

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Навчально-науковий інститут будівництва та архітектури
(повна назва навчально-наукового інституту)

Кафедра охорони праці та безпеки життєдіяльності
(повна назва випускової кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи (проекту)

_____магістр_____

(освітній ступінь)

на тему **Підвищення безпеки вибухових робіт при видобуванні граніту**

Виконав: студент 6 курсу, групи ЦБз-71м
напряму підготовки (спеціальності)

263 «Цивільна безпека» (охорона праці)

(шифр і назва напряму підготовки, код та назва спеціальності)

_____Пічура О.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник _____Гнеушев В.О._____

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____Кусковець С.Л._____

(прізвище та ініціали)

Рівне – 2023

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. БЕЗПЕКА ВИБУХОВИХ РОБІТ ПРИ ВИДОБУВАННІ ГРАНІТУ	8
1.1. Шкідливі та небезпечні фактори вибухових робіт	8
1.2. Відомі засоби і заходи з підвищення безпеки вибухових робіт	10
1.3. Резерви і можливість підвищення безпеки вибухових робіт	17
2. ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИБУХОВИХ РОБІТ	18
2.1. Аналіз факторів, що впливають на відстань розльоту уламків граніту після вибуху	18
2.2. Вплив бризантності вибухової речовини (ВР) на характер вибуху	19
2.3. Вплив розміщення свердловин на характер вибуху	24
2.4. Вплив сповільнення вибуху свердловинних зарядів на характер вибуху	27
2.5. Обґрунтування важливості недопущення накопичення негабариту в зоні вибухових робіт	30
3. МОДЕЛЮВАННЯ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ ВИБУХОМ ТА РОЗРАХУНОК РАДІУСА НЕБЕЗПЕЧНОЇ ЗОНИ ПРИ ВИКОНАННІ ВИБУХОВИХ РОБІТ	33
3.1. Вплив міцності граніту на розліт уламків	33
3.2. Вибір виду ВР та режиму заряджання свердловини як дієвих засобів підвищення безпеки вибухових робіт	36
4. ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИБУХОВИХ РОБІТ ПРИ ВИДОБУВАННІ ГРАНІТУ	40
Література	43

ВСТУП

Промисловість будівельних матеріалів завжди була важливою ланкою економіки України, а після відбиття широкомасштабної агресії РФ проти нашої країни набуде ще більшого значення. Промислове видобування граніту здійснюється, переважно, саме для його використання при виробництві будівельних матеріалів. Граніт вже сам по собі – будівельний матеріал преміум-класу, який відзначається не тільки природною красою, а й довговічністю. Це один із найбільш міцних будівельних матеріалів, тому його активно використовують у промисловому, гідротехнічному, цивільному і приватному будівництві. Дуже багато граніту використовується в будівельній індустрії для будівництва доріг, при виробництві бетонних будівельних конструкції, в якості облицювального матеріалу тощо.

Найбільш розповсюдженою формою застосування граніту в будівельній індустрії є гранітний щебінь – продукт штучного подрібнення граніту.

Граніт (різні його сорти), за шкалою міцності гірських порід проф. М.М. Протодяконова [1], відноситься до категорії дуже міцних і міцних гірських порід і мають коефіцієнт міцності (тривкості) від 10 до 15. Через це при видобуванні граніту на щебінь для його відриву від тіла (моноліту) корисної копалини родовища використовують буро-вибухові роботи, завдання яких – зруйнувати частину моноліту, утворивши так званий розвал гірської породи, який згодом навантажується екскаваторами в автосамоскиди чи на залізничні платформи – думпкери і доставляється на дроблення і сортування.

Застосування вибухових робіт створює ризики ураження персоналу гірничодобувного підприємства, людям, які наближаються до кар'єру під час проведення вибухових робіт, а також діяльності наближених до кар'єра аеродромів, підприємств, автомобільних доріг та ін.

Будівельна галузь України є однією з найбільш травматичних [2]: за даними Державної служби України з питань праці, станом на 07.12.2023 р., від початку 2023 р., на будівельну галузь припадає 6,4 % всіх виробничих травм, що більше, ніж в традиційно небезпечних вугільній (4,1 %), гірничорудній (3,2 %), енергетичній (5,6%) галузі та ін. галузях економіки [2].

Важливо також те, що вибухові роботи можуть чинити потужний вплив на довкілля, на споруди населених пунктів і на населення прилеглих територій. Так, приміром, кар'єри будівельних матеріалів потребують значних площ відводів землі як під сам кар'єр, так і під розміщення відвалів розкривних порід. Та й самі технологічні процеси видобування будівельних порід часто не обмежуються суто межами кар'єру: пил, шум, пониження рівнів води на прилеглих територіях (через водовідлив з кар'єра), сейсмічні хвилі вибухів, розліт уламків гірських порід та ін. – все це погіршує якість життя на прилеглих до підприємства територіях і навіть створює загрози для здоров'я працівників і населення. Промисловий вибух є носієм багатьох небезпек, більшість з яких, завдяки розробленим правилам безпеки ведення вибухових робіт [3, 4, 5], усуваються або локалізуються межами кар'єра. Але найбільш нелокалізованими шкідливими і небезпечними факторами вибуху є уламки граніту і сейсмічна хвиля, які утворюються в момент вибуху і можуть розповсюджуватись за межу кар'єру на прилеглі території.

Актуальність теми магістерської роботи зумовлюється тим, що вона спрямована на усунення, або, як мінімум, на зниження рівня ризику ураження працівників кар'єру і населення прилеглих до кар'єру територій уламками граніту при проведенні промислових вибухових робіт.

Мета дослідження – зниження ризиків ураження людей, техніки і довкілля при виконанні вибухових робіт при видобуванні граніту

Завдання дослідження – для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- виявити і проаналізувати головні шкідливі та небезпечні фактори вибухових робіт;

- розглянути відомі засоби і заходи з підвищення безпеки вибухових робіт;
- запропонувати можливі нові напрямки (засоби і заходи) підвищення безпеки вибухових робіт.

Об'єктом дослідження є безпека вибухових робіт як частини технологічного процесу промислового видобування граніту, головні шкідливі та небезпечні фактори вибухових робіт .

Предмет дослідження – промисловий вибух, процес розкидання уламків граніту як один з головних чинників можливого ураження працівників, техніки і довкілля при виконанні вибухових робіт.

Провідним методом дослідження, що використаний в даній роботі, є **аналіз**, завдяки якому цілісний об'єкт дослідження (безпека вибухових робіт) розкладено на складові (п'ять уражальних факторів) з подальшим вибором провідної складової як об'єкта удосконалення.

При виконанні роботи також використовувались такі методи, як **синтез** (поєднання аналізу окремих небезпечних факторів вибуху одне ціле – в безпеку вибухових робіт), **індукція** (перехід від часткового до загального, коли на підставі знання про частину уражальних факторів вибуху робиться висновок стосовно безпеки вибухових робіт в цілому) та ін.

1. БЕЗПЕКА ВИБУХОВИХ РОБІТ ПРИ ВИДОБУВАННІ ГРАНІТУ

Вибухові роботи є першою операцією технологічного процесу видобування граніту. Це пояснюється тим, що відрив шматків граніту від моноліту за допомогою екскаваторів чи інших машин з механічним робочим органом неможливий через високу міцність цієї гірської породи. Тому класична схема видобування граніту на щебінь включає в себе виконання наступних технологічних операцій:

- проведення буро-вибухових робіт;
- екскавацію подрібненої вибухом гірської породи і її навантаження в засоби промислового транспорту;
- транспортування гірської маси для подрібнення в дробарках;
- подрібнення маси на щебінь і його сортування по розмірах частинок (по фракціях).

Кожна з цих операцій є джерелом можливих небезпек, ризиків, загроз для людей і довкілля, але відповідно до теми даної магістерської роботи увага приділена саме першій операції – буро-вибуховим роботам.

1.1. Шкідливі та небезпечні фактори вибухових робіт

Сам термін «буро-вибухові роботи» показує, що вони складаються з двох складових: бурових і вибухових. Бурові роботи мають на меті утворення шпурів чи свердловин¹. Як і будь-який технологічний процес, вони створюють для персоналу певні ризики, але рівень небезпеки цих ризиків значно нижчий, ніж другої складової – проведення вибухових робіт.

Промисловий вибух створює п'ять факторів небезпеки [6]:

- ударно-повітряну хвилю;

¹ Шпур – це штучне циліндричне заглиблення у гірських породах діаметром до 75 мм і глибиною до 5 м. Свердловина – циліндричне заглиблення у гірських породах діаметром понад 75 мм та глибиною понад 5 м.

- детонаційну хвилю;
- сейсмічну хвилю;
- пило-газову хмару продуктів вибуху;
- розліт уламків гірської породи.

Перший фактор небезпеки – *ударно-повітряна хвиля (УПХ)* являє собою зону сильно стисненого повітря, яке поширюється від центру вибуху в усі сторони з надзвуковою швидкістю. Хвиля має дві фази – передню (стиснення, тиск вищий за атмосферний) і задню (розрідження, тиск нижче атмосферного). Саме перепади тиску є причиною потужного фізичного впливу на об'єкти, споруди і людей, тому нормативно-правовим актом з охорони праці НПАОП 0.00-1.67-13 «Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні» [3] в розділах 6 і 7 передбачені запобіжні заходи, головними з яких є відведення людей на безпечну відстань та використання спеціальних укриттів. Також варто додати, що при виконанні вибухових робіт в глибоких кар'єрах вплив цього уражального фактору (УПХ) практично не поширюється за межі кар'єра.

Другий небезпечний фактор – *детонаційна хвиля* – це хвиля стиснення (ударна хвиля), що проходить по заряду вибухової речовини (ВР) та супроводжується зоною реакції вибухового перетворення, що виникає за фронтом хвилі [7]. Вона практично не чинить безпосередньої дії на працівника (підричника) і лише може ініціювати вибух (детонацію) наближених до епіцентру вибуху вибухових речовин (ВР). НПАОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» [4] в розділі XIV містить формули для розрахунку відстаней, безпечних з точки зору детонації наближених до епіцентру вибуху ВР.

Третій небезпечний фактор – *сейсмічні хвилі* – це пружні хвилі, що виникають внаслідок штучних вибухів, природних землетрусів, а також, ударів та розповсюджуються в речовині оболонок Землі. При виборі безпечних режимів підривання поблизу об'єктів, що зазнають багаторазового впливу сейсмічних навантажень, необхідно, щоб рівень сейсмічної дії вибуху не перевищив граничнодопустимого (критичного) значення. У главі IX, розділах 2, 3, 4, 5

НПАОП 0.00-1.67-13 «Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні» [3] наведені заходи, що запобігають тяжким наслідкам від сейсмічних хвиль, які утворюються при виконанні промислових вибухових робіт, а також при падінні масивних об'єктів.

