac{t}{t_1} \right)^{\frac{2}{3}} e^{-\left(\frac{t}{t_1} \right)^{\frac{2}{3}}} \quad (2.3)$$

Теоретична залежність $P = f(t)$, виведена Г.І. Покровським [50] відбиває вибуховий імпульс, що характеризує дію вибуху заряду в середовищі.

Вибуховий імпульс у суцільному середовищі має позитивну та від'ємну фази. За наявності двох вільних поверхонь (уступу) рух масиву в їх бік починається тільки після дії позитивної фази, що характеризується часом детонації заряду і наростанням тиску до максимуму (t_1), часом, протягом якого тиск у свердловині залишається практично незмінним (t_2) та часом спучування призми викиду під дією залишкового тиску продуктів вибуху (t_3) (рис. 2.2).

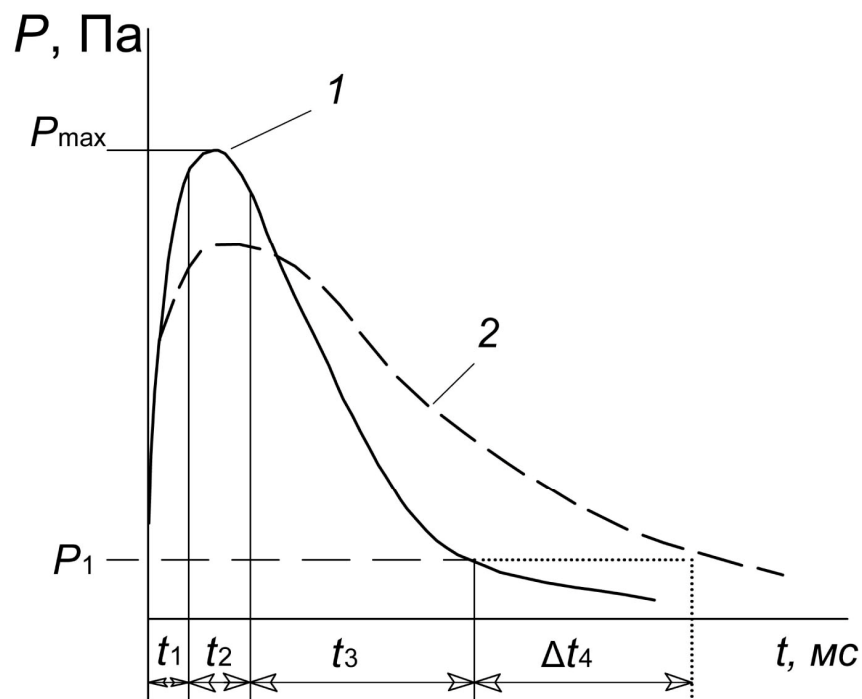


Рис. 2.2. Зміна тиску продуктів вибуху на стінки свердловини:

1 – при суцільній конструкції заряду; 2 - при конструкції заряду, що збільшує тривалість позитивної фази імпульсу вибуху.

До цього моменту гази, що розширилися, почнуть проникати в тріщини, утворені тангенціальною складовою прямої хвилі стиснення і витікати зі свердловини. Після вильоту забійки починається також процес витікання газів зі свердловини. Швидкість витоку газів буде тим більшою, чим сильніший тиск у свердловині. Процес тріщиноутворення та подрібнення масиву відбувається в основному протягом часу t_3 , після чого тріщини розкриваються, і відбувається процес викиду зруйнованого масиву.

Бризантне руйнування масиву є результатом впливу ударної хвилі в дуже обмеженому обсязі (не більше 1%) від обсягу подрібнення, визначається характером головної частини імпульсу і виражається в інтенсивному переподрібненні та переущільненні породи [3, 28, 82]. З позицій гірничої практики цей процес негативний, так як призводить, по-перше, до збільшення втрат корисних копалин внаслідок його переподрібнення, а по-друге, як наслідок, до підвищення початкової концентрації пилу в пилогазовій хмарі. Для більшості промислових ВР основна частка із загальної енергії вибуху припадає на фугасну дію. Це обставина пояснюється тим, що на момент повного розширення ПД містить понад 50 % загальної енергії вибуху, тоді як у зону напруг переходить трохи більше 15% [26, 81, 82, 83].

Таким чином, імпульс вибуху є важливим керованим фактором, що впливає на якість подрібнення гірничого масиву. Зміна параметрів імпульсу можливе за рахунок початкового тиску продуктів детонації та часу їх впливу на гірничий масив. Тому, пошук шляхів збільшення питомого імпульсу вибуху при використанні промислових ВР з невисокими швидкостями детонації є одним з найважливіших завдань, що дозволяють підвищити якість підготовки гірничої маси до екскавації.

2.3. Екологічні аспекти вибухових робіт на кар'єрах.

Буровибухові, вантажно-транспортні роботи та відвалоутворення є основними неорганізованими джерелами шкідливих викидів. Причому на

частку буровибухових робіт припадає до 35-40% загальної маси забруднюючих речовин, які негативно впливають на довкілля [84].

При бурінні свердловин утворюється буровий дрібняк та пил. Однотипність сумарних характеристик виходу продуктів руйнування при шарошечному бурінні дозволяє описувати їх рівнянням одного виду, функцією розподілу Вейбулла [85]:

$$P(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{x_0}\right)^n\right] \quad (2.4)$$

де x_0 , n - параметри масштабу та форми. При $x_0=x$ - розмірі частинки та $P(x) = y_{xi}$ - виході частинок i - ої фракції, при будь-якому значенні параметра форми n функція розподілу x_0 є постійною і дорівнює 0,632.

Параметр x_0 дає наочне уявлення про порівняльний фракційний склад бурової дрібниці. Зі зменшенням x_0 збільшується вміст дрібних фракцій. Величина x_0 залежить від міцності породи, типу інструменту та величини контакту його з вибоєм, частоти обертання та зусилля подачі. Залежно від технічного стану системи пиловловлення бурового верстата від 2 до 10 % пилу переходить в аерозоль, не вловлюється фільтрами, а викидається в атмосферу. Уловлений буровий дрібняк і пил після періодичного розвантаження бункерів системи пиловловлення залишається на блоці і потім частково використовується як забойковий матеріал при зарядженні свердловин.

Відповідно до Ф.А. Баума [61] у ударну хвилю переходить від 40 до 60% енергії. При достатній інтенсивності та тривалості хвильового впливу на породу плоскі дислокації при зустрічі одна з одною або іншими перешкодами переходять в об'ємні. В результаті впливу на масив ударної хвилі, навколо кожного з них утворюється зона пластичних деформацій, в якій порода передрібнюється в тонкодисперсний пил. У роботі [86] наведено результати досліджень гранулометричного складу зруйнованого середовища на різних відстанях від центру камуфлетного вибуху зосередженого заряду. З

аналізу графіків видно, що досить рівномірний розподіл уламків на периферії в міру наближення до центру вибуху стає однорідним, з переважанням частинок одного розміру.

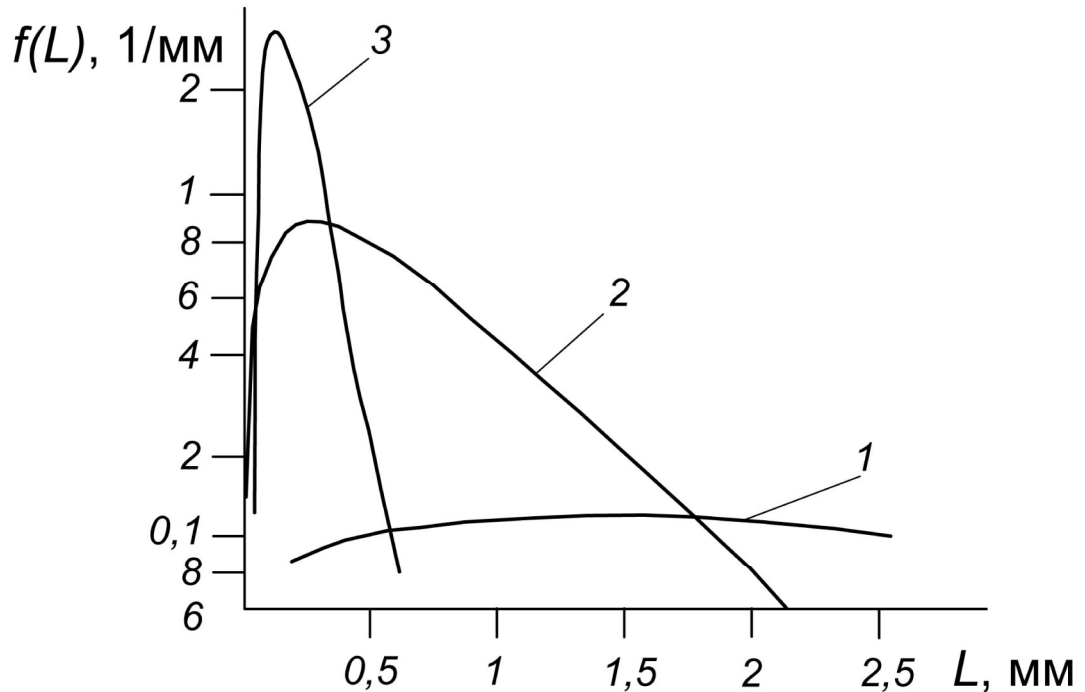


Рис. 2.3. Графіки густини функції розподілу частинок каніфолі на різних відстанях від центру вибуху: 1 – $22r_0$; 2 – $10,4r_0$; 3 – $6,5r_0$

Аналогічний результат отримано в [87] при експериментах з дослідження процесу утворення пилу (фракцій менше 250 мкм) в колчедановій руді (рис. 2.4).

Видно, що на відстані до $2\bar{r}$ вся зруйнована маса складається з пилової фракції, а на відстані $6\bar{r}$ її практично немає.

Дослідженнями П.В. Бесеневича, В.А. Михайлова, Г.А. Янченко [88-91] встановлено механізм утворення пилогазової хмари.

Вириваючись із усть свердловин, перегріті газу, насичені пилом гальмуються об нерухомий або малорухливий шар повітря і уповільнюють свій рух. Однак за короткий проміжок часу (30-60 с) газоподібні продукти вибуху не встигають охолонути, тому під впливом конвекції пилогазова

хмара піднімається доти, поки її температура не стане рівною температурі навколишнього середовища. Нижня межа розширення пилогазового хмари визначається поверхнею землі, а зверху дифузія обмежується більш стійкими шарами повітря. Таким чином, пилогазова хмара формується: з бурової дрібниці, що залишилася на блоці після буріння свердловин; частинок матеріалу твердої забійки; породи, зруйнованої вибухом у зоні пластичних деформацій і при переміщенні її у розвал. У роботі [92] наведено відомості про питома виділення пилу $q_{ТВ}$ при підриванні гірських порід деякими промисловими ВР з питомою витратою від 0,1 до 0,9 кг/м³ (рис. 2.5). Видно, що зі збільшенням питомої витрати ВР у межах реальних значень, питома виділення пилу зростає.

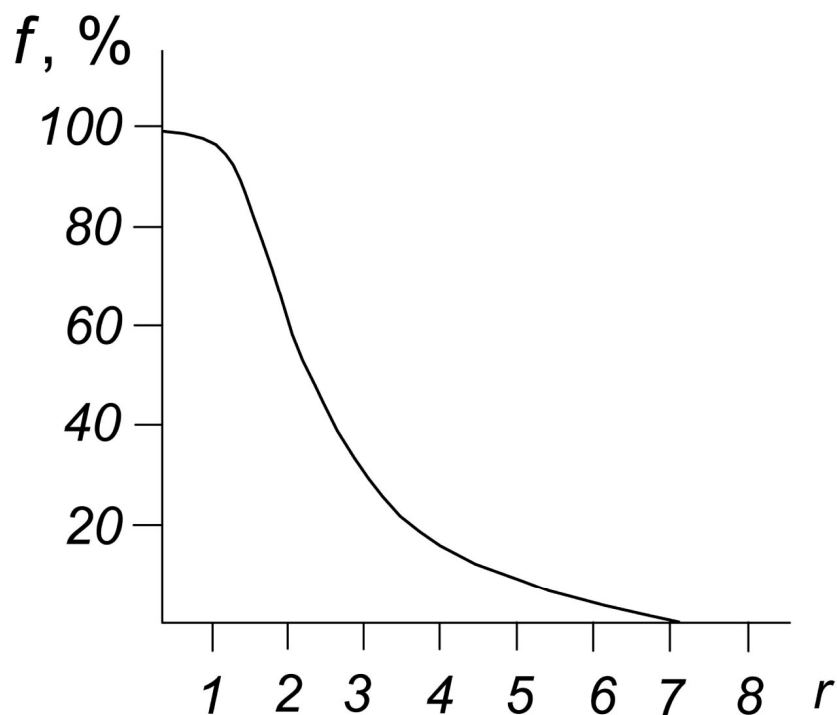


Рис. 2.4. Вихід f пилкових фракцій до 250 мкм в залежності від відносної відстані \bar{r} до центру вибуху [113]

Для опису аерозолю, що утворюється при масовому вибуху, в роботі [93] пропонується кількісна оцінка масової частки частинок різної крупності за початкової концентрації c_n в ПГХ:

