

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 Зниження ризиків забруднення атмосфери кар'єру і прилеглої
території продуктами вибуху при видобуванні базальту

Виконав: студент 6 курсу, групи ЦБз-71м
напряму підготовки (спеціальності)
263 «Цивільна безпека» (охорона праці)
(шифр і назва напряму підготовки, код та назва спеціальності)

Суслинець В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Гнеушев В.О.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Филипчук В.Л.
(прізвище та ініціали)

Рівне – 2023

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. БЕЗПЕКА ВИБУХОВИХ РОБІТ ПРИ ВИДОБУВАННІ БАЗАЛЬТУ	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 підвищення безпеки вибухових робіт.....	14
2. ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИБУХОВИХ РОБІТ	15
2.1. Аналіз факторів, що впливають на пило-газові продукти вибуху	15
2.2. Вплив виду вентиляції кар'єру на очищення повітря робочої зони.....	18
2.3. Вплив метеорологічних умов на розповсюдження продуктів вибуху.....	23
3. МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПРОДУКТІВ ВИБУХУ НА ПРИЛЕГЛУ ТЕРИТОРІЮ ТА РОЗРАХУНОК РАДІУСА НЕБЕЗПЕЧНОЇ ЗОНИ ПРИ ВИКОНАННІ ВИБУХОВИХ РОБІТ	25
3.1. Вплив міцності базальту на об'єм ГПХ.....	25
3.2. Вплив виду вибухової речовини на ступінь отруйності газів....	27
3.3. Вплив вітру на рух пило-газової хмари продуктів вибуху.....	30
3.4. Організація проведення вибухових робіт з урахуванням прогнозу погоди як засіб зниження небезпеки потрапляння продуктів вибуху на прилеглу територію.....	35
4. ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИБУХОВИХ РОБІТ ПРИ ВИДОБУВАННІ БАЗАЛЬТУ	40
Література	43

ВСТУП

Відбудова України після відбиття широкомасштабної агресії РФ проти нашої держави потребуватиме й розвитку промисловості будівельних матеріалів. Промислове видобування базальту здійснюється, переважно, саме для його використання при виробництві будівельних матеріалів. Найбільш розповсюдженою формою застосування базальту в будівництві є базальтовий щебінь – продукт штучного подрібнення базальту. Щебінь, приміром, входить до складу бетонних сумішей, використовується для вирівнювання ділянок, виготовлення залізобетонних конструкцій, для обробки фасадів, викладання доріжок тощо. Базальт використовують у спорудженні дорожніх покриттів, для отримання таких будматеріалів, як асфальт, плитка та облицювальна плитка, бруківка та будівельний шпон, а також для виготовлення пам'ятників. Також базальт, що плавиться при 1100-1250° С, є сировиною для кам'яного литва, продукція якого – не тільки декоративні вироби, а й базальтовий посуд для перевезення і зберігання кислот, базальтова «вата» (теплоізоляційний матеріал)

Але переважна кількість базальту видобувається в Україні саме для застосування в будівництві.

Між тим, будівельна галузь України є однією з найбільш травматичних [1]: 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 травматичних вугільній (4,1 %), гірничорудній (3,2 %), енергетичній (5,6%) та ін. галузях економіки [1].

Важливим є також те, що промисловість будівельних матеріалів чинить потужний вплив на довкілля і на населення прилеглих до підприємств 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) та ін. – все це погіршує якість життя на прилеглих до підприємства територіях і навіть створює загрози для здоров'я працівників і населення. Особливо помітні негативні впливи чинять на виробниче середовище кар'єра і на прилеглу територію вибухові роботи, що є складовою частиною виробничого процесу видобування базальту. Сам промисловий вибух є носієм багатьох небезпек, більшість з яких, завдяки розробленим правилам безпеки ведення вибухових робіт, усуваються або локалізуються межами кар'єра. Але найбільш нелокалізованим шкідливим фактором вибуху залишається пило-газова хмара, що утворюється в момент вибуху і може розповсюджуватись на прилеглі до кар'єру 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 газо- і пилоподібними продуктами промислового вибуху.

Мета даного дослідження – зниження ризиків ураження людей і довкілля пило-газовими продуктами при виконанні вибухових робіт в кар'єрах з промислового видобування базальту.

Для досягнення вказаної мети необхідно виконати наступні **завдання**:

- виявити і проаналізувати головні шкідливі та небезпечні фактори пилових та газоподібних продуктів вибуху при видобуванні базальту;
- розглянути відомі засоби і заходи зі зменшення пилових та газоподібних продуктів вибуху при видобуванні базальту;
- запропонувати можливі нові напрямки (засоби і заходи) зменшення шкідливої дії пилових та газоподібних продуктів вибуху при видобуванні базальту;

Об'єктом дослідження є атмосфера кар'єра як джерело небезпек для працівників, населення і довкілля на прилеглих до кар'єра територіях при видобуванні базальту вибуховим методом.

Предмет дослідження – процес утворення і переміщення пило-газової хмари продуктів вибуху як один з чинників можливого ураження працівників, населення прилеглих територій і довкілля при виконанні вибухових робіт.



Рис. 1. Утворення пило-газової хмари в момент вибуху
(фото з архіву керівника магістерської роботи)

Провідним методом дослідження в даній роботі, є **аналіз** - метод пізнання, при якому об'єкт дослідження (атмосфера кар'єру як джерело небезпек) розкладається на окремі складові частини (оксид вуглецю, оксиди азоту, пилові компоненти) з подальшим опрацюванням шляхів їх нейтралізації чи зниження шкідливого впливу на працівників, населення прилеглих територій та на довкілля.