Четвертий небезпечний фактор – *отруйні гази вибуху* також є фактором загрози при виконанні вибухових робіт. У главі XV нормативно-правового акту НПАОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» [4] наведено формули розрахунку відстаней, безпечних за дією отруйних газів вибуху.

П'ятий небезпечний фактор – *розкидання кусків породи (розліт уламків)* є фактором можливого фізичного ураження людини, виводу з ладу технологічного обладнання, будівель тощо. У главі XIII нормативно-правового акту НПАОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» [4] наведено методику розрахунку відстані, що є небезпечною для людей за розкиданням окремих кусків породи під час підривання свердловинних зарядів, розрахованих на дроблення та розпушування гірського масиву. Головним способом запобігання травмуванню людей уламками є їх недопущення в небезпечну зону, радіус якої розраховується за формулами, наведеними в розділі XIII документу [4]. Саме цей фактор став предметом дослідження в даній роботі.

1.2. Відомі засоби і заходи з підвищення безпеки вибухових робіт

Як вже зазначалося, всі головні засоби і заходи з підвищення безпеки виконання вибухових робіт вказані у трьох нормативно-правових актах: НПАОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» [4], НПАОП 0.00-1.67-13 «Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні» [3] та НПАОП 0.00-7.08-07 «Вимоги технічної безпеки до місць зберігання вибухових матеріалів промислового призначення» [5].

В рекомендаціях зі зниження дієвості *ударно-повітряної хвилі* (УПХ) рекомендується застосовувати так зване короткоуповільнене підривання зарядів у свердловинах (КУП).

Для зниження інтенсивності УПХ і, відповідно, зменшення радіуса небезпечної зони «необхідно використовувати захисні укриття місця вибуху. Використання газонепроникних укриттів типу будиночків, суцільних щитових металевих або дерев'яних укриттів та інших, що забезпечують безпеку від розльоту шматків підірваної породи, повинно знизити радіус небезпечної зони удвічі порівняно з розрахунковим. При використанні у якості укриття пересувного локалізатора санного типу радіус небезпечної зони повинен бути зменшений в 1,5 рази. Довжина забивки повинна становити не менше 10 діаметрів заряду» [3]. Рекомендується використовувати масивні укриття, стійкі проти перекидання їх під дією УПХ, наводиться формула розрахунку необхідної маси укриття.

Детонаційна хвиля як фактор ураження може бути нейтралізована головним чином дотриманням мінімально безпечної відстані r_d , що виключає можливість передавання детонації від вибуху на земній поверхні одного об'єкта з вибуховими матеріалами (ВМ) – активного заряду до іншого такого самого об'єкта – пасивного заряду. Цю відстань визначають за формулою

$$r_d = K_d \sqrt[3]{Q} \cdot \sqrt[4]{b}, \text{ м}, \quad (1.1)$$

де r_d – безпечна відстань від центра активного до поверхні пасивного заряду, м;

K_d – коефіцієнт, що залежить від виду ВМ зарядів і умов вибуху;

Q – маса ВР активного заряду, кг;

b – менший лінійний розмір пасивного заряду (ширина штабеля), м.

Головних засобів зниження дієвості *сейсмічних хвиль* на інженерні об'єкти налічується два: обмеження маси ВР (розділ 4 [3]) та встановлення сейсмічних екранів (розділ 5 [3]).

Дія отруйних газів вибуху детально розглянута у НПАОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» [4], де зазначається, що безпечну відстань r_{Γ} за дією отруйних газів

в умовах відсутності вітру або в напрямку, перпендикулярному поширенню вітру, під час підривання зарядів викидання визначають за формулою

$$r_{\Gamma} = 160 \cdot \sqrt[3]{Q}, \quad (1.2)$$

де Q – сумарна маса зарядів вибуху, т.

У напрямку, протилежному руху вітру, радіус газонебезпечної зони необхідно приймати рівним r_{Γ} . У напрямку вітру радіус газонебезпечної зони r_{Γ} визначають за формулою [4]

$$r_{\Gamma} = 160 \cdot \sqrt[3]{Q} \cdot (1 + 0,5 \cdot V_{\text{в}}) \quad (1.3)$$

де $V_{\text{в}}$ – швидкість вітру в період проведення вибуху, м/с.

Розліт уламків як небезпечний фактор фізичного впливу на людину, техніку, довкілля детально розглянутий в НПАОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» і нейтралізується шляхом виведення людей і техніки за межі небезпечної зони, радіус якої $r_{\text{роз.}}$ визначається за формулою, що наведена в главі XIII [4]:

$$r_{\text{роз.}} = 1250 \cdot \eta_{\text{з}} \sqrt{\frac{f}{1 + \eta_{\text{заб}}} \frac{d}{a}}, \text{ м}, \quad (1.4)$$

де $\eta_{\text{з}}$ – коефіцієнт заповнення свердловини ВР;

$\eta_{\text{заб}}$ – коефіцієнт заповнення свердловини забійкою;

f – коефіцієнт міцності породи за шкалою проф. М.М. Протод'яконова;

d – діаметр свердловин, м;

a – відстань між свердловинами в ряду або між рядами, м.

Як видно з формули, величина радіусу розльоту уламків є абсолютно прогнозованою величиною і може бути розрахована з урахуванням режиму заряджання та властивостей (коефіцієнту міцності) гірської породи, що підривається. Позитивним є також те, що результат розрахунку можна (і потрібно) порівняти з таблицею, наведеною в додатку до НПАОП [4]:

Додаток 37

до Правил безпеки під час поводження
з вибуховими матеріалами
промислового призначення
(пункт 1.7 розділу XIII)

**Таблиця 1. Безпечні для людей відстані за розкиданням кусків породи
при вибухах на викидання та скидання**

Лінія наймен- шого опору, W , м	Радіус небезпечної зони (м) для людей при значенні показників дії вибуху заряду n			
	1,0	1,5	2,0	2,5-3,0
1	2	3	4	5
1,5	200	300	350	400
2,0	200	400	500	600
4,0	300	500	700	800
6,0	300	600	800	1000
8,0	400	600	800	1000
10,0	500	700	900	1000
12,0	500	700	900	1200
15,0	600	800	1000	1200
20,0	700	800	1200	1500
25,0	800	1000	1500	1800
30,0	800	1000	1700	2000

Примітка. Під час вибухів на косогорах або в умовах перевищення верхньої відмітки вибухової ділянки над ділянками границі небезпечної зони безпечну відстань треба збільшувати в 1,5 разу.

Рис. 1.1. Таблиця для контролю розрахункових даних радіуса розльоту уламків

При порівнянні розрахункових даних з табличними приймається більше значення, яке заокруглюється з точністю 50 м.

Оскільки розліт уламків заданий як основний небезпечний фактор, який підлягає детальному розгляду в даній роботі, він у всій повноті буде розглянутий в наступних розділах.

Загальні правила безпеки при веденні вибухових робіт

Усі види вибухових робіт проводяться суб'єктами господарювання на підставі затвердженої та узгодженої технічної документації.

Для здійснення вибухових робіт застосовуються ВМ, допущені до постійного застосування відповідно до Порядку включення (виключення) вибухових матеріалів промислового призначення до (з) Переліку вибухових матеріалів промислового призначення, допущених до постійного виробництва і застосування, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 09 серпня 2006 року №515, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 23 серпня 2006 року за № 1006/12880 (далі - НПАОП 0.00-6.05-06) [13].

Суб'єкти господарювання, що здійснюють вибухові роботи, повинні мати технічні ТУ на кожен із видів ВМ, які вони застосовують.

У разі ведення вибухових робіт у режимі випробувань вони повинні здійснюватися на

підставі технічної документації, визначеної в Порядку проведення випробувань розроблених, ввезених в Україну та конверсійних вибухових матеріалів, обладнання для їх виготовлення, засобів механізації, пристроїв та апаратури для вибухових робіт, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 15 вересня 2006 року № 619, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 05 жовтня 2006 року за № 1093/12967 (далі - НПАОП 0.00-6.06-06) [14].

Проведення вибухових робіт за кожних конкретних умов повинно здійснюватися на підставі відповідного типового проекту, проекту та паспорта.

Основою тривалого ведення вибухових робіт за незмінних умов (кар'єр, будівельний майданчик, глибокі свердловини, обробка матеріалів у стаціонарних умовах тощо) є типовий проект, який містить загальні технічні рішення з ефективного та безпечного використання енергії вибуху.

На підставі даних типового проекту повинен складатися паспорт проведення вибуху за типових умов з урахуванням конкретних особливостей об'єкта руйнування або обробки.

Під час підготовки і проведення МВ на відкритих гірничих роботах заборонену зону визначають у проекті (паспорті) ведення підривних робіт. Під час тривалого заряджання вона повинна становити не менше ніж 20 м від найближчого заряду.

Небезпечну зону необхідно встановлювати:

- під час електричного ініціювання вибуху - від початку заряджання;
- під час ініціювання за допомогою ДШ - від початку монтування підривної мережі;

Під час підготовки МВ на відкритих гірничих роботах на період заряджання замість небезпечних зон можуть встановлюватися заборонені зони, у межах яких забороняється перебування осіб, не пов'язаних із заряджанням.

Заборонена зона поширюється як на робочий майданчик уступу, де проводять заряджання, так і на нижче- та вищерозташовані уступи. У межах забороненої зони на нижче- і вищерозташованих уступах дозволяється рух тільки технологічного транспорту по встановлених трасах.

Під час підривних робіт з метою оповіщення працівників обов'язково необхідно подавати звукові сигнали. Забороняється подавати сигнали голосом, а також із застосуванням ВМ.

Значення та порядок подавання звукових сигналів:

- перший сигнал - «Попереджувальний!» (один тривалий). Сигнал на земній поверхні - під час електричного ініціювання вибуху перед початком заряджання. Підривникам дозволяється монтувати підривну мережу після закінчення робіт із заряджання та виведення пов'язаних із цим осіб за межі небезпечної зони;

- другий сигнал - «Бойовий!» (два тривалих). За цим сигналом дозволяється ініціювати вибух;

- третій сигнал - «Відбій!» (три коротких). Означає закінчення підривних робіт.

На земній поверхні до зони монтажу електропідривної мережі повинна включатися поверхня, що обмежена контуром, який на 50 м перевищує контур

електропідривної мережі, незалежно від висоти підвіски провідників електричного струму.

Допускати людей до місця вибуху дозволяється лише з дозволу керівника підривних робіт не раніше ніж через 15 хвилин після одержання інформації про те, що виконавчий блок перебуває у заблокованому стані.