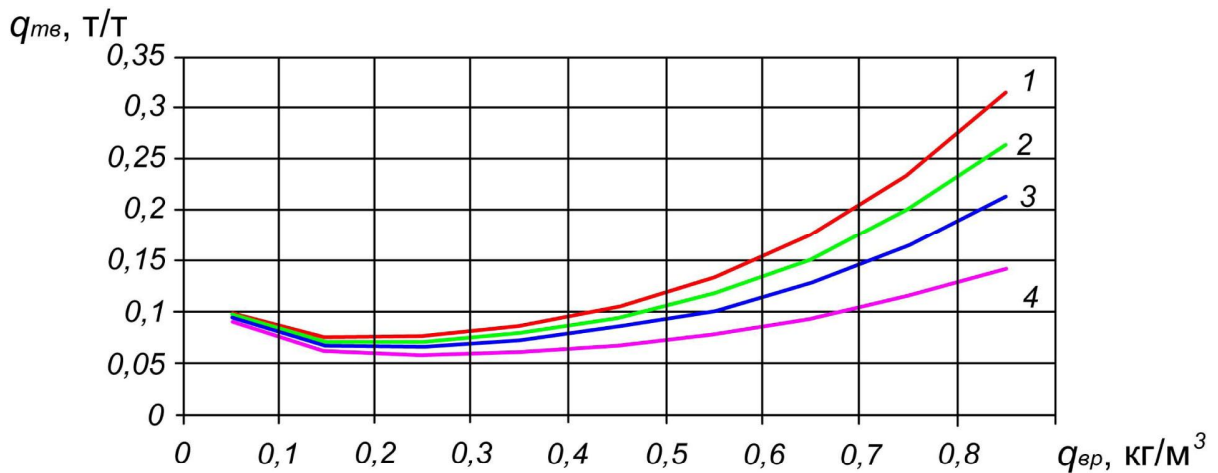


Рис. 2.5. Питоме виділення пилу під час вибуху 1 т ВР залежно від його питомих витрат: 1 - грамоніту 30/70; 2 - гранулололу; 3 – грануліта М; АС-8; АС-4; 4 - грамоніту 79/21 та амоніту № 6 ЖВ

$$m_i = c_n q_i(d), \quad (2.5)$$

де m_i - маса частинок пилу i -го інтервалу діаметрів 1 м^3 викиду, $\text{кг}/\text{м}^3$; $q_i(d)$ - масова частка частинок пилу в i -му інтервалі, частки од.

Гістограма для частинок з розглянутого діапазону крупності показує, що частки розміром до 10 мкм становлять приблизно 8%. Близько 90 % припадають на діапазон від 10 до 100 мкм, інші частки від 100 до 200 мкм. Максимальна масова частка часток посідає інтервал 20-40 мкм (рис. 2.6).

Великі частинки випадають з хмари пилу відразу після її формування і на процесі забруднення атмосфери за межами кар'єру практично не впливають. З початком руху пилегазової хмари частки пилу змінюють свою траєкторію. Зі зменшенням розміру частинок швидкість їх витання різко падає. Частки менше 1 мкм поведуться в атмосферному повітрі подібно до газових молекул, беручи участь у броунівському русі.

Відповідно до [94] пилогазова хмара розглядається як лінійний джерело пилу, ширина якого в місці проведення масового вибуху дорівнює довжині вибухового блоку, що піднявся вгору над ним на певну висоту з рівномірним розподілом пилу по всьому обсягу хмари. За 40-60 секунд хмара формується, після чого починає поширюватися, підкоряючись атмосферним умовам (рис. 2.7).

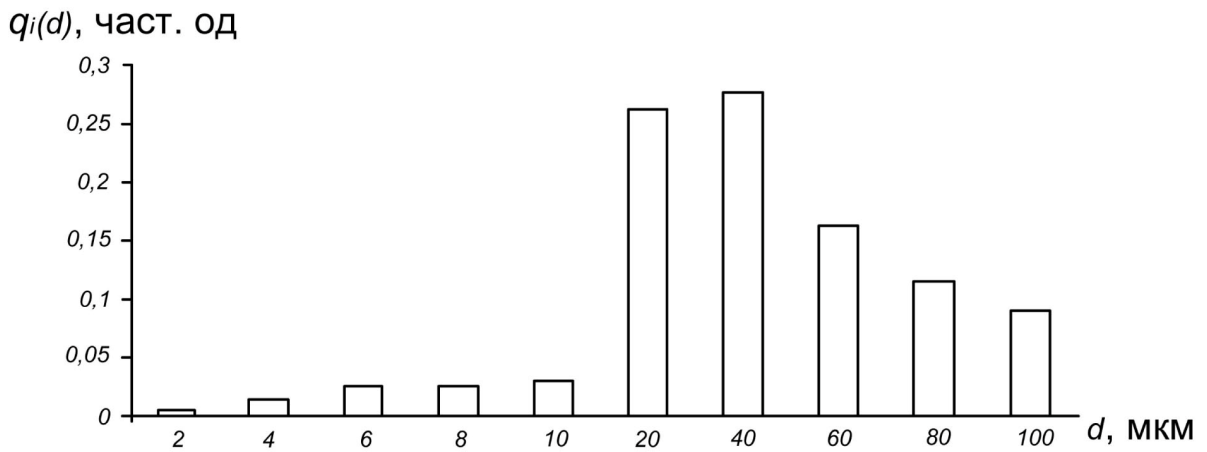


Рис. 2.6. Гістограма розподілу масової частки частинок пилу від її крупності

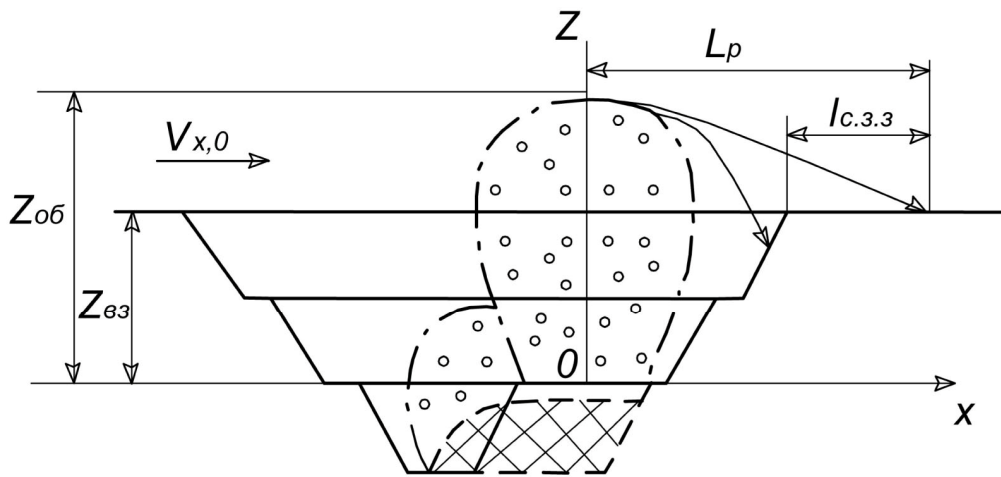


Рис. 2.7. Схема формування та розсіювання пилегазової хмари при масовому вибуху

Ареал забруднення визначається розмірами зони розсіювання пилу, тобто її довжиною та шириною. Максимальна відстань, на яку може поширюватися пил, що знаходиться у верхній частині хмари пилогазу, пропонується визначати за формулою [91]:

$$L_p = \frac{V_{x0}(Z_{об} - Z_{вз})^{m+1}}{[W_{oc}Z_0^m(m+1)]} \quad (2.6)$$

де W_{oc} - швидкість осідання частинок, що орієнтовно визначається за номограмою (рис. 1.5.6); m - коефіцієнт, що враховує стан атмосфери; V_{x0} - швидкість вітру; $Z_{вз}$ - глибина до вибуху від денної поверхні; $Z_{об}$ - висота

підйому ПГХ.

Поперечний розмір зони розсіювання пилу на різних відстанях від підірваного блоку визначається виходячи з його розмірів з урахуванням спрямування вітру (рис. 2.8).

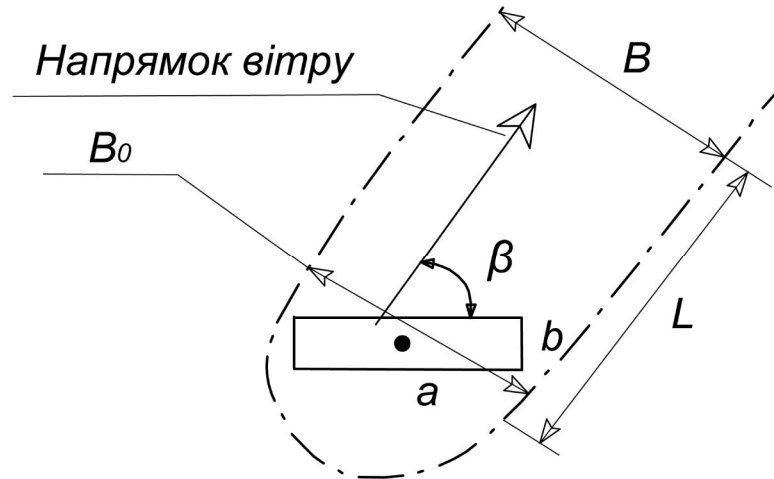


Рис. 2.8. Схема зони осідання пилу при масовому вибуху: a , b - довжина і ширина блоку; β - кут між напрямком вітру і простяганням блоку; B_0 , B - відповідно ширина зони осідання пилу в районі вибухового блоку та на відстані L - межі зони осідання пилу з пилогазової хмари

Таким чином, осідання пилу з пилогазової хмари є досить складним процесом, що залежить від великої кількості зовнішніх факторів, що часто не піддаються точній кількісній оцінці в момент часу, що розглядається. Точна кількісна оцінка параметрів процесу осадження пилу з пилогазової хмари стає можливою.

2.4. Резерви підвищення якості підготовки розкривних порід до екскавації

Якість вибухових робіт має оцінюватися не лише параметрами розподілу шматків у розвалі, параметрами розвалу та рівномірністю гранулометричного складу, а й сукупністю показників пов'язаних з екологічними наслідками вибухових робіт – розмірами зони розсіювання шкідливих домішок пилогазової хмари та їх концентрацією в атмосфері.

Існуючі засоби та методи управління якістю вибухової підготовки гірничої маси поширюються, головним чином, на зону регульованого подрібнення (*I*), яка знизу обмежується площиною підшви вибухового уступу, а зверху деякою поверхнею, утвореною зонами руйнувань породи окремими свердловинними зарядами (рис. 2.9). Ця частина масиву піддається активному сукупному впливу всіх компонентів дії вибуху - ударних хвиль, прямих і відбитих хвиль напруг, що розширюються продуктів детонації.

Потім можна умовно виділити зону (*II а*) частково керованої якості підготовки гірничої маси, що знаходиться нижче підшви уступу на рівні перебуру свердловин і в якій порода відчуває вплив лише прямих хвиль стиснення. Горизонтальні та вертикальні зміщення, достатні для забезпечення розпушення цієї частини зруйнованого масиву тут відсутні.

Нарешті, зона (*II б*), що знаходиться у верхній частині уступу, точніше вище за зону регульованого подрібнення, яка є зоною нерегульованого подрібнення. Назва обумовлена, головним чином тим, що тут заряд ВР не розміщується. Будучи частково зруйнованою при вибуховій підготовці верхнього уступу, вона не піддається впливу хвильових процесів у зв'язку з інтенсивним їх згасанням. Вплив цієї зони на загальну якість вибухової підготовки досить великий - коефіцієнт розпушування тут відносно нижчий порівняно із зоною регульованого подрібнення. Крім того, вона є основним джерелом негабаритних фракцій.

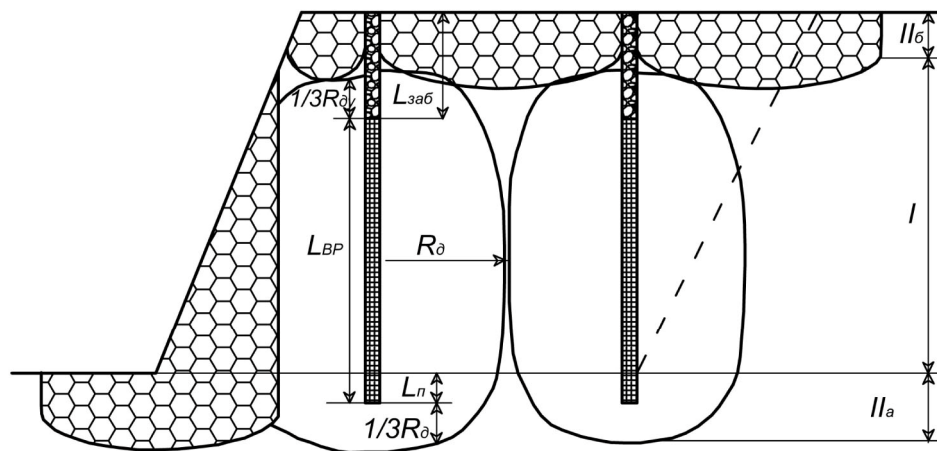


Рис. 2.9. Схема руйнування гірничого масиву вибухом свердловинних

зарядів: R_d - радіус зони подрібнення; L_{BP} - довжина заряду ВР;

$L_{Заб}$ - довжина забійки; L_n - довжина перебуру

Основним фактором, що впливає на зниження виходу негабариту за останні роки з 3% до 1,5-2% є збільшення питомої витрати ВР у середньому до $0,69 \text{ кг/м}^3$. Але й у цьому випадку кількість негабаритних фракцій досягає значних обсягів, що потребує додаткових витрат на їхнє вторинне подрібнення у розмірі 17-20 млн. грн на рік. При цьому підвищується також екологічне навантаження на довкілля, оскільки питома витрата вибухових речовин при вторинному подрібненні накладними зарядами сягає 2 кг/м^3 .

Єдина можливість підвищити якість підготовки гірничої маси із зони нерегульованого подрібнення без збільшення питомої витрати ВР полягає у посиленні фугасної дії вибуху. У зв'язку з цим збільшення часу впливу продуктів детонації на масив сприяє розпушенню гірничої маси з верхньої частини масиву і додатковому подрібненню за рахунок зіткнення і падіння шматків породи.

Відомо, що затримка витіку продуктів детонації зі свердловин здійснюється шляхом забійки верхньої частини, де не розміщується заряд ВР. У практиці ведення вибухових робіт в якості забійки найчастіше використовується буровий дрібняк. Експериментально досліджено значно ширше коло матеріалів та спеціальних конструкцій забійок, ряд з яких підвищують якість вибухової підготовки масиву в порівнянні з забійкою з бурового дрібняку. Однією з них є забійка з низькощільних пористих матеріалів (полістирол, тирса, шлак та інші), яка має властивість збільшення фугасної дії вибуху.

Зниження екологічної небезпеки вибухових робіт при використанні твердих забійних матеріалів пов'язане з проведенням додаткових інженерно-технічних заходів щодо зниження концентрації пилогазових викидів. При існуючих обсягах відкритої розробки цей чинник істотно впливає на екологічну обстановку у регіоні. У перспективі його значимість ще більше зростатиме.

Авторами багатьох робіт були проведені дослідження щодо підвищення ефективності вибухової підготовки гірничої маси в обводнених породах із заміною ВР, що містять тротил, на найпростіші, неводостійкі, аміачно-селитрені ВР з гідрофобними добавками [95-97].

Дослідно-промислові вибухи проводилися в різних категоріях порід з вибуховості.

Аналіз якості подрібнення породи проводився за гранулометричним складом фотопланіметричним методом.

За результатами аналізу результатів промислових вибухів [95, 97, 98] у породах середньої міцності з твердою забійкою, гідрозабійкою, піноутворюючими речовинами та вибухами без забійки, встановлена залежність середнього діаметра шматка на поверхні розвалу від об'ємного вмісту повітря в матеріалі, що заповнює неактивну частину свердловини. Апроксимація залежності (поліноміальна залежність з достовірністю 0,87) свідчить про наявність мінімуму розміру середнього шматка d_{cp} при вмісті повітря $\alpha_1 = 0,6-0,7$ часток од. у матеріалі низькощільної забійки (рис. 2.10).

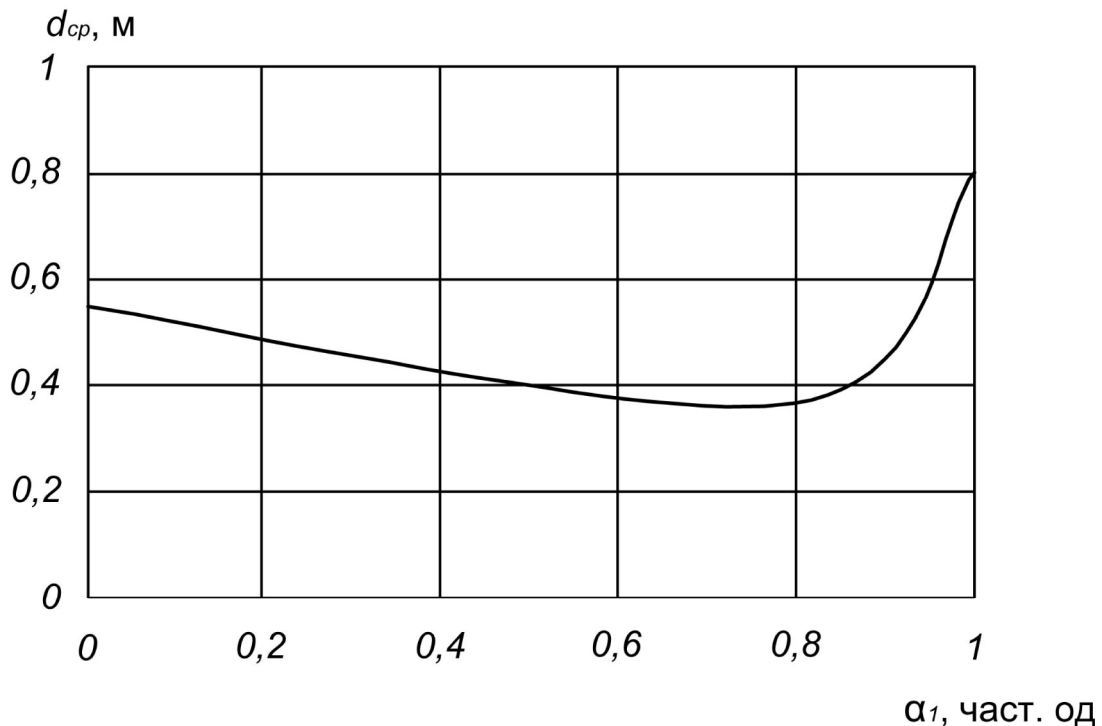


Рис. 2.10. Вплив об'ємного вмісту повітря в матеріалі забійки на зміну середнього діаметра шматка на поверхні розвалу порід середньої міцності

На підставі аналізу результатів цих вибухів та науково-технічної інформації про властивості низькощільних матеріалів змінювати параметри ударної хвилі та заходах щодо зниження негативних екологічних наслідків

масових вибухів, одним із найбільш реальних напрямків вирішення проблеми підвищення якості вибухових робіт є використання низькощільних пористих сумішей на основі піногелів, що заповнюють незаряджену ВР частину свердловини і володіють одночасно властивостями посилення фугасної дії вибуху та пилоподавлення, оскільки містять у своєму складі воду.

2.5. Пригнічення пилу та газів піногелеутворюючими складами

З аналізу отриманих результатів (табл. 2.1) видно, що застосування у якості забійки води в обсязі 150, 200, 300 мм дозволяє знизити запиленість повітря відповідно на 50-75 %.

Встановлено, що залишкова запиленість повітря знижується пропорційно до збільшення обсягу піногелевої забійки фіксованої кратності. При збільшенні кратності піногеля залишкове запилення (при використанні рівних обсягів забійки) - збільшується. Тому для досягнення залишкової концентрації на заданому рівні необхідно збільшувати обсяг піногелевої забійки пропорційно вмісту в ній повітря.

Таблиця 2.1 - Показники придушення пилу забійками на рідкій основі

Матеріал забійки	Об'єм, см ³	Вага, г	Залишкова концентрація пилу $C_{п}$, г/м ³	Коефіцієнт пилопридушення η , частки од.
Без забійки, $\alpha_l=1$ частки од.			4,72	
Вода $\alpha_l=0$ частки од.	150	150	2,36	0,5
	200	200	1,5	0,68
	300	300	1,16	0,75
Пенгель $\alpha_l=0,82$ частки од.	150		2,48	0,47
	200		1,76	0,63
	300		1,36	0,71
	600		0,83	0,76
		150	1,38	0,71
		200	1,17	0,75
		300	0,79	0,83

Піногелева забійка із вмістом повітря $\alpha_l = 0,82$ частки од. у таких обсягах дозволяє знизити запиленість відповідно на 47, 63 і 71%. У тому

випадку, коли маса водяної та піногелевої забійки були однаковими, встановлено явну перевагу піногеля.

Зміна величини залишкової концентрації пилю в камері при вибухах із забійкою на рідкій основі відносно початкової концентрації пилю в камері при вибухах без забійки дозволив отримати коефіцієнт пилоподавлення $\bar{\eta}$ (рис. 2.11). Найбільш інтенсивне зменшення $\bar{\eta}$ має місце при вмісті $\alpha_1 > 0,6-0,7$ часток од. [99].

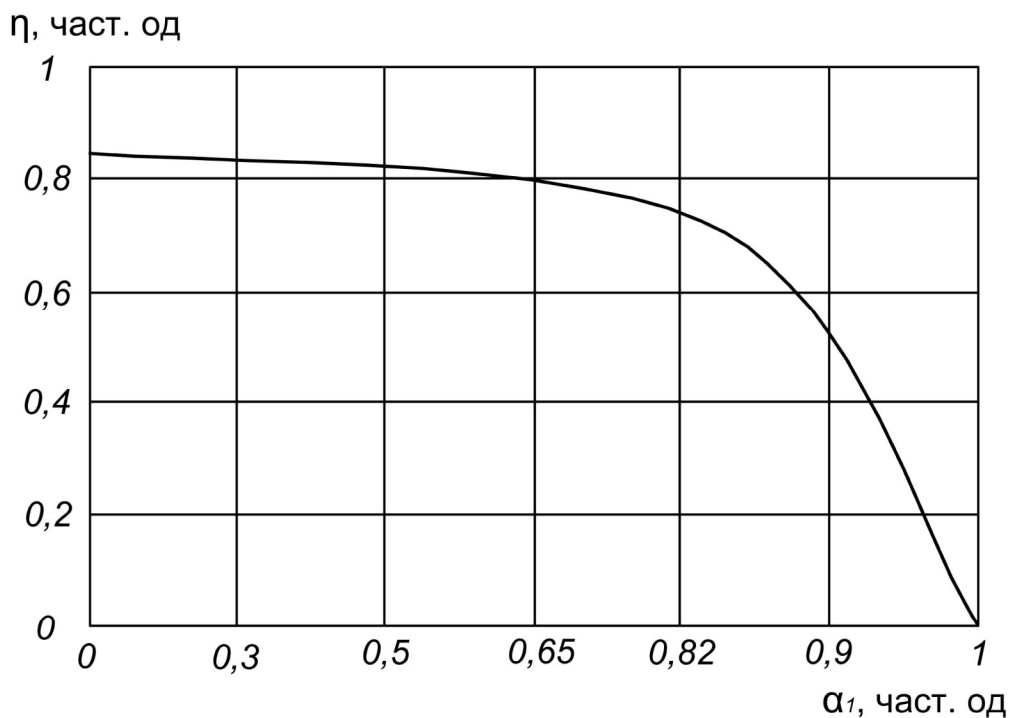


Рис. 2.11. Зміна коефіцієнта ефективності пилоподавлення (в лабораторних умовах) піногелевої забійки, масою 150-300 г в залежності від вмісту в ній повітря

В результаті експериментів отримано зниження вмісту оксидів азоту (у сумі) приблизно на 40% та збільшення у кілька разів вмісту оксиду вуглецю. Піногель, що використовується в якості забійки, охолоджує гази вибуху і гальмує вторинні реакції. Використання води в якості забійки в умовах експерименту так само як і пеногель призводить до істотного збільшення вмісту оксиду і діоксиду вуглецю в газах вибуху.

Таблиця 2.2 – Дані хімічного аналізу повітря в камері

Матеріал забійки	Середні значення вмісту газів, л/кг		
	CO ₂	CO	NO ₂
1. Без забійки ($\alpha_1 = 0$ частки од.)	168,4	2,8	2,6
2. Піногель із вмістом воздуха ($\alpha_1 = 0,82$ частки од.)	155,8	17,3	1,8
3. Вода ($\alpha_1 = 1,0$ частки од.)	152,2	20,6	2,0
4. Пісок ($\alpha_1 = 0,01$ частки од.)	150,5	2,5	2,4

2.6. Дослідження параметрів зони поширення пилогазових продуктів вибуху

Відношенням маси пилу, що осів в умовах експерименту на відстані, еквівалентній ширині санітарно-захисної зони, до загальної маси пилу, викинутого з ПГХ після вибуху при твердій і піногелевій забійці, оцінювалася ефективність придушення пилу [100].

Виходячи з умов експерименту передбачалося, що у формуванні пилогазової хмари включається дрібнодисперсний пил (до 250 мкм), що утворюється в ближній зоні вибуху при впливі на породу ударної хвилі та з бурової дрібниці, яка використовується як тверда забійка. Загальна маса пилу визначається як:

$$M_n = M_{б.з} + M_{заб} \quad (2.7)$$

де $M_{б.з}$, $M_{заб}$ - маса дрібнодисперсного пилу відповідно з ближньої зони вибуху і маса дрібнодисперсного пилу з твердої забійки, кг.

Маса дрібнодисперсного пилу, що знаходиться у вибуреній породі і використовується як тверда забійка, згідно [101] становить приблизно 10 % від загальної кількості і її можна визначити з умови:

$$M_{заб} = 0,1\pi R_0^2 L_{заб} \rho_0^{б.м} \quad (2.8)$$

де $L_{заб}$ - довжина забійки, м; $\rho_0^{б.м}$ - щільність бурової дрібниці, кг/м³.

В результаті вибуху з гирла свердловини виривається пилогазовий

стовп, який досягає деякої висоти і одночасно в процесі турбулентної дифузії починається процес його розсіювання. З хмари спочатку випадають великі частинки, потім у міру переміщення пилегазової хмари в напрямку вітру дрібніші.