Під час застосування на земній поверхні свердловинних зарядів з ВР групи D (крім димного пороху) та систем ініціювання з ДШ необхідно доставляти забивний матеріал на зарядний блок транспортними засобами, облаштованими вогнегасниками та іскрогасниками, та унеможливлувати наїзд на устя свердловин, ДШ і хвилеводи, що виходять із свердловин.

Масові вибухи на земній поверхні, що створюють загрозу безпеці повітряного руху, дозволяється здійснювати тільки після узгодження їх проведення з керівниками інших суб'єктів господарювання, об'єкти яких потрапляють до небезпечної зони.

На час заряджання свердловини бурові станки, а також обладнання, що не застосовується для заряджання, необхідно віддаляти від свердловини за межі небезпечної зони на відстань не менше ніж 20 м.

Способи і технологічні режими формування свердловинних зарядів повинні запобігати їх засміченню інертними матеріалами [4].

Підривні роботи поблизу об'єктів, що мають важливе господарське значення (електростанції, ядерні реактори, залізниці та автомобільні дороги, водні шляхи та греблі, лінії електропостачання, електропідстанції, заводи, залізничні станції, порти, пристані, підземні споруди, телефонні лінії тощо), необхідно проводити за узгодженням з відповідними організаціями, поблизу яких проводяться підривні роботи, та органами місцевого самоврядування.

Підривну станцію необхідно розміщувати за межами небезпечної зони. За неможливості виконати цю вимогу необхідно облаштовувати спеціальні стаціонарні або пересувні укриття (бліндажі, місця схову тощо).

Місця розташування укриттів необхідно визначати проектом або паспортом ведення підривних робіт.

Штучні або природні укриття повинні бути досить міцними та надійно захищати виконавців підривних робіт від уражальних чинників вибуху, у тому числі кусків породи, ударно-повітряної хвилі та отруйних газів. Підходи до укриття повинні бути зручними та незахаращеними.

1.3. Резерви можливість підвищення безпеки вибухових робіт

В попередньому підрозділі розглянуті засоби і заходи забезпечення безпеки вибухових робіт, і вони не є вичерпними. Науково-технічний прогрес дозволяє удосконалювати всі компоненти вибухової справи: власне вибухові речовини (ВР), засоби ініціювання вибуху (детонатори, засоби підривання) тощо. Все це сприяє усуненню або значному зниженню рівнів очевидних небезпек: «самочинній» детонації вибухових речовин, ураженню людей газоподібними продуктами вибухів, руйнуванню будинків, трубопроводів, доріг та інших споруд сейсмічними хвилями вибуху та ударно-повітряними хвилями тощо.

Нерідко поза фокусом уваги опиняються такі небезпечні фактори, які відомі як дуже небезпечні, але, при цьому вони вважаються вивченими, достатньою мірою нейтралізованими і такими, що перестали бути серйозною загрозою для життя і здоров'я людей. Одним з таких шкідливих факторів вибуху є розліт уламків шматків гірської породи (в нашому випадку – граніту), де головним заходом попередження травм і уражень вважається відведення персоналу на безпечну відстань без надання конкретних рекомендацій для зменшення цієї відстані.

Саме з цих міркувань тема зниження ризиків травмування людей уламками граніту попередньо була обрана як один з резервів підвищення безпеки при виконанні вибухових робіт як складової частини технологічного процесу видобування цього цінного будівельного матеріалу.

2. ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИБУХОВИХ РОБІТ

2.1. Аналіз факторів, що впливають відстань розльоту уламків граніту після вибуху

В попередньому розділі показано, що радіус розльоту уламків гірської породи може бути розрахований за формулою, наведеною в главі XIII НПАОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення»:

$$r_{\text{роз.}} = 1250 \cdot \eta_3 \sqrt{\frac{f}{1+\eta_{\text{заб}}} \frac{d}{a}}, \text{ м}, \quad (2.1)$$

де η_3 – коефіцієнт заповнення свердловини ВР;

$\eta_{\text{заб}}$ – коефіцієнт заповнення свердловини забійкою;

f – коефіцієнт міцності породи за шкалою проф. М.М. Протодьяконова;

d – діаметр свердловин, м;

a – відстань між свердловинами в ряду або між рядами, м.

Коефіцієнт заповнення свердловини ВР чисельно дорівнює відношенню довжини заряду в свердловині l_3 , м, до глибини пробуреної свердловини L , м:

$$\eta_3 = l_3 / L. \quad (2.2)$$

Коефіцієнт заповнення свердловини забійкою $\eta_{\text{заб}}$ дорівнює відношенню довжини забійки $l_{\text{заб}}$, м, до довжини вільної від заряду верхньої частини свердловини l_n , м:

$$\eta_{\text{заб}} = l_{\text{заб}} / l_n. \quad (2.3)$$

У разі цілковитого заповнення забійкою вільної від заряду верхньої ділянки свердловини $\eta_{\text{заб}}=1$, у разі вибуху без забійки - $\eta_{\text{заб}}=0$.

Коефіцієнт міцності породи:

$$f = \sigma_{\text{ст}}/100 \quad (2.4)$$

де $\sigma_{\text{ст}}$ – границя міцності породи на одновісне стискання за стандартного випробування зразків правильної форми, кгс/см² (1 кгс/см² = 98066,5 Па).

З усього набору параметрів, що входять до складу формули для визначення радіусу розльоту уламків граніту (2.1) лише міцність граніту $\sigma_{\text{ст}}$ (точніше – похідна від неї f) є параметром, який не залежить від виконавців робіт.

Решта чотири параметри η_z , $\eta_{\text{заб}}$, d , a є такими, що визначаються при проектуванні вибухових робіт і значною мірою впливають на їх результат.

Окремо слід відзначити те, що у формулі (2.1) відсутня маса вибухової речовини (ВР). Насправді вона присутня у складі комплексного показника – числа 1250, яким і починається формула. Це позбавляє нас (як майбутніх фахівців з безпеки праці, а не з вибухової справи) можливості виконати кількісний аналіз впливу виду ВР на розліт уламків, але надання рекомендацій стосовно якісних характеристик ВР має бути обов'язково.

2.2. Вплив бризантності вибухової речовини (ВР) на характер вибуху

У гірничій справі широкого поширення одержали вибухи за допомогою вибухових речовин, під якими розуміють хімічні сполуки, або механічні суміші, здатні вибухати під дією зовнішніх імпульсів. При вибуху таких речовин виділяється велика кількість тепла й утворюється значна кількість газів, здатних виконувати механічну роботу з руйнування гірських порід. Вибухові речовини застосовують у зарядах, під якими розуміють визначену масу ВР, підготовлену до вибуху [8].

У більшості ВР горючі елементи водню і вуглецю окисляються киснем, що входить до складу самої ВР, на відміну від процесу горіння, при якому окислювання відбувається за рахунок кисню повітря. Це забезпечує високу концентрацію енергії в одиниці об'єму ВР. Швидкість поширення реакції досягає

декількох тисяч метрів за секунду, що забезпечує значну потужність вибуху.

При вибуху ВР утворюється значна кількість газів (600-1000 л на 1 кг) і виділяється тепло ($2,5 \cdot 10^3$ - $7,1 \cdot 10^3$ Дж на 1 кг), яке забезпечує нагрівання продуктів вибуху до температури 1900-4500°C.

Відмінними ознаками вибуху ВР є висока об'ємна концентрація енергії, велика швидкість перетворення, екзотермічність процесу, утворення газоподібних продуктів і звуковий ефект.

Розрізняють такі види хімічного перетворення ВР:

1) детонацію – поширення вибуху за масою ВР із надзвуковою, постійною для даної ВР і діаметра заряду, швидкістю (вона обумовлена проходженням ударної хвилі);

2) горіння – змінна за швидкістю реакція окислювання (від долей сантиметра до сотень метрів за секунду), що протікає при високій температурі полум'я і заснована на теплопередачі;

3) термічне розкладання – повільна реакція, яка проходить у всьому обсязі речовини, що знаходиться при однаковій температурі, практично такій, що дорівнює температурі навколишнього середовища. У деяких умовах, наприклад, при великій масі ВР і підвищеному тиску, термічне розкладання може перейти із горіння в детонацію.

Найбільш ефективним видом перетворення речовини при вибуху є детонація, яку широко використовують для руйнування гірських порід (хоча у визначених умовах використовують і вибухове горіння, наприклад, димний порох) [8].

При видобуванні граніту, базальту для потреб будівельної індустрії, вибухові роботи, по-перше, є головним інструментом відокремлення певної частини продукту від гірського масиву («відбійка» породи), по-друге – інструментом подрібнення гірської породи.

Механізм руйнування скельної монолітної породи вибухом зосередженого заряду ВР принципово відрізняється від механізму дії вибуху в ґрунтах. У скельній породі поблизу заряду під дією ударної хвилі і високої температури

продуктів вибуху утворюється зона сильно деформованої породи, Цю область називають зоною стиснення або подрібнення, рис. 2.1 [9].

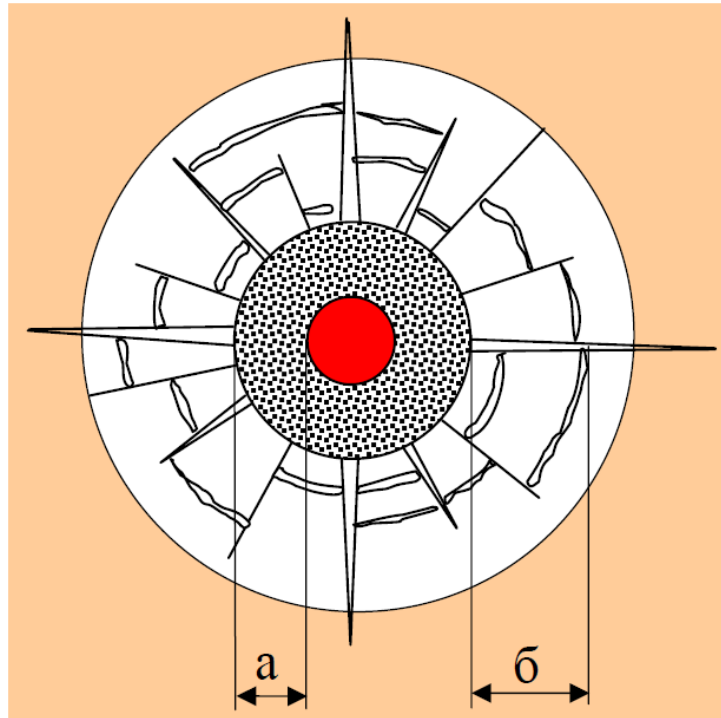


Рис. 2.1. Схема розподілу тріщин в породі біля місця вибуху (за Г.І. Покровським): а – зона стиснення (подрібнення); б – зона розпушування [9]

По мірі віддалення від заряду напруження в хвилі стиснення швидко знижуються і на певній відстані стають менше опору породи роздавлюванню. Змінюється й характер деформації, що призводить, відповідно і до зміни характеру руйнування середовища. Під дією прямої хвилі напружень, яка розповсюджується від заряду ВР, в породі в радіальному напрямку виникають сильні стискаючі напруги, а в тангенціальному – розтягувальні. Саме останні забезпечують появу радіальних тріщин. В результаті такої дії в породі порушується зв'язна будова, і вона розпадається на окремі шматки. Цю зону називають зоною розпушування [8].