За результатами аналізу пилогазова хмара від вибуху одиночної свердловини в початковий момент свого формування умовно є геометричною фігурою, схожою на перевернутий конус. Потім верхня частина конуса витягується у формі циліндра. Висота конуса становить приблизно $z = 0,7/h_{\text{пгх}}$, де $h_{\text{пгх}}$ - висота підйому пилегазової хмари. Висота циліндричної частини відповідно дорівнює $0,3h_{\text{пгх}}$.

Осідність пилу при зазначених матеріалах забійки визначалося відношенням кількості пилу, що осів на різному віддаленні від місця вибуху, до розрахункової величини її маси в зоні розсіювання (рис. 2.12.).

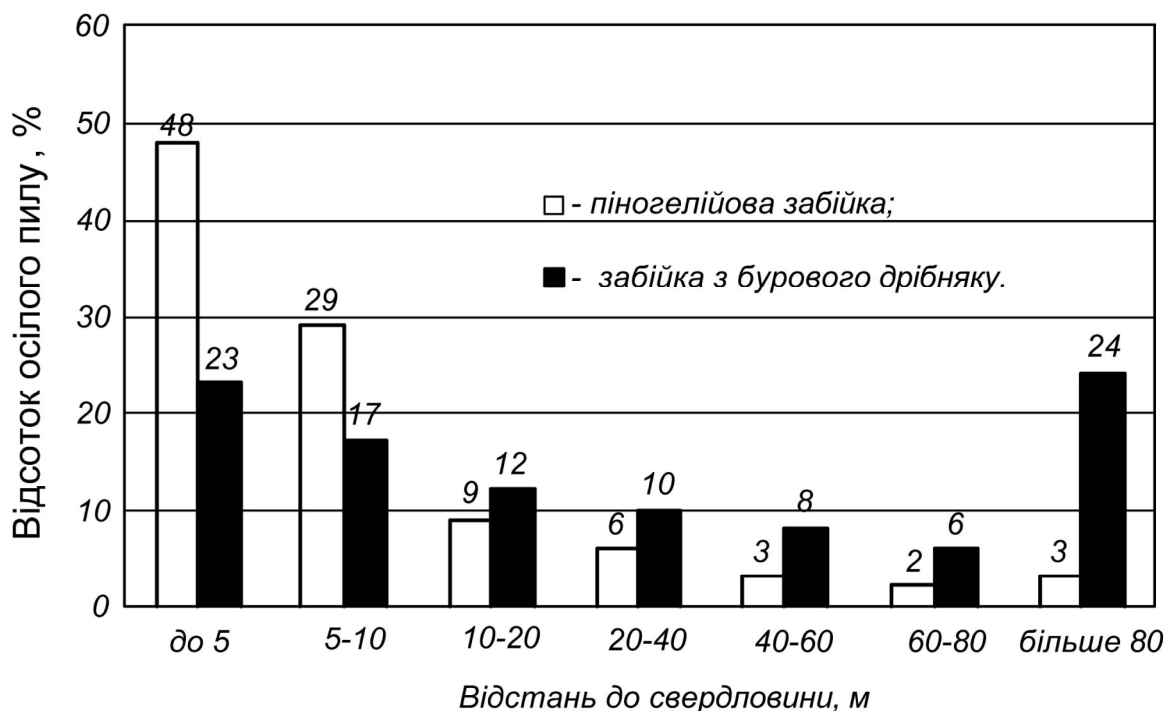


Рис. 2.12. Відносна кількість дрібнодисперсного пилу, що осів при різних матеріалах забійки, залежно від відстані до вибухових свердловин

Таким чином, в умовах експерименту осідність дрібнодисперсного пилу (< 250 мкм), при піногелевій забійці на відстані до 80 м від вибуху склала 97%. У досліджуваних пробах виявлено на 45-58% більше дрібнодисперсних

частинок, коагуляція яких сприяла їх осіданню значно раніше, ніж при сухій, твердій забійці.

При твердій забійці аналогічний результат осідання пилу був досягнутий на відстані 160 м. Висота підйому ПГХ, яка при твердій забійці досягає 60-70 м, що в 1,7 рази більше, ніж при піногелевій забійці.

Аналіз результатів експериментів показав, що збільшення вмісту повітря $\alpha_l > 0,7$ частки од. (або відповідно зменшення вмісту рідкого компонента) інтенсивно знижує здатність піногеля до пилоподавлення. У той же час при $\alpha_l = 0,65-0,70$ частки од. досягається найменша кускуватість гірничої маси, що характеризується середнім діаметром шматка на поверхні розвалу і відзначається збільшення затримки викиду.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВИБУХУ

3.1. Технологічні вимоги до якості вибухового подрібнення гірських порід

Кускуватість підірваних гірських порід, виходячи з продуктивності процесів екскавації та подальшого механічного подрібнення, повинна бути оптимальною. Область оптимальної кускуватості гірничої маси оцінюється розмірами максимально допустимого (d_n) та середнього розміру шматка підірваної породи (d_{cp}).

Основним завданням вибухових робіт на кар'єрах є отримання гранульометричного складу, що забезпечує високу продуктивність гірничо-транспортного обладнання.

Зруйновані вибухом гірські породи за кускуватістю, що визначається середнім лінійним розміром шматка, поділяються на п'ять категорій (табл. 3.1) [102].

Таблиця 3.1 - Класифікація зруйнованих гірських порід за кускуватістю

Категорія порід	Характеристика руйнівності порід	Максимальний розмір куска, см	Середній розмір куска, см
I	Дуже дрібнозруйновані	до 40-60	10
II	Мелкоразрушеные	60-100	15-25
III	Середньозруйновані	100-140	25-35
IV	Великозруйновані	150-200	40-60
V	Дуже великозруйновані	250-300	70-90

Аналіз роботи екскаваторів свідчить про закономірний характер зміни продуктивності видобувних машин від кускуватості підірваних гірських порід, підготовлених до виймання. Тривалість черпання знаходиться в прямій залежності від якості вибуху, що характеризується виходом негабариту, середнім розміром шматка підірваної гірничої маси та параметрами розвалу.

Залежність продуктивності екскаватора від діаметра середнього шматка для кар'єрів ПівдГЗК [103] показана на рис. 3.1.

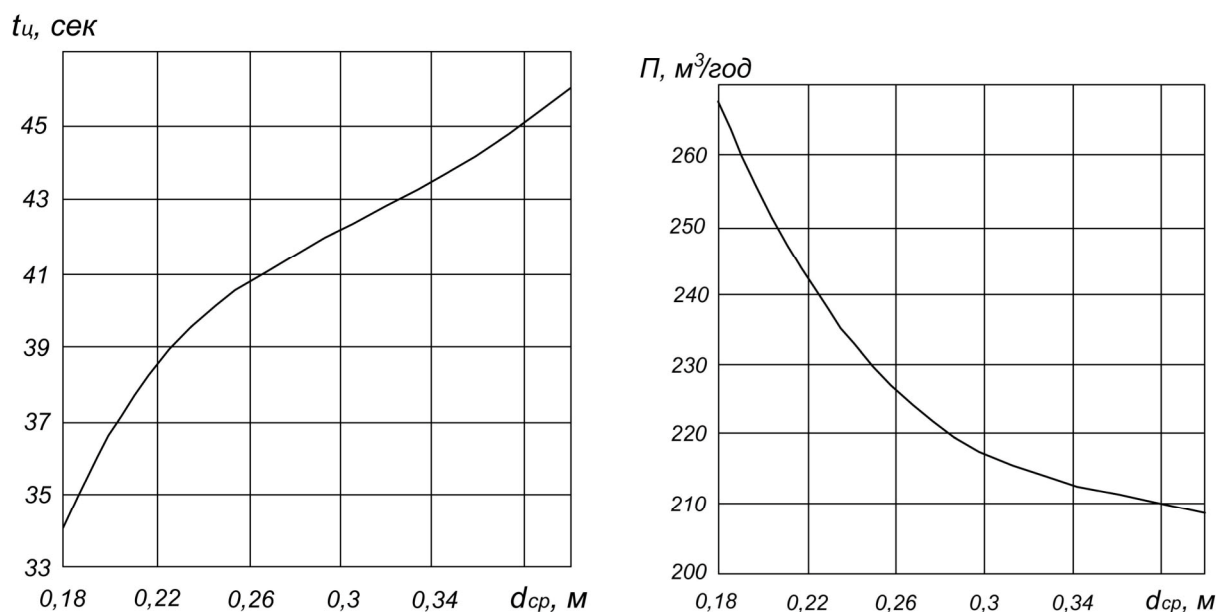


Рис. 3.1. Вплив середнього розміру шматка підірваної гірничої маси:

1 - тривалість циклу екскаватора; 2 - продуктивність екскаватора

Наявність тріщинуватості в гірських породах здійснює подвійний вплив на результати їх подрібнення вибухом. З одного боку, наявність тріщин послаблює масив гірських порід, що призводить до зменшення витрат питомої енергії ВР на руйнування певного обсягу. З іншого боку, наявність тріщин з урахуванням механізму вибухового руйнування порід ударною хвилею призводить до погіршення ступеня подрібнення, оскільки причиною ослаблення дії прямої хвилі напруги є наявність тріщин.

Дослідженнями [104] щодо впливу тріщинуватості масиву на подрібнення середовища встановлено, що руйнування масиву може відбуватися і без утворення нових поверхонь шляхом поділу масиву на складові його окремість. На думку авторів, вибуховість масиву повинна характеризуватись як міцністю окремістей, що складають гірничий масив, так і їх розміром.

Дослідниками [105] встановлено вплив тріщинуватості на зміну питомої витрати ВР. Наявність навіть щільно зімкнутих тріщин уповільнює

процес руйнування. Водночас наявність тріщин має сприяти покращенню подрібнення.

На якість подрібнення впливає і спрямованість тріщиноутворення. Радіально розташовані по відношенню до заряду тріщини мають великий вплив, оскільки вони перешкоджають поширенню енергії, що йде до масиву за тріщинами.

Інтенсифікацію вибухового подрібнення гірських порід на кар'єрах може бути досягнуто за рахунок зміни питомої витрати енергії ВР. Причому область його впливу визначається детонаційними характеристиками ВР і блочністю вибухового масиву. (рис. 3.2).

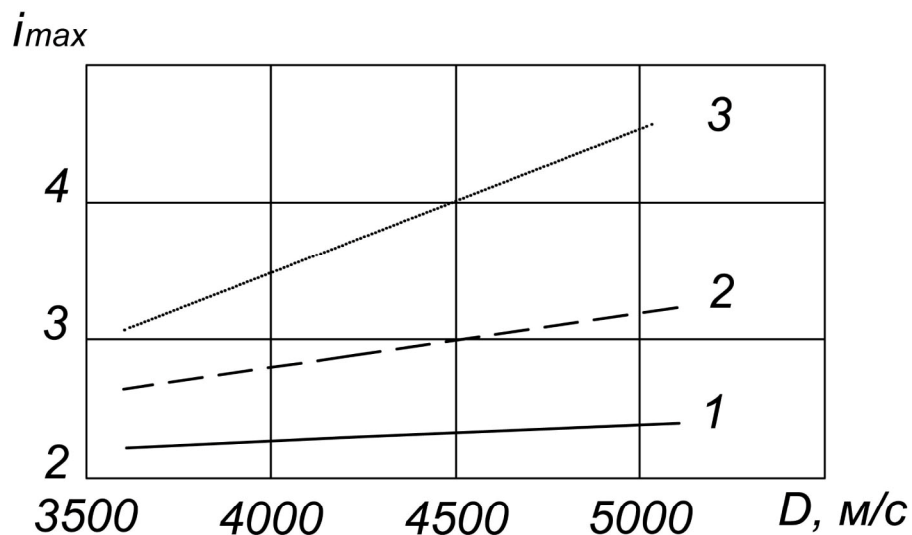


Рис. 3.2. Вплив швидкості детонації на максимальний ступінь подрібнення:

- 1 - дрібноблокові породи; 2 – середньоблочні породи;
- 3 - великоблочні породи.

Таким чином, отримуємо раціональну область застосування промислових ВР залежно від блочності порід вибухового масиву і необхідного ступеня подрібнення (рис. 3.3).

Необхідний ступінь вибухового подрібнення повинен прийматися, виходячи з умови забезпечення оптимальної кускуватості гірських порід, що забезпечує необхідну продуктивність гірничо-транспортного обладнання.

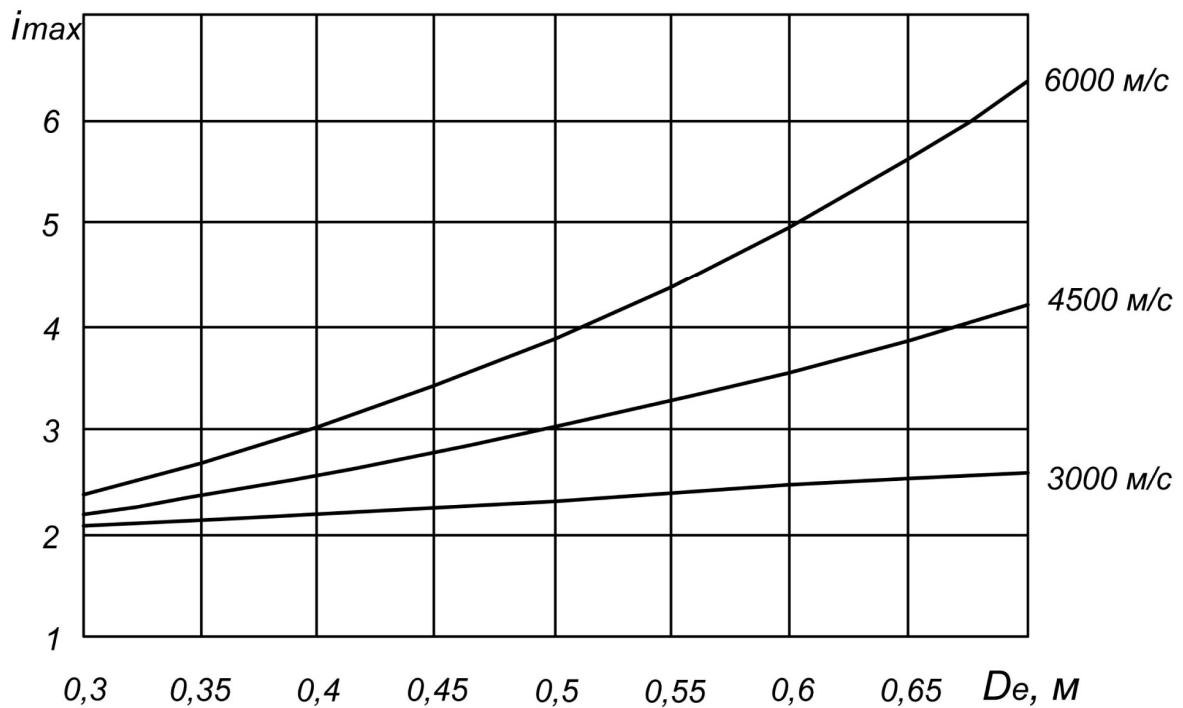


Рис. 3.3. Вплив блочності масиву гірських порід та швидкості детонації ВР на максимальний ступінь подрібнення

Ступінь подрібнення визначається виходячи з необхідного середнього розміру шматка і розподілу гранулометричного складу підірваної гірничої маси, що залежить від блочності масиву гірських порід.

У таблиці 3.2. наведено приклад виходу фракцій крупності для досягнення середнього розміру шматка 0,15 м у породах різної блочності.

Таблиця 3.2 - Вихід фракцій крупності для порід різної блочності

Блочність порід (D_e), м	Ступінь подрібнення	Вихід фракцій (м), %		
		+0,3	+0,7	+1,0
0,3	2	13,7	0,8	0,2
0,5	3,3	14,4	1,7	0,7
0,7	4,7	12,5	2,7	1,6

3.2. Критерії оцінки технологічної ефективності вибухових робіт

Показники ефективності вибухових робіт можна поділити на технологічні та економічні.

Технологічна ефективність вибухових робіт оцінюється за результатами вибуху, його якістю, і характеризується формою та змістом зруйнованого масиву. При цьому основною умовою є забезпечення вибуховими роботами необхідної якості вибуху.

Вимоги щодо якості вибуху визначаються:

- цілями вибухових робіт (подрібнення, викид, утворення камуфлетних порожнин);
- технологією та параметрами системи розробки;
- технологічними комплексами обладнання (параметрами вантажного та транспортного обладнання).

Основним показником якості вибуху на кар'єрах є якість вибухового подрібнення, яке характеризується:

- ступенем подрібнення;
- середнім розміром шматка зруйнованої гірської породи;
- гранулометричним складом підірваної гірничої маси;
- виходом негабариту;
- виходом дрібниці.

При вибуховому руйнуванні масиву гірських порід, згідно з балансом енергії під час вибуху (рис. 3.4) за А.Ф. Беляєвим та М.А. Садовським, частка енергії, що витрачається на подрібнення, дуже низька, у зв'язку з хімічними та тепловими втратами, а також втратами енергії, зумовленими нераціональним розподілом механічної роботи вибуху за окремими її формами.

Хімічні втрати виникають через незавершеність хімічних реакцій у процесі вибуху і в результаті розкиду продуктами вибуху частини заряду ВР, що не встигла прореагувати.

Ідеальні теплові (термодинамічні) втрати обумовлюються обмеженим ступенем розширення продуктів вибуху в процесі здійснення ними роботи, підвищеною теплоємністю багатоатомних газів, і також пов'язані з відхиленням процесу розширення продуктів вибуху від адіабатичного.

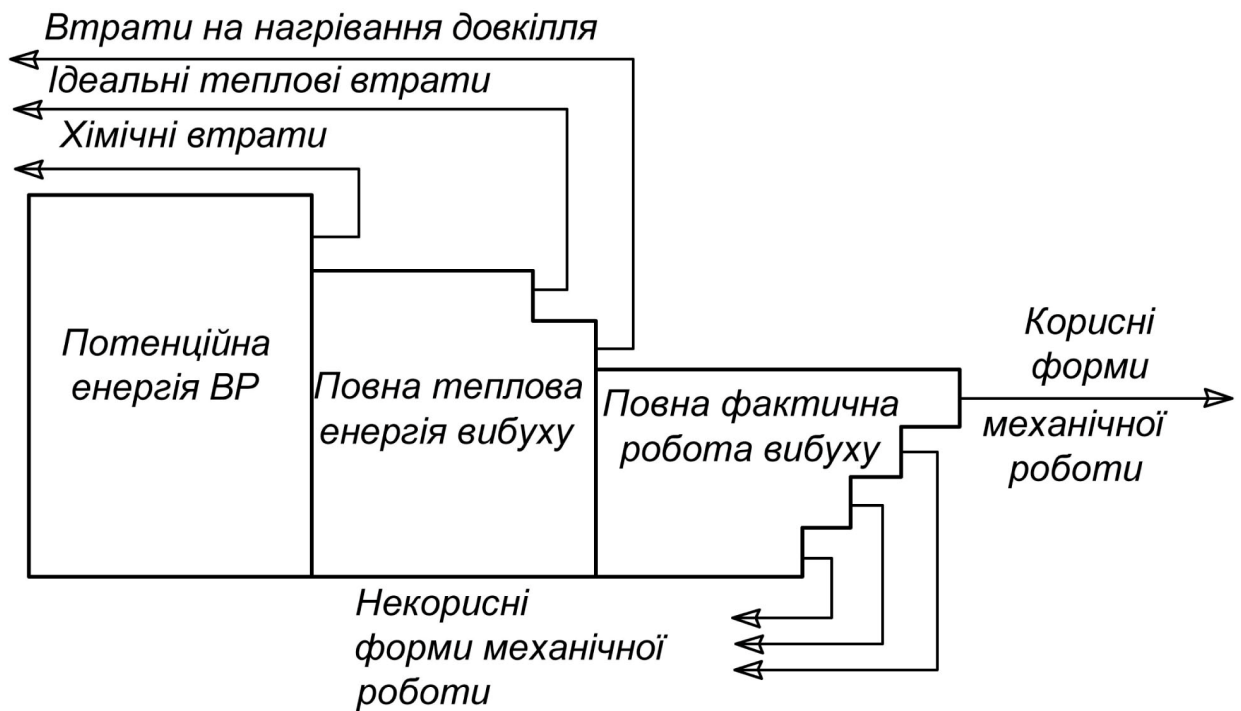


Рис. 3.4. Баланс енергії вибуху (за М.А. Садовським та А.Ф. Беляєвим)

Втрати на нагрівання довкілля - втрати, пов'язані з теплообміном і внутрішнім тертям при всіляких пластичних деформаціях середовища. Особливо посилений теплообмін з навколишнім середовищем відбувається у випадках, коли спостерігається інтенсивне подрібнення середовища, що прилягає безпосередньо до заряду ВР. При цьому тонкоподрібнена порода поєднується з продуктами вибуху в процесі їх розширення і поглинає деяку кількість тепла.

Сумарні теплові втрати можуть становити до 60% повної фактичної теплової енергії вибуху ВР [106].

Енергія, виділена під час вибуху заряду ВР, з відрахуванням хімічних і теплових втрат, реалізується у різних формах механічної роботи.

Виділяються такі основні форми механічної роботи вибуху вибухових речовин у гірничому масиві:

- переподрібнення та деформація гірської породи, що прилягає до заряду;
- подрібнення породи на порівняно великі шматки;

- викид роздробленої гірничої маси;
- незворотні деформації за межами вирви викиду;
- поширення у гірській породі сейсмічних хвиль;
- утворення ударно-повітряних хвиль.

При цьому, як правило, залежно від цілей вибуху виділяють корисні форми роботи (подрібнення, викид, утворення кумулятивної порожнини) та шкідливі (утворення сейсмічних, ударно-повітряних хвиль, розліт породи)

Розподіл енергії за цими формами роботи залежить від властивостей середовища, умов підривання та вибухових характеристик ВР. Підвищення частки енергії на корисні форми роботи [107] може бути досягнуто як за рахунок зменшення хімічних і теплових втрат, так і за рахунок перерозподілу повної механічної роботи за окремими її формами.

3.3. Дослідження розподілу шматків гірських порід

В даний час на кар'єрах практично не ведуться роботи з дослідження природної тріщинуватості масиву гірських порід і гранулометричного складу підірваної гірничої маси. При розрахунках параметрів буропідривних робіт ступінь подрібнення приймається виходячи з необхідного середнього розміру шматка, що визначається як середньоарифметичного та виходу негабариту.

Однак дослідження гранулометричного складу підірваних гірських порід [108] показують, що середній розмір і вихід негабариту не можуть однозначно оцінювати всю сукупність шматків підірваної гірської породи.

У результаті досліджень встановлено, що при вибуховому руйнуванні гірських порід вид закону розподілу гранулометричного складу змінюється, тобто логарифмічна дисперсія залишається постійною і не залежить від параметрів буропідривних робіт, умов і способу підривання, а, отже, логарифмічна дисперсія розподілу гранулометричного складу є інваріантною характеристикою кускуватості гірських порід (рис. 3.5).

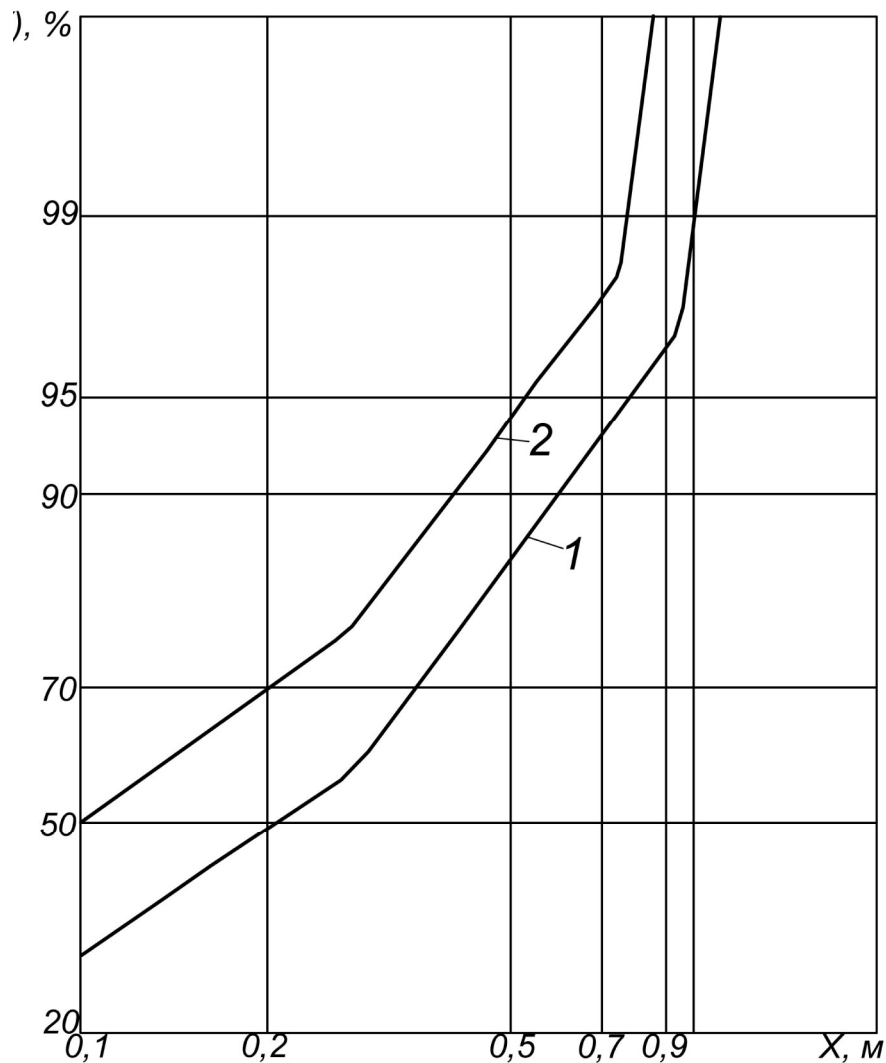


Рис. 3.5. Розподіл гранулометричного складу:

1 - до вибуху; 2 - після вибуху

Аналіз даних гранулометричного складу, отриманого в результаті вибухового руйнування гірських порід під дією суцільного колонкового заряду, заряду, розосередженого повітряним проміжком, заряду з повітряною подушкою показує, що розподіл гранулометричного складу підірваної гірничої маси описується логарифмічно нормальним законом, при цьому для всіх конструкцій заряду логарифмічна дисперсія залишається постійною, а змінюється лише середній розмір шматка (рис. 3.6).