У шарах, що більш віддалені від заряду, ударна хвиля вироджується в пружну хвилю, розтягувальні і тангенціальні напруження зменшуються і стають менше величини опору породи розтягуванню. За цих умов зв'язок між частинками середовища не порушується – мають місце лише коливальні

зміщення частинок. Руйнування породи прямою дією хвилі за межами цієї відстані не відбувається. Сильно стиснута порода зміщується в бік центру заряду і ділянки породи, прилеглі до порожнини, відчувають напруження розтягнення в радіальному напрямку: в породі з'являються кільцеві тангенціальні тріщини. Ця зона називається *зоною струсу* [8].

Між зонами подрібнення, розпушування та струсу немає чітких меж. Кожна з названих зон плавно переходить одна в іншу і в цілому ці зони називають зоною руйнування. Радіус зони руйнування залежить від величини заряду, параметрів ВР. Очевидно, що чим більше заряд і його потужність, тим більше радіус дії вибуху [8].

Оскільки при видобуванні граніту на щебінь нас цікавить якраз його якісне подрібнення (а не розкидання, не утворення виїмок-воронок), доцільно використовувати не металеві, а бризантні ВР.

Бризантність ВР – здатність ВР до місцевої руйнівної дії в результаті удару продуктів вибуху в середовищі, що прилягає до заряду. Тобто, як слідує з рис. 2.1 бризантні ВР створюють велику зону подрібнення (а)

До промислових бризантних ВР відносяться аміачно-селітрові ВР, амоніти, амонали, грануліти. Тротил також є бризантною ВР, але використовується в промислових вибухових роботах обмежено.

Застосування бризантних ВР (з обмеженою метальною дією) дозволяє, при правильному проектуванні і виконанні промислових вибухових робіт, отримувати хорошу відбійку (відокремлення потрібної частини гірської породи від моноліту родовища) і належне її подрібнення. При цьому енергія вибуху не витрачається на надмірне розкидання гірської породи (рис. 2.2):



а)

б)

Рис. 2.2. Два промислових вибухи на гранітних кар'єрах: а) – зі значним викидом породи; б) – з незначним викидом породи при хорошій бризантності
(стоп-кадри з навчальних відеороликів платформи Moodle навчальної дисципліни «Безпека вибухових робіт» НУВГП)

Висновок: правильний вибір вибухової речовини з достатньою бризантністю і малою метальною дією сприяє зменшенню радіусу розкидання уламків гірської породи від епіцентру вибуху.

Однією з нових вітчизняних ВР з підвищеною бризантністю є емульсійна вибухова речовина «Україніт» [10]. Бризантність «Україніту» наочно ілюструється рис. 2.3:



Рис. 2.3. Випробування бризантної дії:

1) Амоніт 6ЖВ; 2) Україніт ПП-2Б, 3) Тован-60 (ЕТІ, Канада) [10]

2.3. Вплив розміщення свердловин на характер вибуху

Допустимі розміри шматків висадженої гірської маси визначають залежно від робочих параметрів гірничого, транспортного і дробильного устаткування.

Для місткості ковша екскаватора

$$d \leq 0.8 \cdot \sqrt[3]{E} \quad (2.5)$$

де d – максимальний розмір шматка гірської маси, м; E - ємкість ковша екскаватора;

для приймального отвору перевантажувального бункера або дробильної установки

$$d \leq 0,8b \quad (2.6)$$

де b – менша сторона приймального отвору бункера або дробильної установки.

Шматки висадженої гірської породи з розмірами більшими зазначених вважаються негабаритними і підлягають повторному подрібненню.

Вибух має бути виконаний таким чином, щоб було забезпечено досягнення надійної відбійки і належного подрібнення гірської породи, а також утворення розвалу подрібненої гірської породи належної висоти, що відповідає характеристиці екскаватора, який буде задіяний на навантаженні подрібненого граніту в транспортний засіб.

У нормативно-правовому акті НПАОП 0.00-1.24-10 «Правила охорони праці під час розробки родовищ відкритим способом» у V розділі, пункт 1.1 вказано, що «Під час відпрацювання порід і руд із застосуванням вибухових робіт допускається збільшення висоти вибою до півтори висоти черпання (рис. 2.4). У цих випадках необхідно вживати додаткових заходів, які запобігають довільному обваленню козирків і навісів» [11].

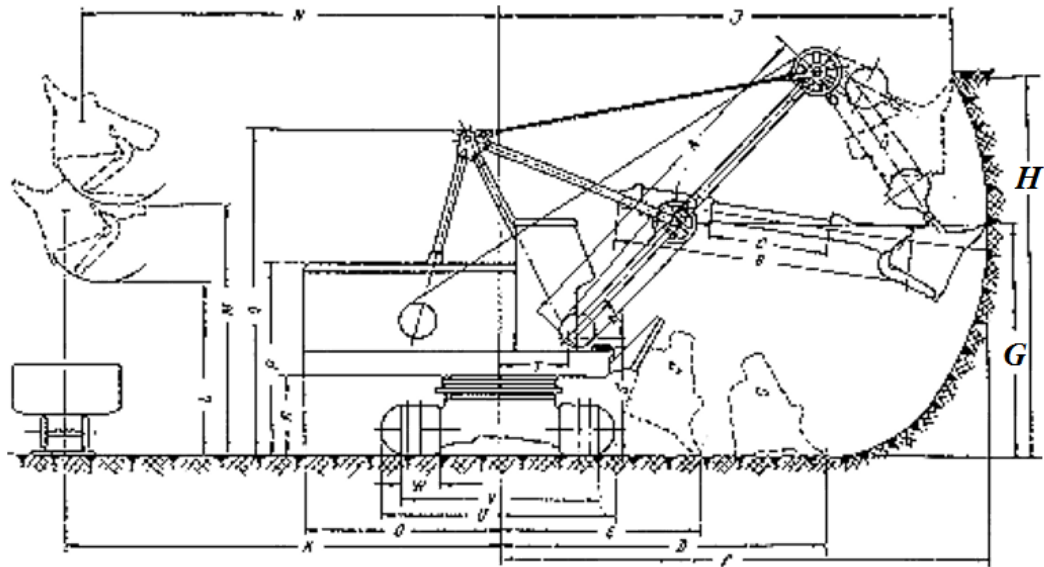


Рис. 2.4. Висота черпання екскаватора (на схемі позначена H)

Отже, висота розвалу, яка формується частинками подрібненого граніту і залежить від об'єму підірваного моноліту граніту, обов'язково залежить від правильності розрахунків у проекті виконання вибухових робіт.

Один із основних показників ефективності вибухової відбійки гірських порід – **кускуватість**. При видобуванні корисних копалин необхідно досягати такого подрібнення гірських порід, щоб витрати на одиницю продукції за всім комплексом видобутку, за механічним подрібненням і першою стадією подрібнення були мінімальними [1]. При впровадженні **багаторядного короткосповільненого висадження** (БРКСВ) істотно поліпшилася якість подрібнення міцних гірських порід на кар'єрах гірничо-збагачувальних комбінатів і різко знизився вихід крупних негабаритних фракцій.

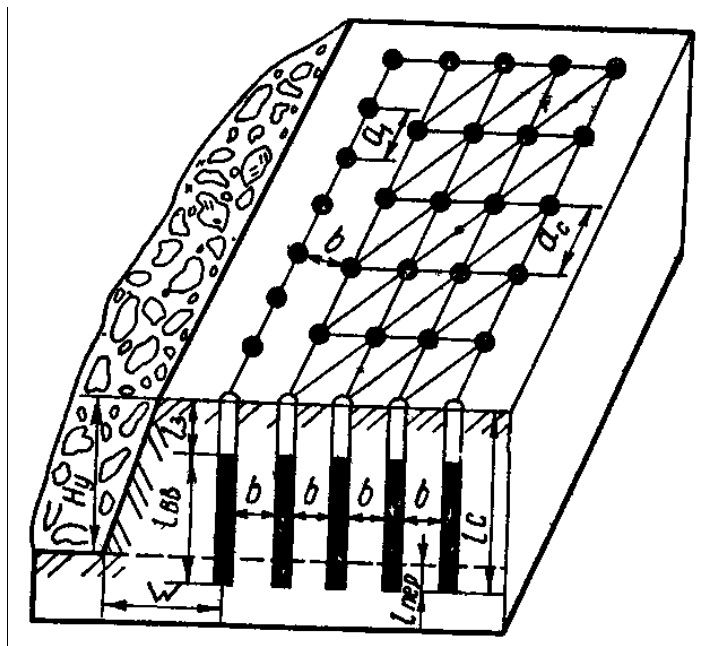


Рис. 2.5. Схема розташування свердловинних зарядів: a_c – відстань між свердловинами; b – відстань між рядами; l_{ep} – глибина заряджання ВР; l_c – глибина свердловини; l_n – глибина перебуру² [1]

НПАОП 0.00-1.67-13 «Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні» зазначають (розділ VI, пункт 1.8) [4], що «За умови технологічної недостатності розмірів робочих майданчиків та в разі необхідності обмеження ширини розвалу гірської маси з метою збереження транспортних та інших комунікацій у кар'єрі необхідно застосовувати метод підривання в стислому середовищі, при якому необхідно здійснювати підривання на підпірну стінку з гірської маси попередньо проведеного масового вибуху.

Збільшення питомої витрати ВР при багаторядному висадженні підвищує ступінь подрібнення гірських порід. Проте навіть при БРКСВ недостатньо повно вирішується питання подрібнення гірських порід в області розташування свердловин I ряду. Тому був запропонований і розроблений метод висадження на неприбрану гірську масу, при якому за рахунок перепони (висаджена гірська маса) зменшується зсув масиву, що підривається, в період руйнування, що

² Перебур – частина вибухової свердловини (шпуру), розташована нижче рівня проектної підшви уступу.

збільшує час дії вибуху на масив і дозволяє поліпшити якість подрібнення гірських порід.