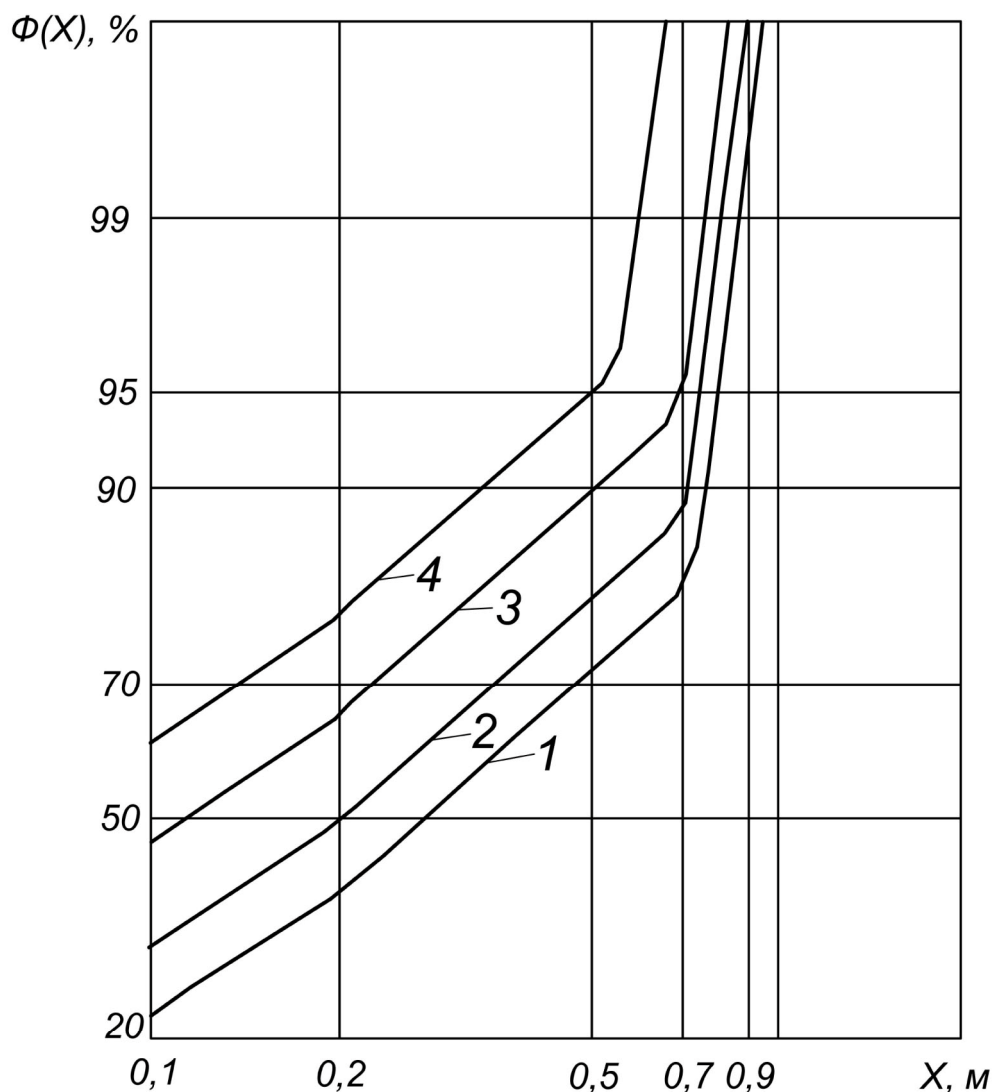


Рис. 3.6. Розподіл гранулометричного складу:

1 – до вибуху; 2,3,4 – відповідно після руйнування вибухом суцільного колонкового заряду; розосередженого повітряним проміжком; заряду з повітряною подушкою

Отримані результати підтверджуються даними інших дослідників [109, 110], у роботі яких вказується, що застосування амоніту №6 ЖВ та ігданіту в різних породах призводить до зміни лише середнього розміру шматка, а логарифмічна дисперсія залишається постійною та залежить від фізико-технічних властивостей гірських порід.

Таким чином, аналіз експериментальних статистичних розподілів розмірів шматків гірничої маси показує, що зміна параметрів вибухових робіт змінює лише середній розмір шматка, що дозволяє прогнозувати

розподіл кусковатості гірничої маси на кар'єрах.

Отже, при оцінці результатів подрібнення гірських порід вибухом як критерій повинні використовуватися як середній розмір шматка, так і логарифмічна дисперсія розподілу гранулометричного складу гірничої маси.

3.4. Прогнозування гранулометричного складу підірваної гірничої маси

Аналіз графіків розподілу гранулометричного складу підірваної гірничої маси показав, що для порід різних категорій тріщинуватості є певний інтервал значень логарифмічної дисперсії. Причому із збільшенням логарифмічної дисперсії зменшується ступінь тріщинуватості масиву гірських порід.

Характер графіків, побудованих за сумарними відсотками в логарифмічно імовірнісній системі координат, показує, що породи першої категорії тріщинуватості мають одномодальний розподіл з логарифмічною дисперсією 0,58-0,7 (рис. 3.7).

Породи другої та третьої категорії тріщинуватості мають тримодальний розподіл, причому характерною та найбільш представницькою є зона II з логарифмічною дисперсією 0,7-1,19 (рис. 3.7).

Породи четвертої категорії по тріщинуватості мають двомодальний розподіл, що характеризується зоною I' з логарифмічною дисперсією 1,19-1,7, при цьому для області II', що характеризує розподіл великих шматків, змінюється від 0,55 до 0,77 (рис. 3.7).

Таким чином, логарифмічна дисперсія визначається тріщинуватістю масиву і є характеристикою наявності класів крупності в загальній сукупності шматків.

Аналіз розподілу гранулометричних складів показав, що при однаковому середньому розмірі шматка розподіл гранулометричного складу, що характеризується логарифмічною дисперсією, може бути різним (рис. 3.8). Тому при оцінці гранулометричного складу гірських порід необхідно використовувати крім середнього діаметра й дисперсію розподілу.

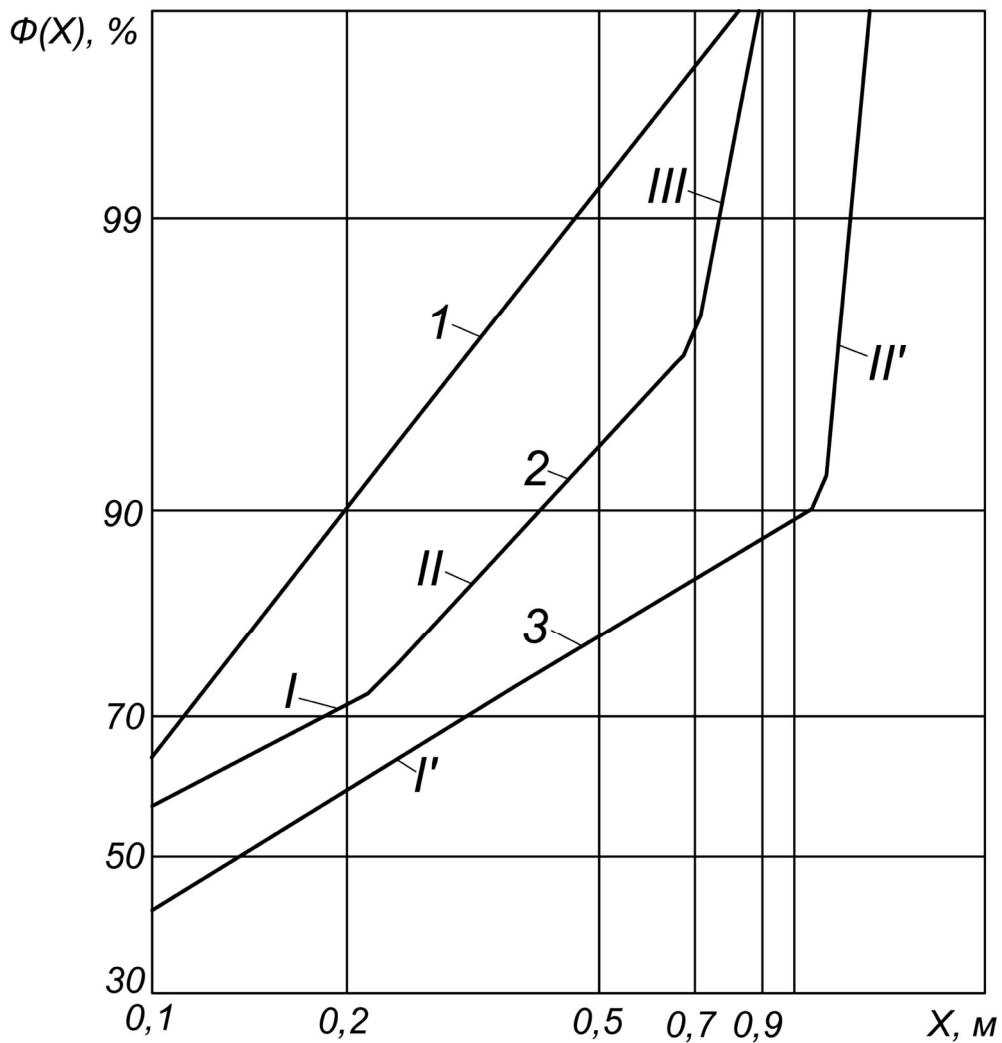


Рис. 3.7. Розподіл гранулометричного складу гірничої маси:

1 - породи першої категорії тріщинуватості, 2 - породи другої та третьої категорії тріщинуватості, 3 - породи четвертої категорії тріщинуватості.

Застосування логарифмічно нормального закону розподілу дозволяє прогнозувати виходи фракцій для різних категорій порід за рівнем тріщинуватості.

У виробничих умовах на кар'єрах якість вибухових робіт оцінюється переважно виходом негабариту. Аналіз розподілу гранулометричного складу дозволив встановити вихід фракції +1,0 м за різної величини логарифмічної дисперсії для різних значень середнього розміру шматка підірваної гірської породи рис. 3.9.

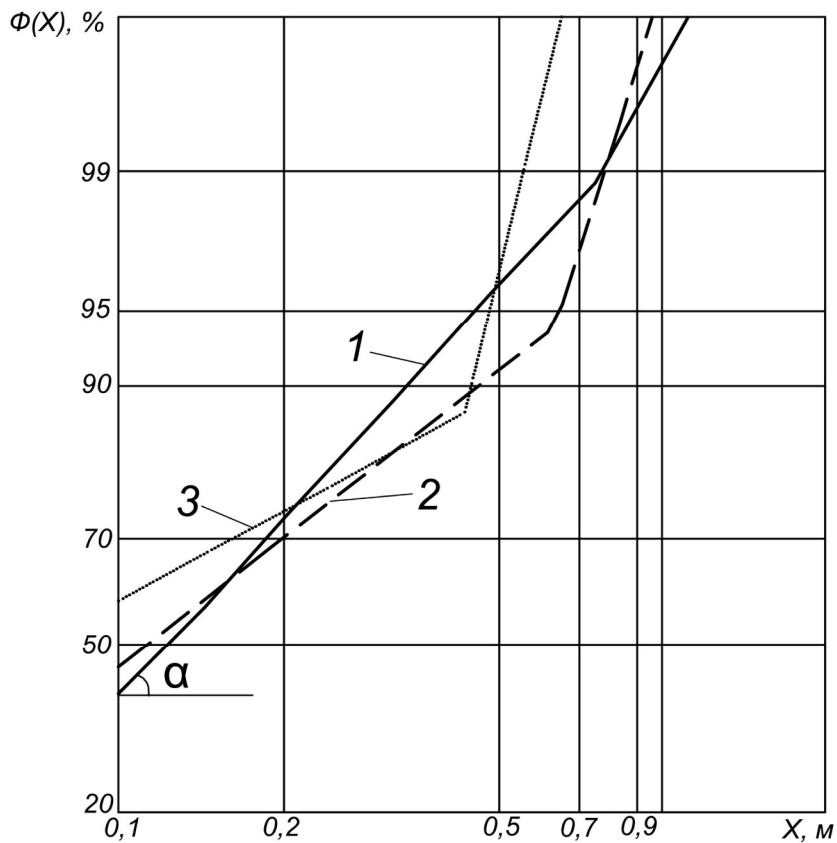


Рис. 3.8. Розподіл гранулометричного складу при середньому розмірі шматка 0,20 м: 1 – при $\beta = 0,84$; 2 – при $\beta = 1,19$; 3 – при $\beta = 1,7$

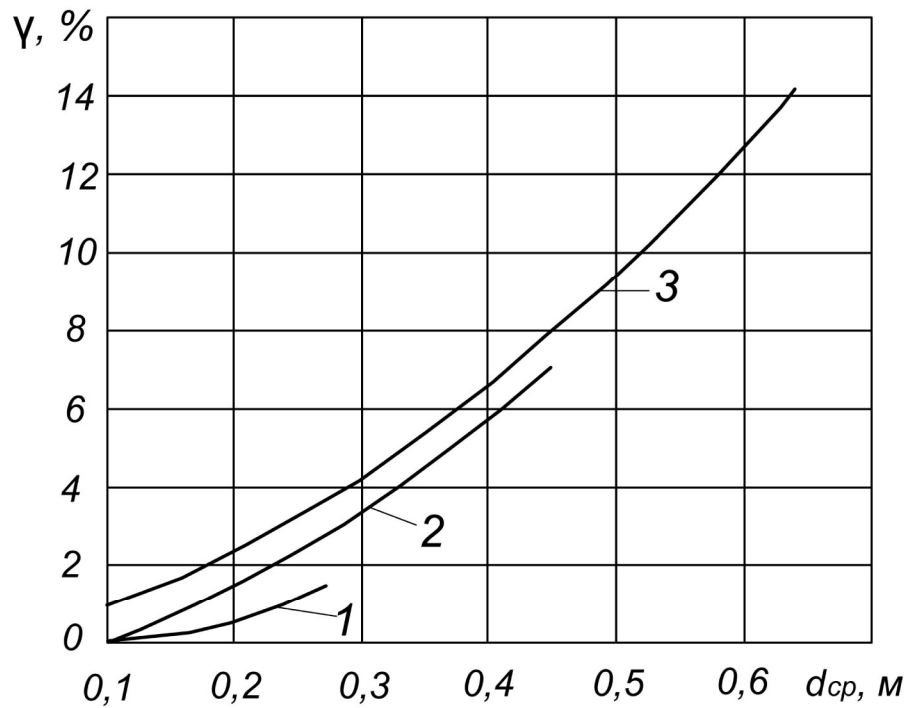


Рис. 3.9. Залежність виходу у підірваній гірській породі фракцій + 1,0 м від середнього розміру шматка при логарифмічній дисперсії:
1 - 0,8; 2 - 1,0; 3 - 1,3

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.