Скопійована з додатку 13 [4] схема підривання на підпірну стінку наведена на рис. 2.6:

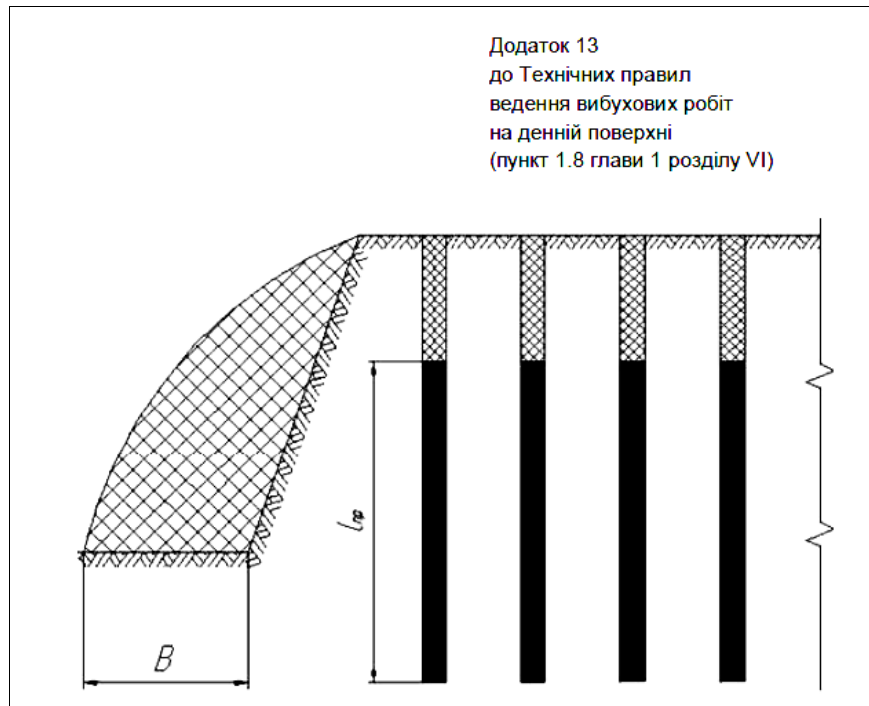


Рис. 2.6. Схема підривання на підпірну стінку [4]

Багаторядний короткосповільнений вибух (БРКСВ) – один із найбільше ефективних засобів підвищення ступеня подрібнення масивів міцних гірських порід. Основними чинниками, що визначають ефективність БРКСВ, є інтервал часу сповільнення і послідовність висадження окремих зарядів або серій. Вибір оптимальних рішень проводиться з урахуванням властивостей середовища і необхідних результатів вибуху.

Висновок: використання багаторядного короткосповільненого вибуху сприяє підвищенню ступеня подрібнення масивів міцних гірських порід, зокрема – граніту без збільшення фугасної (метальної) дії ВР.

2.4. Вплив сповільнення вибуху свердловинних зарядів на характер вибуху

Поліпшення якості вибуху при короткосповільненому вибуху (КСВ)

відбувається в результаті різноманітного виду взаємодій суміжних зарядів або серій. Незважаючи на ряд переваг, при однорядному КСВ поліпшити якість подрібнення неможливо внаслідок сильної тріщинуватості зон масиву, що прилягають до відкритих поверхонь уступу. Значно більшого ефекту досягають при багаторядному короткосповільненому висадженні (БРКСВ).

При багаторядному короткосповільненому висадженні на інтенсивність подрібнення порід позитивно впливає збільшення питомої витрати ВР. При однорядному висадженні питома витрата ВР взаємозалежна з розвалом гірської маси, тому збільшення питомої витрати недоцільне, бо при цьому збільшується ширина розвалу, а подрібнення не поліпшується.

Існують різні схеми черговості підривання зарядів (рис. 2.6.) [1]:

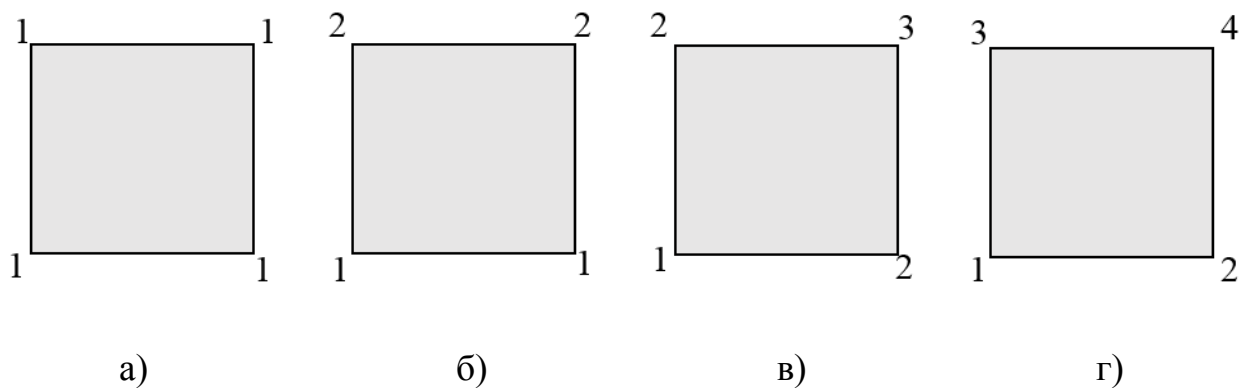


Рис. 2.6. Схеми черговості підривання зарядів: а) одночасне підривання; б) дворазове підривання; в) триразове підривання; г) чотириразове підривання

Чотириразове навантаження (рис. 2.6 г), яке відрізняється найбільш тривалим періодом розвитку процесу руйнування, найбільш раціональне.

У віддаленій від зарядів зоні відбуваються чотири цикли пружного стиску і розтягу. Різкі перепади напружень і різноманітні напрямки зсувів викликають інтенсивний розвиток пор і мікротріщин незалежно від їхньої орієнтації стосовно зарядів. Екрануюча і розсіювальна дії тріщин і площин нашарування в процесі різночасного і різнобічного розвитку полів напружень позначаються не

настільки істотно, як при дворазових навантаженнях. Навантаження, що діють різночасно, не перевищують межу міцності матеріалу, але при багатократному повторенні можуть викликати мікропереміщення частинок за рахунок пор, тріщин і неоднорідностей мінералогічної будови.

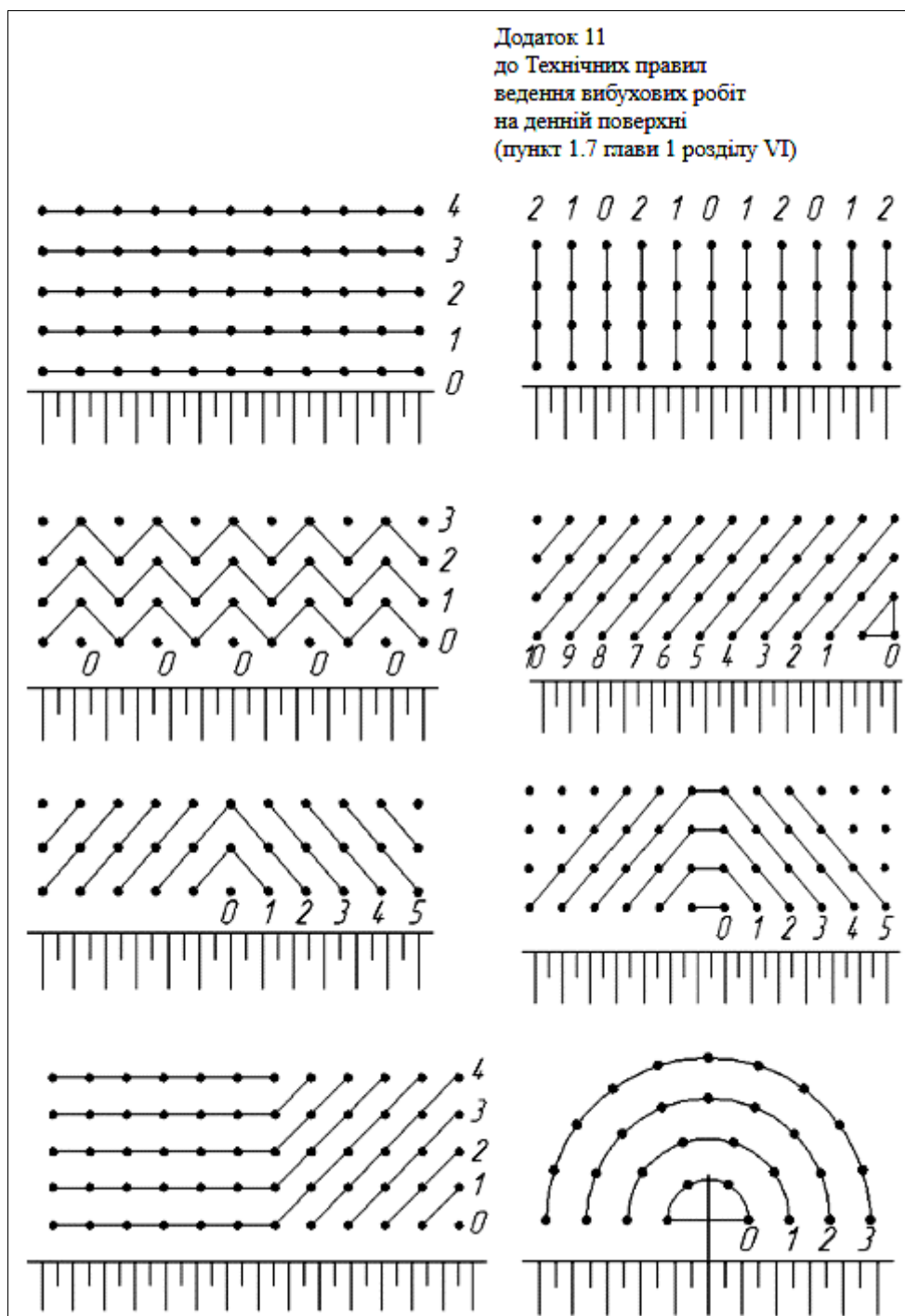


Рис. 2.7. Схеми комутації свердловинних зарядів при короткоуповільненому ініціюванні [3]

У промислових умовах описаний режим вибухових навантажень може

створюватись за допомогою різних схем короткосповільненого висадження.

НПАОП 0.00-1.67-13 «Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні» передбачають використання восьми схем комутації (підключення) свердловинних зарядів при короткоуповільненому ініціюванні (рис. 2.7).

Аналіз гранулометричного складу гірської маси показує, що зі збільшенням числа різночасних навантажень від 1 до 4 діаметр середньозваженого шматка зменшується.