Проведений огляд стану проблеми дозволив дійти висновку, що є ряд невикористаних можливостей інтенсифікації технології ведення вибухових робіт, управління якістю підготовки порід вибухом та його екологічними наслідками в умовах відкритих гірничих робіт.

1. Підвищення ефективності відкритої розробки корисних копалин вимагає інтенсифікації окремих процесів, що входять у технологічну систему. Одним з найбільш важливих процесів, результати якого впливають на продуктивність гірничотранспортного обладнання, є вибухова технологія підготовки гірничої маси до виймання. Теорія та практика ведення вибухових робіт передбачає застосування раціональних параметрів, які повинні забезпечувати якісне подрібнення породи. Аналіз чинників, які впливають на якість вибухової підготовки породи, показує, що забійка свердловин, як елемент системи, є трудомісткою технологічною операцією і водночас розглядається як частина конструкції свердловинного заряду, як і забійний матеріал.

2. В даний час для управління якістю вибухової підготовки порід розроблено та апробовано великий арсенал способів та засобів для здійснення механізованої та ручної забійки вибухових свердловин. Починаючи від найпростіших конструкцій, наприклад забійка свердловин буровою дрібницею або гідрозабійка, до складних, наприклад створення в забійці поздовжніх і поперечних повітряних проміжків різної конфігурації, розміщення в матеріалі забійки невеликого заряду ВР. Аналіз стану питання показує, що наявні методи та засоби не дозволяють відповідно до вимог технології регулювати якість подрібнення шару породи в покрівлі уступу, зруйнованої вибухом вищележачого горизонту.

3. Аналіз результатів дослідно-промислових вибухів з використанням в якості забійки твердих низькощільних матеріалів на рудних кар'єрах і механічної піни на вугільних розрізах, дозволив встановити тенденцію підвищення якості подрібнення масиву і виявити передумови більш

раціонального використання води зі свердловин під час проведення вибухових робіт.

4. Огляд літературних джерел показав, що недостатньо досліджені питання, що стосуються наукового пояснення замикаючого ефекту ПД низькощільним середовищем із об'ємною концентрацією повітря, що змінюється, защемленого в скелеті забійного матеріалу. Передумовами до пояснення фізичної природи цього явища можна вважати стиск шару бульбашкового середовища перед фронтом ударної хвилі і перерозподіл її енергії в енергію газового міхура, що формується за фронтом, а також перекриття каналу свердловини на деякій відстані від газової камери зсувом зруйнованого масиву.

5. Встановлено, що пил, що утворюється в результаті вибуху заряду ВР, більш інтенсивно осідає при використанні піногелевої забійки з об'ємною концентрацією рідини $\sigma_2 > 0,3$ частк. од., при цьому довжина зони розсіювання скорочується в 1,8-2 рази, а осідання пилу в умовах експерименту становить 97%.

На основі висновків можна сформулювати наступні рекомендації відносно подальшого розвитку питання підвищення якості вибухових робіт при відкритій розробці родовищ корисних копалин:

1. Обґрунтувати раціональні параметри буропідривних робіт, що забезпечують задану якість дроблення та зниження зони поширення пилу.

2. Здійснити обґрунтований вибір критеріїв, що дозволяють оцінити технологічну ефективність вибухових робіт.

Бібліографія.

1. Демидюк Г.П. О механизме действия взрыва и свойствах ВВ / Г.П. Демидюк // Взрывное дело.- № 45/2. - М.: Госгортехиздат 1960. - С. 20-25.
2. Друкованый М.Ф. Управление действием взрыва скважинных зарядов на карьерах / М.Ф. Друкованый, В.С. Куц, В.И. Ильин. - М.: Недра, 1980. - 23 с.
3. Мельников Н.В. Энергия взрыва и конструкция заряда / Н.В. Мельников, Л.Н. Марченко. - М.: Недра, 1964. - 132 с.
4. Казаков Н.Н. Зависимость формы и длительности импульса взрыва от различных факторов / Н.Н. Казаков // Взрывное дело. - №31. - Недра, 1974. - С. 105-112.
5. Казаков Н.Н. Разрушение горной породы ударным действием взрыва / Н.Н. Казаков. - ИГД им. А.А. Скочинского, 1966.
6. Ханукаев А.Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом / А.Н. Ханукаев. - Недра, 1974. - 224 с.
7. Репин Н.Я. Буровзрывные работы на угольных разрезах / Н.Я. Репин, В.П. Богатырев, В.Д. Буткин, А.В. Бирюков, А.А.Звонов, И.А. Паначев, А.С. Ташкинов. - М.: Недра, 1974. - 254 с.
8. Азаркович А.Е. Взрывные работы вблизи охраняемых объектов / А.Е. Азаркович, М.И. Шуйфер, А.П. Тихомиров. - Недра, 1984.
9. Бирюков А.В. Оптимизация параметров взрывной подготовки пород при открытой разработке угольных месторождений / А.В. Бирюков, А.С. Ташкинов. - Кузбасс, политех, ин-т., 1981. - 112 с.
10. Кутузов Б.Н. Пылеулавливание при бурении скважин на карьерах / Б.Н. Кутузов, И.Г. Михеев. - Недра, 1966. - 135 с.
11. Руководство к разработке проектов буровзрывных работ на угольных разрезах Кузбасса / Н.Я. Репин, А.С. Ташкинов, А.А. Сысоев, А.В. Дьяченко. - ПО «Кемеровоуголь», 1978. - 84 с.
12. Мельников Н.В. Теория и практика открытых разработок / Н.В. Мельникова. - Недра, 1973. - 635 с.

13. Эткин М.Б. Взрывные работы в энергетическом и промышленном строительстве / М.Б. Эткин, А.Е. Азаркович // Науч. практ. руков. - МГТУ, 2004. - 317 с.

14. Жариков И.Ф. Исследование механизма действия удлиненных зарядов при взрыве в твердой среде / И.Ф. Жариков, Л.Н. Марченко // Взрывное дело. - № 71/28. - Недра, 1972. - С. 81-90.

15. Жариков И.Ф. О движении среды при взрыве зарядов с воздушными промежутками / И.Ф. Жариков // Взрывное дело. - № 73/20. - Недра, 1974. - С. 108-111.

16. Жариков И.Ф. Рациональные конструкции зарядов при дроблении горных пород взрывом / И.Ф. Жариков // Взрывное дело. - № 89/46. - Недра, 1986. - С. 121-134.

17. Жариков И.Ф. Энергосберегающие технологии ведения взрывных работ на разрезах / И.Ф. Жариков // Взрывное дело. - № 91/48. - Недра, 1998. - С. 191-196.

18. Демидюк Г.П. Роль и эффективность забойки в горных взрывных работах / Г.П. Демидюк. - ИГД им. А.А. Скочинского, 1964. - 20 с.

19. Детков С.П. Распространение и осаждение пыли при взрывах в карьере / С.П. Детков, О.А. Брюховских // Изв. вузов. Горный журн. - 1994. - №7. - С. 57-62.

20. Катанов И.Б. Влияние пеногелевой забойки на эффективность взрывной подготовки пород / И.Б. Катанов // Электронная конф. МЭИ «Топливо и энергетика». - 2002. - С. 131.

21. Кушнеров П.И. Безопасность взрывных работ при электровзрывании на угольных и сланцевых шахтах / П.И. Кушнеров. - Кузбассвуиздат, 2005. - 611 с.

22. Миндели Э.О. Забойка шпуров / Э.О. Миндели, П.А. Демичук, В.Е. Александров. - Недра, 1967. - 152 с.

23. Мосинец В.Н. Деформация горных пород взрывом / В.Н. Мосинец. - Фрунзе.: Илим, 1971. - 188 с.

24. Покровский Г.И. Теоретические предпосылки короткозамедленного взрывания / Г.И. Покровский // Короткозамедленное взрывание. - М.: Углетехиздат, 1958.

25. Тарасенко В.П. Физико-технические основы расчета зарядов на карьерах / В.П. Тарасенко. - МГИ, 1985. - 80 с.

26. Баум Ф.А. Импульсы взрыва, обусловленные боковым распором забойки в скважине / Ф.А. Баум, Н.С. Санасарян // Взрывное дело № 59/16. - Госгортехиздат, 1966. - С. 28 - 32.

27. Сысоев А.А. Повышение качества взрывных работ на основе использования свойств пеногелеобразующих составов / А.А. Сысоев, И.Б. Катанов // Вест. Кузбасс, гос. техн. ун-та. - 2007. - № 3(61). - С. 13-15.

28. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах / В.Н. Мосинец. - Недра, 1976. - 271 с.

29. Ханукаев А.Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом / А.Н. Ханукаев. - Госгортехиздат, 1962. - 200 с.

30. Кутузов Б.Н. Лабораторные и практические работы по разрушению горных пород взрывом : учеб, пособие для вузов. / Б.Н. Кутузов, В.И. Комащенко, В.Ф. Носков, А.А. Бобрышев, Г.М. Крюков, В.П. Тарасенко, С.Б. Габдрахманов, М.Г. Горбонос. - Недра, 1981. - 255 с.

31. Цирель С.В. Об эффективности использования забойки скважин на открытых горных работах / С.В. Цирель, Н.Н. Монахов // Уголь. - 1992. - № 6. - С. 19.

32. Друкованый М.Ф. Взрывание высоких уступов / М.Ф. Друкованый, Э.И. Ефремов, М.Г. Новожилов, А.А. Терещенко. - Недра, 1964. - 108 с.

33. Федоренко П.И. Повышение эффективности действия сближенных скважинных зарядов при взрывном разрушении высоких уступов / П.И. Федоренко. - Кривой Рог, 1984. - 14 с.

34. Берсенев Г.П. Управление качеством взрывного дробления горных пород на нерудных карьерах / Г.П. Берсенев // Изв. вузов. Горный журн. - 1999. - № 7-8. - С. 61-68.

35. Жаркенов М.И. Результаты промышленных испытаний скважинных зарядов с промежутками из гранулированного пенополистирола / М.И. Жаркенов, Е.Б. Бекетаев, Т.А. Кинеев, К.Н. Жунусов // Взрывное дело № 78/35. - Недра, 1977. - С. 102-106.

36. Кутузов Б.Н. Применение скважинных зарядов ВВ с пористой забойкой на гранитных карьерах / Б.Н. Кутузов, В.А. Безматерных, Г.П. Берсенева // Изв. вузов. Горный журн. - 1988. - № 12. - С. 45-49.

37. Баранов Е.Г. Влияние параметров промежутков из пористых низкоплотных материалов на эффективность взрыва скважинного заряда / Е.Г. Баранов, В.Н. Вилянский, О.Н. Оберемок, В.Н. Куринной // Изв. вузов. Горный журн. - 1990. - № 5. - С. 72-76.

38. Масаев Ю.А. Аналитические исследования механизма действия гидроразбойки шпуров при взрыве заряда ВВ // Вест. Кузбасс. гос. техн. ун-та. - 1999. - № 19. - С. 62-65.

39. Гурин А.А. Механизм действия гидрогелевой забойки / А.А. Гурин, В.Н. Назаренко, И.С. Радченко // Деп. в УкрНИИНТИ, 1989. - 7с.

40. Гурин А.А. Применение гидрогелевой забойки взрывных скважин / А.А. Гурин, С.С. Ященко // Безопасность труда в промышленности. - 1986. - № 1. - С. 38-39.

41. Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах. Пер. с англ. под ред. Г.П. Демидюка, Н.С. Бахарева. - М.: Недра, 1980. - 453 с.

42. Cook M.A., V.O. Cook, R.B. Clay, R.T. Keyes and L.L. Udy, Tr. SME, 236, p.383-392, 1966.

43. Hawkes J. A study of stress waves in rock and the blasting action of an explosive charge / J. Hawkes // Colliery Engineering. - 1959. - № 425. - p. 299-307.