При вибуховій відбійці гірських порід короткосповільненим способом, як правило, виконують комплексне завдання, пов'язане з одержанням необхідної якості подрібнення, потрібних параметрів розвалу висадженої гірської маси і забезпеченням сейсmobезпечності об'єктів, що охороняються.

Основними чинниками, що визначають ефективність короткосповільненого висадження, є інтервал часу сповільнення і послідовність висадження (режим висадження) зарядів або серії зарядів.

При короткосповільненому висадженні відбуваються накладання процесів, що проходять у породі в момент вибуху, і взаємодія їх на різних стадіях розвитку. Характер взаємодії і результат вибуху залежать від величини сповільнення. Для міцних гранітів рекомендований інтервал сповільнення становить від 2 до 5 мілісекунд (мс).

2.5. Обґрунтування важливості недопущення накопичення негабариту в зоні вибухових робіт

Накопичення негабариту в робочій зоні кар'єра призводить до того, що при виконанні наступних циклів буро-вибухових робіт ці крупногабаритні уламки граніту руйнуються зовсім за іншими законами, ніж моноліт граніту.

При відсутності механічного зв'язку з монолітом, шматок граніту руйнується при значно менших впливах ВР, ніж граніт уступів родовища. При

цьому утворюється велика кількість уламків, які розлітаються за зовсім іншими законами і на значно більшу відстань, ніж це прогнозується формулами (1.4), (2.1). На рис. 2.7 показане фото вибуху невеликої потужності на гранітному кар'єрі поблизу с. Клесів (Рівненська обл.); з місця вибуху не були своєчасно видалені брили негабариту, які й утворили уламки, що розліталися за найбільшим радіусом [9].



Рис. 2.7. Вибух на кар'єрі з видобування граніту: 1 – центр вибуху; 2 – сплеск на місці падіння шматка граніту; r – радіус розкидання уламків [9]

Найбільш поширеним методом вибухового подрібнення "негабариту" є шпуровий. При цьому шпури бурять на глибину 0,3 - 0,5 його товщини. Розрахункові питомі витрати ВР для руйнування "негабариту" становлять 0,2 - 0,5 кг/м³.

Для зменшення рівня уражальних факторів вибуху та при руйнуванні "негабариту" великих розмірів необхідно застосовувати метод гідропідривання.

Відстань між шпурами повинна становити 0,5 - 0,7 товщини "негабариту", а відстань від шпуру до найближчої бокової поверхні не повинна бути більшою його глибини.

У разі коли неможливо або недоцільно проводити буріння для розміщення зарядів у негабаритних фракціях породи, необхідно застосовувати зовнішні (накладні) заряди.

Для підвищення руйнівної ефективності та зниження рівня ударно-повітряної хвилі зовнішні заряди необхідно прикривати забивним матеріалом, шар якого повинен бути не меншим однієї - двох товщин заряду.

Як забивку необхідно застосовувати матеріал, наявний на місці робіт, зручний для рівномірного розташування на заряді та який не містить твердих важких предметів.

Висновок: виконання вимог НПАОП 0.00-1.67-13 «Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні» щодо недопущення накопичення негабариту граніту в робочій зоні кар'єру є важливою умовою безпеки виконання вибухових робіт через усунення провокуючого фактора – утворення уламків з негабариту, які мають радіус розльоту більший за розрахунковий.

3. МОДЕЛЮВАННЯ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ ВИБУХОМ ТА РОЗРАХУНОК РАДІУСА НЕБЕЗПЕЧНОЇ ЗОНИ ПРИ ВИКОНАННІ ВИБУХОВИХ РОБІТ

3.1. Вплив міцності граніту на розліт уламків

Як вказувалося у вступі до даної роботи, міцність граніту за шкалою Протодьяконова коливається в межах від 10 до 15.

Також вказувалася наведена у НПАОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» формула для розрахунку радіуса розльоту уламків

$$r_{\text{роз.}} = 1250 \cdot \eta_z \sqrt{\frac{f}{1+\eta_{\text{заб}}} \frac{d}{a}} \quad (3.1)$$

НПАОП 0.00-1.67-13 «Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні» передбачають наступне розташування свердловинних зарядів при традиційній розробці родовища уступами (рис. 3.1) [3]:

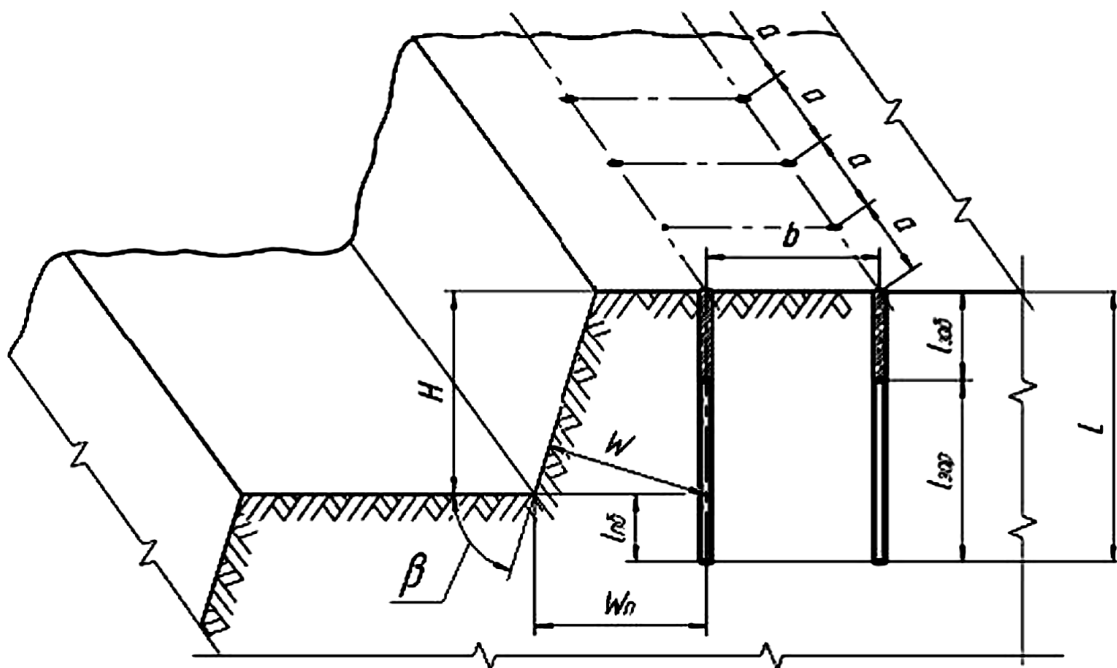


Рис. 3.1. Параметри розташування свердловинних зарядів [3]

Позначення на рис. 3.1 мають такі значення:

H – висота уступу; відповідно до вимог НПАОП 0.00-1.24-10 «Правила охорони праці під час розробки родовищ відкритим способом» [3] (V розділ, пункт 1.1.) вона повинна бути такою, щоб висота розвалу, що утвориться після проведення вибухових робіт, не перевищувала 1.5 висоти копання екскаватора (див. рис. 2.4).

L – глибина свердловини; зазвичай пробурюється на глибину, не меншу висоти уступу і навіть дещо глибше. Різниця між глибиною свердловини L і висотою уступу H називається перебуrom.

W – лінія найменшого опору (ЛНО) – це найкоротша відстань від заряду до денної поверхні.

W_{Π} – опір на підшві уступу (ОПУ) – відстань між крайньою свердловиною і дном уступу.

a – відстань між зарядами в ряді;

b – відстань між рядами свердловин;

$l_{\text{ЗАР}}$ – довжина заряду;

$l_{\text{ПБ}}$ – довжина перебуру;

$l_{\text{ЗАБ}}$ – довжина забивки; забивка – це шар інертного матеріалу (відсів – дрібна фракція, відходи подрібнення уламків граніту на щебінь), призначення якого – «замкнення» продуктів детонації ВР у свердловині, підвищення ККД вибуху.

β – кут нахилу схилу уступу.

При використанні кар’єрного екскаватора ЭКГ-5А (висота копання 10,3 м) задаємось висотою уступу $H = 10$ м (вимога п. 1.1. розд. V НПАОП 0.00-1.24-10 при цьому виконується).

Приймаємо $a = 4$ м, $b = 5$ м, $l_{\text{ПБ}} = 1$ м, $l_{\text{ЗАР}} = 7$ м,

При перебури $l_{\text{ПБ}} = 1$ м глибина свердловини

$$L = H + l_{\text{ПБ}} = 10 + 1 = 11 \text{ м.} \quad (3.2)$$

За формулою (2.2.) розраховуємо коефіцієнт заповнення свердловини вибуховою речовиною, який чисельно дорівнює відношенню довжини заряду в свердловині $l_{\text{ЗАР}}$, м, до глибини пробуреної свердловини L , м:

$$\eta_3 = l_{\text{ЗАР}} / L = 7 / 11 = 0,63 \quad (3.3)$$

Забійку свердловини здійснюємо на всю глибину незаповненої вибуховою речовиною частини свердловини $l_{\text{Н}}$, яка дорівнює

$$l_{\text{Н}} = L - l_{\text{ЗАР}} = 11 - 7 = 4 \text{ м} \quad (3.4)$$

$$\eta_{\text{ЗАБ}} = l_{\text{ЗАБ}} : l_{\text{Н}} = 4 : 4 = 1$$

Діаметр свердловини d приймаємо 0,28 м.

За формулою (3.1.) виконаємо розрахунки радіуса розльоту уламків граніту різної міцності, яка може коливатися в межах коефіцієнту міцності (тривкості) від 10 до 15 [3]:

$$r_{\text{роз.}} = 1250 \cdot \eta_3 \sqrt{\frac{f}{1 + \eta_{\text{заб}}} \frac{d}{a}} = 1250 \cdot 0,63 \sqrt{\frac{10}{1 + 1} \frac{0,28}{4}} = 465,9 \text{ м}$$

Аналогічно розраховуємо значення $r_{\text{роз.}}$ для випадків виконання вибухових робіт при коефіцієнтах міцності граніту 11, 12, 13, 14, і 15 одиниць шкали М.М. Протодьяконова, і результати зводимо в таблицю:

Таблиця 3.1.

Таблиця значень радіусу розльоту уламків при різних показниках міцності граніту

Коефіцієнт міцності граніту, f	10	11	12	13	14	15
Радіус розльоту уламків, $r_{\text{роз.}}$ м	466	489	510	531	551	571

Як видно з графіка (рис. 3.2), при незмінних значеннях параметрів розташування свердловинних зарядів і їх заряджанні вибуховою речовиною, існує практично лінійна залежність між міцністю граніту і радіусом розльоту уламків при виконанні вибухових робіт.

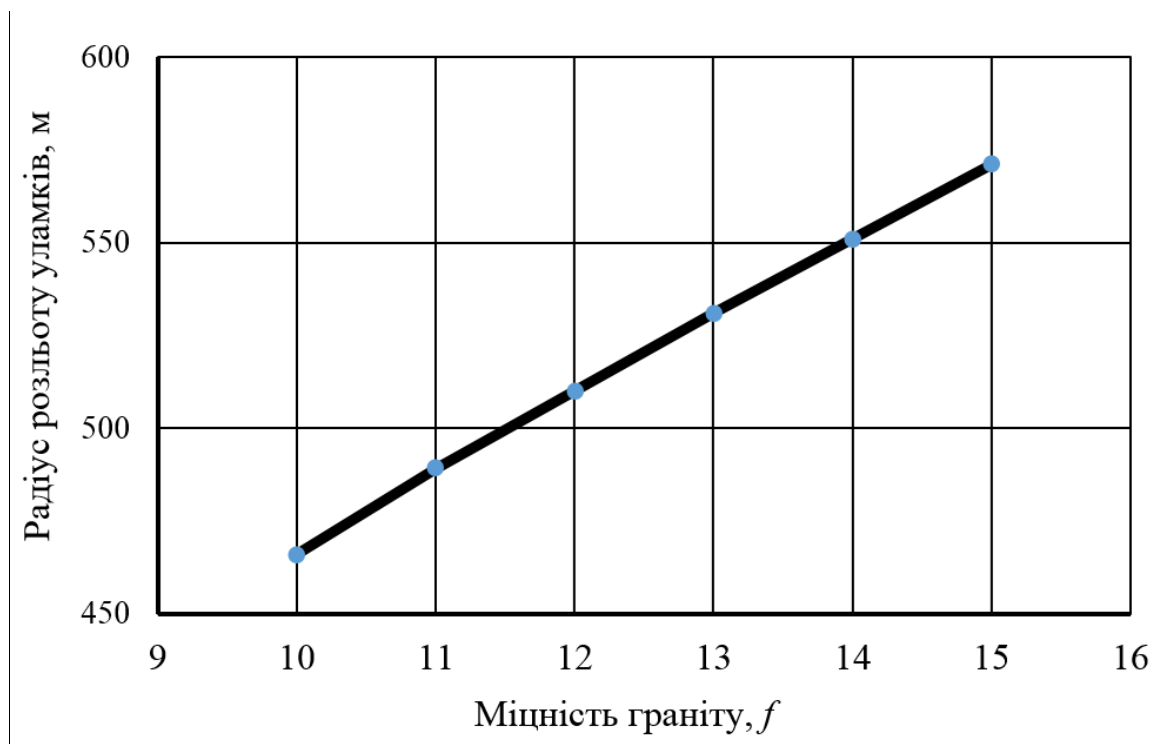


Рис. 3.2. Залежність радіуса розльоту уламків граніту від його міцності

3.2. Вибір виду ВР та режиму заряджання свердловини як дієвих засобів підвищення безпеки вибухових робіт

Практичне значення має фактор використання забивки свердловини після її заповнення вибуховою речовиною.

Забивка використовується для «замкнення» продуктів детонації в свердловині і підвищення ККД вибуху. Найбільший опір металній, виштовхувальній дії продуктів детонації ВР чинять сипкі матеріали, що мають високий коефіцієнт внутрішнього тертя, високу густину. Це шлак, пісок, щебінь (дрібна фракція), уламкові породи, глина. Майже не поступаються їм пластичні, рідкі і швидкоотверднучі суміші. Часом використовують поліетиленові пакети, заповнені піском або водою. В останньому випадку вдається також дещо зменшити викид пилу під час вибуху.

Для моделювання впливу забивки свердловини на радіус розльоту уламків граніту з $f = 10$ скористаємося формулою (3.1), дискретно, з кроком 0,1, змінюючи значення $\eta_{\text{ЗАБ}}$ від 0,5 до 1,0.

Результат розрахунку зводимо в таблицю:

Таблиця 3.2

Коефіцієнт забивки свердловини $\eta_{\text{ЗАБ}}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Радіус розльоту уламків, $r_{\text{роз. м}}$	538	521	505	491	478	466

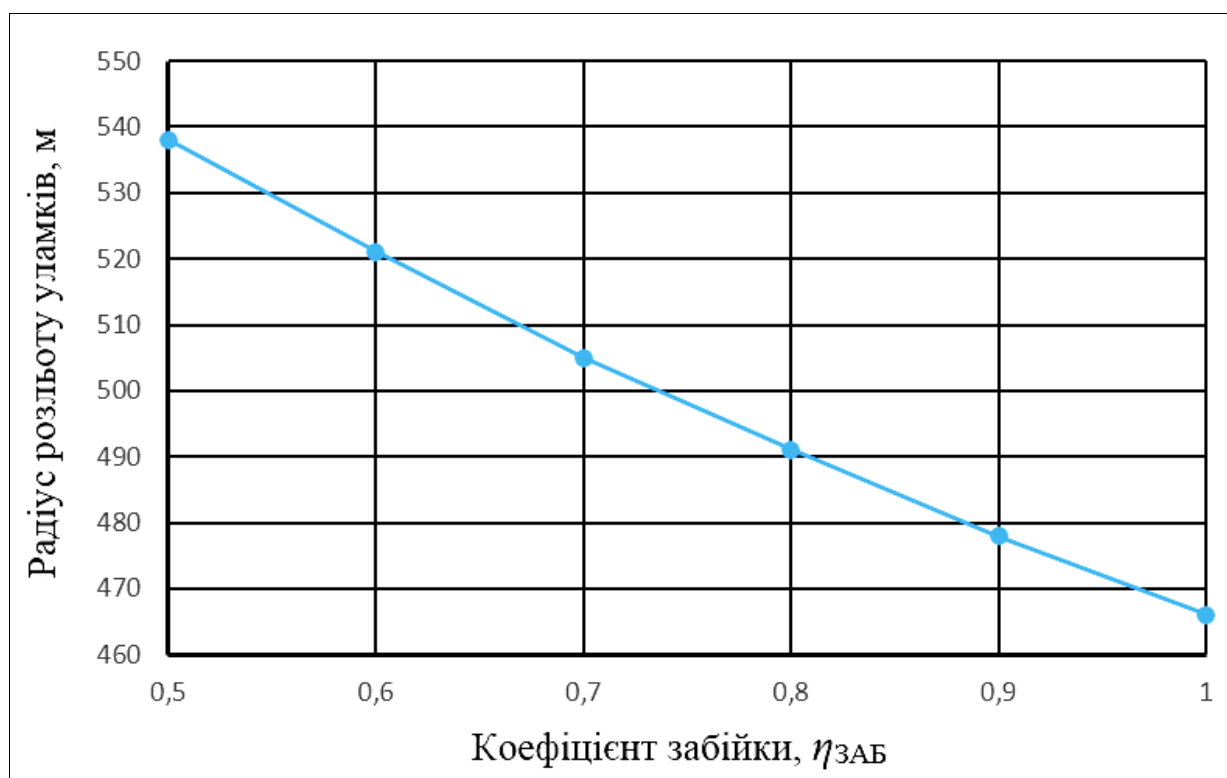


Рис. 3.3. Залежність радіусу розльоту уламків від коефіцієнту забійки свердловини

З графіку слідує, що забійка свердловини є ефективним засобом зменшення радіусу розльоту уламків граніту: при збільшенні коефіцієнта забійки з 0,5 до 1,0 радіус розльоту зменшується майже в 1,2 рази.

Відомо, що для руйнування одиниці об'єму (або маси) гірської породи необхідна певна кількість вибухової речовини. При руйнування частини

гірського масиву ця маса вибухової речовини може бути розподілена по свердловинах (чи по шпурах) по-різному: невеликими зарядами у великій кількості свердловин (шпурів) або більшими зарядами у меншій кількості свердловин більшого діаметра. При підриванні певного блока обмеженого розміру намагання розподілити ВР по більшій кількості свердловин обов'язково приведе до необхідності буріння більшої їх кількості на обмеженій площі, тобто – до зменшення відстані між свердловинами.

Виконаємо розрахунки значень радіусу розльоту уламків граніту залежно від відстані між свердловинами в ряду. Задаємо у формулі (3.1) значення a 2, 3, 4, 5, 6, 7 м.

Решту значень приймаємо такими: показник міцності граніту $f = 10$, коефіцієнт забійки свердловини $\eta_{\text{ЗАБ}} = 1,0$, діаметр свердловини $d = 0,28$ м.

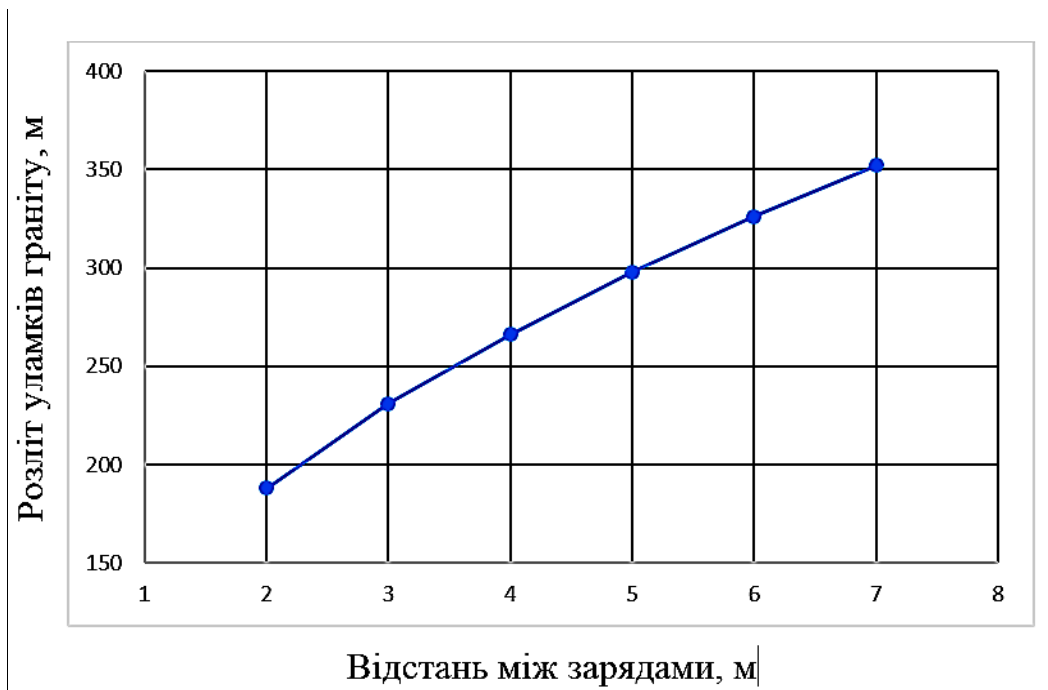
А ось коефіцієнт заповнення свердловини вибуховою речовиною η_z мусить змінюватись, адже та сама кількість ВР буде розділятися по різній кількості свердловин: в скільки разів зростає кількість свердловин, в стільки ж разів зменшується коефіцієнт заповнення свердловини ВР.