44. Walsh J.M. and R.H. Christian, Phys. Rev. 97, 154

45. Rice M.H. and J.M. Walsh J. Chem. Phys. 26, 824, 1957.

46. Khanukayev A.N. Physical Nature of Rock Breakage, Problems of the Theory of Destruction of Rocks by Explosives / A.N. Khanukayev // Publishing House of Academy of Science. - USSR, Moscow, 1958. - p.p. 6-58.

47. Technika I gospodarka Morska, 1966, Rok XVI, 3.

48. Мачинский М.В. Опыт построения теории раздробления горных пород взрывом / М.В. Мачинский // Журнал технической физики. - 1933. - Т. 3. - Вып. 2-3.
49. Мачинский М.В. Теория расчета зарядов / М.В. Мачинский // Взрывное дело. - №26. - М.: ОНТИ, 1936. - С. 12-38.
50. Покровский Г.И. Взрыв / Г.И. Покровский. - М.: Недра, 1973. - 182 с.
51. Покровский Г.И. Действие удара и взрыва в деформируемых средах / Г.И. Покровский, И.С. Федоров // - Госстройиздат, 1957. - 276 с.
52. Власов О.Е. К основам теории разрушения горных пород взрывом / О.Е. Власов // Вопросы теории разрушения горных пород действием взрыва. - М.: АН СССР, 1958.
53. Власов О.Е. Основные теории действия взрыва / О.Е. Власов. - ВИА, 1957.
54. Власов, О.Е. Основы расчета дробления горных пород взрывом / О.Е. Власов, С.А. Смирнов. - М.: АН СССР, 1962. - 104 с.
55. Лаврентьев, М.А. О направленном метании грунта при помощи ВВ / М.А. Лаврентьев, В.А. Кузнецов, Е.Н. Шер // Народнохозяйственное использование взрыва. - Новосибирск : СО АН СССР, 1961. - Вып. 17. - С. 17-25.
56. Kutao Hino. Effect of discontinuity of rock on fragmentation of the industrial explosives society / Kutao Hino // Japan. - vol. 18. - № 14. -1957.
57. Фадеев А.Б. Расчет скважинных зарядов с позиций волновой теории (Реферат работ Кутао Хино) / А.Б. Фадеев // Взрывное дело. - № 55/2. - Недра, 1964. - С. 46-59.
58. Sakurai T. On measurement of blasting energies by ballistic mortar / T. Sakurai // Journ of the industry. Explos. Society. Japan. - V. 20. - № 1. - 1959.
59. Максимова Е.П. Моделирование процесса взрывного разрушения / Е.П. Максимова // Вопросы горного дела. - Углетехиздат, 1958.
60. Баум Ф.А. Определение начальных параметров ударных волн в горных породах в условиях контактного взрыва и закона сжимаемости пород

при высоких давлениях / Ф.А. Баум, М.А. Бережец // Взрывное дело. - № 49/6. - Госгортехиздат, 1962.

61. Баум Ф.А. Процессы разрушения горных пород взрывом / Ф.А. Баум // Взрывное дело № 52/9. - Госгортехиздат, 1963. - С. 262-285.

62. Баум Ф.А. Физика взрыва / Ф.А. Баум, К.П. Станюкович Б.И. Шехтер. - Физматиздат, 1959. - 800 с.

63. Баум Ф.А. Физика взрыва / Ф.А. Баум, Л.П. Орленко, К.П. Станюкович. - Наука, 1975.- 800 с.

64. Христианович С.А. О динамической сжимаемости прочных горных пород и материалов / С.А. Христианович, Е.И. Шемякин // ПМТФ, 1964. - № 3.

65. Кучерявый Ф.И. Короткозамедленное взрывание на карьерах / Ф.И. Кучерявый, М.Ф. Друкованный, Ю.В. Гаек. - М.: Госгортехиздат, 1962. - 267 с.

66. Баранов Л.В. Технология и безопасность взрывных работ : Справ, пособие. / Л.В. Баранов, В.В. Першин, А.П. Муратов, В.М. Колмогоров. - Недра, 1993. - 237 с.

67. Бычков Г.П. К вопросу о расчете начального давления продуктов взрыва / Г.П. Бычков // Изв. вузов. Горный журн. - 1982. - № 9. - С. 117-122.

68. Гоголев В.М. Расчет ударной волны при взрывах в твердых породах / В.М. Гоголев, В.Г. Мыркин, Г.И. Яблокова // ПМТФ. - 1963. - № 5. - С. 93-98.

69. Миндели Э.О. Комплексное исследование действия взрыва в горных породах / Э.О. Миндели, Н.Ф. Кусов, А.А. Корнеев, Г.И. Марцинкевич. - М.: Недра, 1978. - 253 с.

70. Сысоев А.А. Инженерно-экономические расчеты для открытых горных работ / Сысоев А.А. - ГУ КузГТУ, 2005. - 179 с.

71. Океании И.Ф. Закономерности дробления горных пород взрывом и прогнозирование гранулометрического состава / И.Ф. Океании, П.С. Миронов. - М.: Недра, 1982. - 166 с.

72. Шемякин Е.И. О волнах напряжений в прочных породах. - ПМТФ, 1963. - №5. - С. 83-93.

73. Ляхов Г.М. Взрывные волны в грунтах / Г.М. Ляхов, Г.И. Покровский. - Госгортехиздат, 1962. - 102 с.

74. Рахматуллин Х.А. О распространении волн в многокомпонентных средах / Х.А. Рахматуллин // Прикладная математика и механика. - 1969. - Т. 33 - Вып. 4. - 35 с.

75. Гельфанд Б.Е. Особенности распространения ударных волн в пенах / Б.Е. Гельфанд, А.В. Губанов, Е.И. Тимофеев // Физика горения и взрыва. - 1981. Т. 17. - №4. - С. 129-135.

76. Гельфанд Б.Е. Расчет параметров нестационарных ударных волн в двухфазной среде / Б.Е. Гельфанд, А.В. Губанов, Е.И. Тимофеев // Физика горения и взрыва. - 1981. - Т. 17. - № 5. - С. 139-143.

77. Задара В.М. Расчет параметров пенной защиты от ударных воздушных волн / В.М. Задара, Ю.М. Ракита // Изв. вузов. Горный журн. - 1991. - № 10.- С. 41-45.

78. Кедринский В.К. Ударные волны в жидкости с пузырьками газа / В.К. Кедринский // Физика горения и взрыва. - 1980. Т. 16. - № 5. - С. 14-25.

79. Ляхов Г.М. Основы динамики взрыва в грунтах и жидких средах / Г.М. Ляхов. - М.: Недра, 1964. - 214 с.

80. Балтайтис В.Я. Экспериментальные исследования распространения ударных волн в высокократной воздушно-механической пене / В.Я. Балтайтис, А.И. Козлюк, Ю.Ф. Булгаков, Г.М. Шейцер, В.С. Сергеев // Изв. вузов. Горный журн. - 1984. - № 3. - С. 43-46.

81. Гнутов В.В. Исследование параметров импульса скважинных зарядов игданита и ВВ на его основе / В.В. Гнутов // Взрывное дело. - № 88/45. - М.: Недра, 1986. - С. 129-135.

82. Апин А.Я. Влияние плотности и состава взрывчатого вещества на импульс взрыва / А.Я. Апин, Е.П. Бардин, Н.Ф. Велина // Взрывное дело. - № 52/9. - Госгортехиздат, 1963. - С. 90-102.

83. Барон В.Л. Техника и технология взрывных работ в США / В.Л. Барон, В.Х. Контор. - М.: Недра, 1989.

84. Дегтярев В.П. Горная промышленность и природа / В.П. Дегтярев, Т.М. Ярцева. - ТЭК и ресурсы Кузбасса, 2003. - №2. - С. 114-116.

85. Перетолчин В.А. Закономерности распределения буровой мелочи по крупности / В.А. Перетолчин // Изв. вузов. Горный журн. - 1976. - № 6. - С. 52-56.

86. Цветков В.М. Разрушение и гранулометрический состав осколков при взрыве в хрупкой среде / В.М. Цветков, И.А. Сизов, Л.Д. Лившиц, Б.Т. Лукишов // Взрывное дело. - № 89/46. - М.: Недра, 1986. - С.23-31.

87. Менжулин М.Г. Модель взрывного разрушения горной породы и формирование на ее основе пылевой фракции / М.Г. Менжулин, Г.П. Парамонов // Горный журнал. - 1998. - № 10. - С. 23-25.

88. Берсеневиц П.В. Аэрология карьеров: Справочник / П.В. Берсеневиц, В.А. Михайлов, С.С. Филатов. - Недра, 1990. - 280 с.

89. Михайлов В.А. Борьба с пылью в рудных карьерах / В.А. Михайлов, П.В. Берсеневиц, А.И. Лобода. - М.: Недра, 1981. - 262 с.

90. Михайлов В.А. Борьба с пылью и ядовитыми газами при буровзрывных работах / В.А. Михайлов, П.В. Берсеневиц, А.И.Лобода - М.: Недра, 1971. - 120 с.

91. Янченко Г.А. Оценка распространения пыли при массовых взрывах на карьерах / Г.А. Янченко // Изв. вузов. Горный журн. - 2004. - № 1. - С. 60-64.

92. Горлов Ю.В. Расчет выброса пыли в атмосферу карьера при массовом взрыве скважинных зарядов / Ю.В. Горлов // Проблемы технологии и экологии открытых горных разработок. - НГТУ, 1995. - С. 26-30.

93. Горлов Ю.В. Определение некоторых характеристик аэрозоля в пылевом облаке / Ю.В. Горлов // Проблемы технологии и экологии открытых горных разработок. - НГТУ, 1995. - С. 30-32.

94. Викторов С.Д. Образование и распространение пылегазового облака при массовом взрыве на карьере / С.Д. Викторов, В.С. Бутысин // Горн. инф. - анал. бюл. - Вып. 6. - МГУ, 1966. - С. 119-123.

95. Волобуев В.К. Стендовые испытания водоустойчивости ВВ с гидрофобными добавками / В.К. Волобуев, А.А. Боровский, И.Б. Катанов // Совершенствование технологии и организации открытой угледобычи в Кузбассе. - Киев: УкрНИИПроект, 1973. - С. 54-60.

96. Плужник В.И. Повышение водоустойчивости аммиачно-селитренных ВВ гидрофобизацией поверхности селитры / В.И. Плужник, Н.Г. Качановский, А.В. Антонов // Взрывное дело. - № 81/38. - Недра. - 1979. - С. 160-163.

97. Репин Н.Я. Применение ВВ с гидрофобными добавками на разрезах Кузбасса / Н.Я. Репин, В.К. Волобуев, А.А. Боровский // Обзор. - ЦНИЭИуголь, 1976. - 48 с.

98. Репин Н.Я. Эффективность взрывных работ в обводненных породах Кузбасса / Н.Я.Репин, В.К. Волобуев, В.И. Белов // Обзор. - ЦНИЭИуголь, 1979. - 35 с.

99. Катанов И.Б. Обоснование технологических характеристик пеногелевой забойки взрывных скважин // Вест. Кузбасс. гос. техн. ун-та. - 2005. - №5 (50). - С. 50-53.

100. Катанов И.Б. Полигонные исследования эффективности скважинных зарядов с пеногелевой забойкой // Вест. Кузбасс, гос. техн. ун-та. - 2006. - № 3. - С. 26-27.

101. Кутузов Б.Н. Пневмотранспортные и обеспыливающие системы буровых станков на карьерах / Б.Н. Кутузов, И.Г. Михеев. - Недра, 1970. - 272 с.

102. Кутузов Б.Н. Качество взрывной отбойки и некоторые закономерности дробления горных пород / Б.Н. Кутузов // Проблема дробления горных пород взрывом. - Углетехиздат, 1959. - С. 115-121.

103. Вишняков В.С. Исследование эффективности циклично-поточной технологии открытых горных работ в зависимости от гранулометрического состава взорванной горной массы на карьерах Кривбасса / В.С. Вишняков // Автореф. дис.... канд. техн. наук. - Днепропетровск, 1971. - 16 с.

104. Турута Н.У. Роль поверхностей напластования в механизме разрушения горных пород взрывом / Н.У. Турута, И.М. Данилов, Д.Ф. Панченко // Изв. Вузов. Горный журнал. - 1966. - №6. - С. 45-51.

105. Друкованный М.Ф. К вопросу о влиянии трещиноватости на характер разрушения породного массива взрывом / М.Ф. Друкованный // Взрывное дело. - №50/7. - Госгортехиздат, 1962. - С. 93-103.

106. Падуков В.А. Механика разрушения горных пород при взрыве / В.А. Падуков, И.П. Маляров. - Изд-во Иркут. ун-та, 1985. - 128 с.

107. Беляев А.Ф. О природе фугасного и бризантного действия взрыва / А.Ф. Беляев, М.С. Садовский // Физика взрыва. - 1952. - №1. - С. 24-35.

108. Падуков В.А. Прогнозирование кусковатости горной массы при взрывных работах / В.А. Падуков, В.П. Макарьев // Физические процессы горного производства. - ЛГИ, 1975. - Вып. 2. - С. 63-68.

109. Мельников Н.В. Методы повышения коэффициента полезного использования энергии взрыва (рациональная конструкция заряда) / Н.В. Мельников, Л.Н. Марченко. - 1957. - 54 с.

110. Мельников Н.В., Марченко Л.Н. Энергия взрыва и конструкция заряда / Н.В. Мельников, Л.Н. Марченко. - М.: Недра, 1964. - 138 с.