Результат розрахунків зводимо в таблицю:

Таблиця 3.3

Відстань між зарядами в ряді, a , м	2	3	4	5	6	7
Коефіцієнт заповнення свердловини ВР η_z	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54	0,63
Радіус розльоту уламків, $r_{\text{роз.}}$ м	188	231	266	298	326	352

В графічному вигляді результати розрахунку ще наочніші: висаджування гірського масиву дрібними, але щільно розташованими зарядами дозволяє суттєво зменшити радіус розльоту уламків: при зменшенні відстані між зарядами в три рази (з 6 до 2 м) радіус розльоту уламків зменшується з 326 до 188 м, в 1,7 рази.



3.4. Залежність радіусу розльоту уламків від відстані між зарядами

Виконане дослідження впливу природних чинників (міцність граніту) і технологічних параметрів (відстань між зарядами, забійка свердловин) показує, що зона (радіус) дії такого небезпечного уражального фактора, як розліт уламків вибуху, піддається регулюванню.

4. ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИБУХОВИХ РОБІТ ПРИ ВИДОБУВАННІ ГРАНІТУ

Виконаний аналіз вибухових робіт, що виконуються при видобуванні граніту показав, що промисловий вибух створює п'ять факторів небезпеки:

- ударно-повітряну хвилю;
- детонаційну хвилю;
- сейсмічну хвилю;
- пило-газову хмару продуктів вибуху;
- розліт уламків гірської породи.

Всі ці фактори розглянуті в першому розділі роботи, показані також ті організаційно-технічні заходи, які дозволяють достатньою мірою нейтралізувати небезпеку цих факторів.

Показано, що поза фокусом уваги опиняються ті фактори, які вважаються вивченими, достатньою мірою нейтралізованими і такими, що перестали бути серйозною загрозою для життя і здоров'я людей. Одним з таких шкідливих факторів вибуху є розліт уламків шматків граніту де головним заходом попередження травм і уражень вважається відведення персоналу на безпечну відстань без надання конкретних рекомендацій для зменшення цієї відстані.

Досліджено вплив бризантності вибухової речовини (ВР) на характер вибуху, показана відмінність в роботі металевих і бризантних ВР. Наочно показано (рис. 2.2), що при помилках в проектуванні і проведенні вибухових робіт навіть бризантні ВР здатні чинити металеву дію і створювати загрози ураження людей, будівель, техніки, довкілля уламками гірських порід.

Показана перспективність нової промислової вибухової речовини українського виробництва «Україніт», яка відзначається високою бризантністю (рис. 2.3).

В роботі продемонстрована перспективність багаторядного короткосповільненого висадження (БРКСВ), яке істотно поліпшує якість подрібнення міцних гірських порід на кар'єрах гірничо-збагачувальних комбінатів і різко знижує вихід крупних негабаритних фракцій.

Показана і пояснена неприпустимість накопичення негабариту в робочій зоні кар'єру – негабарит стає джерелом уламків граніту з непрогнозованим радіусом розльоту.

В третьому розділі роботи детально проаналізована наведена у НПАОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» формула для розрахунку радіуса розльоту уламків.

Одержані залежності радіуса розльоту уламків граніту від його міцності, від зібійки свердловини після її заряджання ВР, від розміщення свердловин.

Встановлено, що при зростанні міцності граніту росте і радіус небезпечної зони від розкидання уламків.

Показано, що якісна і повна забійка свердловини чи шпура відповідним матеріалом суттєво зменшує відстань розкидання уламків граніту.

Наочно показано, що розподілення ВР по більшій кількості свердловин чи шпурів і згущення сітки підривної мережі дуже помітно зменшує металеву дію вибуху (тобто, зменшує радіус розльоту уламків) і сприяє кращому подрібненню граніту.

Важливо те, що знижуючи дієвість одного уражального фактора – розльоту уламків гірської породи – ми фактично знижуємо небезпеку й інших факторів.

Покращуючи подрібнювальну дію вибуху раціональним плануванням мережі зарядів, застосуванням короткоуповільненого підривання, ми виконуємо необхідну технологічну операцію при менших витратах вибухової речовини, з меншими викидами отруйних продуктів вибуху, створюючи меншу ударно – повітряну хвилю, слабшу сейсмічну і детонаційну хвилі.

Отже, в даній роботі встановлено, що розліт уламків граніту – це небезпечний фактор вибухових робіт, дієвість якого може бути успішно зменшена рядом технічних засобів і технологічних заходів.

Можна рекомендувати:

- враховуючи встановлену залежність між міцністю граніту і радіусом розльоту уламків (рис. 3.2), перед кожним циклом буро-вибухових робіт уточнювати маркшейдерську інформацію стосовно міцності граніту конкретно на тому блоці, який підлягає відпрацюванню, і керуватися нею при встановленні меж небезпечної зони при виконанні вибухових робіт;

- використовувати короткоуповільнене підривання свердловинних зарядів (передбачено п. 1.7 гл. VI НПАОП 0.00-1.67-13 «Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні») [3], ефективність якого (в плані поліпшення подрібнення граніту і зменшення відстані розльоту уламків) підтверджена результатами розрахунків в розділі 3 цієї роботи (рис. 3.4);

- вибір раціональної схеми буріння свердловин і розміщення в них зарядів ВР (див. рис. 2.7), як це передбачено в [3];

- виконання якісної і повної забійки свердловин, як це рекомендується в [3] і ілюструється рис. 3.3, з використанням сипких матеріалів, з високим коефіцієнтом внутрішнього тертя і високою густиною (шлак, пісок, відсів, уламкові породи, глина, пластичні, рідкі і швидкотверднучі суміші). НПАОП 0.00-1.67-13 також допускає використання поліетиленових пакетів, заповнених піском або водою, що також дещо зменшує викид пилу під час вибуху. «Довжину забивки необхідно приймати 30 - 40 діаметрів свердловини або $(0,6 - 0,8) \cdot W^3$ » (п. 1.5 розділу VI НПАОП 0.00-1.67-13.

Перелічені засоби і заходи не є вичерпними, тому визначення радіусу розльоту уламків граніту є обов'язковим, як є обов'язковим видалення з робочих зон кар'єрів уламків негабаритів – залишків вибухових робіт попередніх циклів, евакуація персоналу за межі небезпечної зони, організація спостереження і охорони району ведення вибухових робіт та ін.

³ W позначена довжина лінії найменшого опору (ЛНО) – відстань від заряду до найближчої точки на поверхні.

Отримані результати цієї магістерської роботи мають **практичне значення** оскільки конкретизують, роблять наочними вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, які стосуються безпеки виконання вибухових робіт при видобуванні міцних гірських порід і граніту зокрема.

Завдяки цій конкретизації і наочності, викладені в цій роботі рекомендації можуть бути використані при інструктажі працівників гірничодобувних підприємств і веденні роз'яснювальної роботи з мешканцями наближених до кар'єрів населених пунктів (значення сигналів сирен оповіщення, межі небезпечної зони по розльоту уламків, час дії обмежень тощо).

ЛІТЕРАТУРА

1. Бизов В.Ф., Федоренко П.Й. Вибухові роботи. Том Х. Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком "Гірництво". – Кривий Ріг: Мінерал, 2001. – 230 с.
2. Державна служба України з питань праці. Оперативна інформація про нещасні випадки. Електронний ресурс. URL: <https://dsp.gov.ua/operatyvna-informatsiia/>
3. НПАОП 0.00-1.67-13 Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні. Електронний ресурс. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1320-13>
4. НПАОП 0.00-1.66-13 Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення. Електронний ресурс. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1127-13#Text>
5. НПАОП 0.00-7.08-07. Вимоги технічної безпеки до місць зберігання вибухових матеріалів промислового призначення. Вкл. до Держреєстру нормативно-правових актів з питань охорони праці 01.06.2007р. за № 363. Електронний ресурс. Код доступу http://dnop.gov.ua/files/reestr_dnop/104.pdf
6. Технологія та безпека виконання підривних робіт : навч. посіб. для ВНЗ / В.В. Соболев, Р.М. Терещук, О.Є. Григор'єв ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2017. – 314 с. Електронний ресурс URL : <https://core.ac.uk/download/pdf/168412209.pdf>
7. Гірничий енциклопедичний словник. Електронний ресурс. URL: https://slovnyk.me/dict/mining_dict/детонаційна_хвиля
8. Бизов В. Ф., Федоренко П. Й. Вибухові роботи : в 14 т. : підручник для вузів за напрямком "Гірництво". Т. 10 / Бібліотека гірничого інженера. – Кривий Ріг : Мінерал, 2001. – 230 с.

9. Гнеушев В.О. Безпека вибухових робіт в промисловості будівельних матеріалів. Електронний конспект лекцій / В.О. Гнеушев – Рівне: НУВГП, 2015. Електронний ресурс. URL : https://exam.nuwm.edu.ua/pluginfile.php/238922/mod_resource/content/1/%D0%93%D0%BD%D1%94%D1%83%D1%88%D0%B5%D0%B2%20%D0%92.%D0%9E.%20%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9%20%D0%91%D0%92%D0%A0.pdf
10. Купрін В.П., Іщенко Н.І., Вілкул О.Ю. та ін. Розробка емульсійних ВР марки «Україніт» // Інформаційний бюлетень Української спілки інженерів-підричників. - 2012. – № 3. – С. 2–10.
11. НПАОП 0.00-1.24-10 «Правила охорони праці під час розробки родовищ відкритим способом». Електронний ресурс. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0356-10#Text>
12. Інструкція з безпечної організації та проведення масових вибухів свердловинних зарядів на відкритих гірничих роботах. Електронний ресурс. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0709-14#Text>
13. НПАОП 0.00-6.05-06 Порядок включення (виключення) вибухових матеріалів промислового призначення до (з) Переліку вибухових матеріалів промислового призначення, допущених до постійного виробництва і застосування. Електронний ресурс. URL : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=28578
14. НПАОП 0.00-6.06-06 Порядок проведення випробувань розроблених, ввезених в Україну та конверсійних вибухових матеріалів, обладнання для їх виготовлення, засобів механізації, пристроїв та апаратури для вибухових робіт. Електронний ресурс. URL : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28580