При виконанні роботи також використовувались такі методи, як **синтез** (поєднання аналізу окремих компонентів продуктів вибуху в безпеку робочої зони в кар'єрі і у створення сприятливих санітарно-гігієнічних умов на прилеглих територіях) та ін.

1. БЕЗПЕКА ВИБУХОВИХ РОБІТ ПРИ ВИДОБУВАННІ БАЗАЛЬТУ

Вибухові роботи є невід'ємною, по суті – першою ланкою технологічного процесу видобування базальту. Базальт відноситься до категорії найміцніших гірських порід, залягає, переважно, потужними монолітними пластами і, за шкалою проф. Протодьяконова [2] має найвищий коефіцієнт тривкості $K_{mp} = 20$.

Це означає, що екскавація (відрив шматків базальту від моноліту) за допомогою екскаваторів чи інших машин з механічним робочим органом неможлива. Тому класична схема видобування базальту 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 на подрібнення в дробарках;
- подрібнення маси на щєбінь і його сортування по розмірах частинок (по фракціях).

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

1.1. Шкідливі та небезпечні фактори вибухових робіт

Вибух створює п'ять факторів безпеки [3]:

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

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» [4] 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.

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 [5]. Вона практично не чинить безпосередньої дії на працівника (підривника) 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» [6] в розділі XIV містить формули для розрахунку відстаней, безпечних з точки зору детонації наближених ВР.

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» [4] наведено заходи, що запобігають тяжким наслідкам від сейсмічних хвиль, що утворюються при виконанні промислових вибухових робіт, а також при падінні масивних об'єктів.

Розкидання кусків породи (розліт уламків) є фактором можливого фізичного ураження людини. У главі XIII нормативно-правового акту НПАОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами

промислового призначення» [6] 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 [6].

Отруйні гази вибуху є п'ятим фактором загрози при вибухових роботах і предметом розгляду в даній роботі. У главі XV нормативно-правового акту НПАОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» [6] наведено формули розрахунку відстаней, безпечних за дією отруйних газів вибуху.

Детальний аналіз цих формул і висновки, зроблені на основі цього аналізу стосовно технічних та організаційних заходів для зниження впливу продуктів вибуху на здоров'я людей і стан довкілля, розглядаються в цій роботі нижче.

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 двох нормативно-правових актах: НПАОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» [6] та НПАОП 0.00-1.67-13 «Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні» [4].

В якості рекомендацій зі зниження дієвості *ударно-повітряної хвилі* (УПХ) рекомендується застосовувати 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» [4]. 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

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

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 три: обмеження маси ВР (глава IX, розділ 3 і 4 [4]) та встановлення сейсмічних екранів і розрахунок безпечної віддалі між зарядами ВР і об'єктом, що охороняється (глава IX, розділ 5 [4]). На рис. 1.1 для прикладу показаний один з варіантів передбаченого нормативами безпеки (НПАОП 0.00-1.67-13 «Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні») заходу захисту діючого трубопроводу при прокладанні траншеї поруч для укладання нового трубопроводу.

Розліт уламків як небезпечний фактор фізичного впливу на людину, техніку, довкілля нейтралізується шляхом виведення людей і техніки за межі небезпечної зони, радіус якої $r_{роз.}$ визначається за формулою, що наведена в главі XIII [6]:

$$r_{роз.} = 1250 \cdot \eta_z \sqrt{\frac{f}{1+\eta_{заб}} \frac{d}{a}}, \text{ м,} \quad (1.1)$$

де η_3 – 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.

Додаток 50
до Технічних правил
ведення вибухових робіт
на денній поверхні
(пункт 3.3 глави 3 розділу IX)

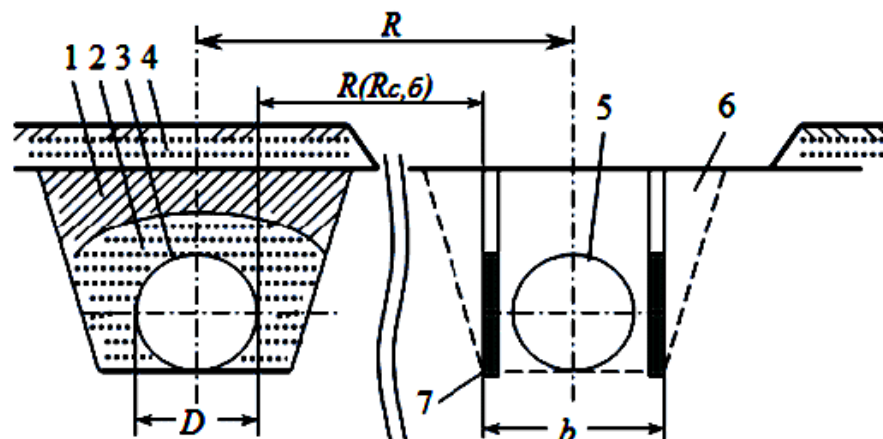


Рис. 1.1. Схема розташування зарядів при спорудженні траншей поблизу діючого трубопроводу при розпушуванні мерзлого ґрунту:

- 1 - скельний ґрунт засипання;
- 2 - м'який ґрунт;
- 3 - діючий трубопровід;
- 4 - шар родючої землі;
- 5 - трубопровід, що проектується або споруджується;
- 6 - розпушений ґрунт;
- 7 - свердловинний заряд.

Як видно з формули (1.1), 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 [6]:

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 [6]

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

Дія отруйних газів вибуху розглянута в наступних розділах роботи як основне питання.

1.3. Резерви підвищення безпеки вибухових робіт

Розглянуті в попередньому підрозділі засоби і заходи забезпечення безпеки вибухових робіт 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 уламками при вибухових роботах, руйнуванню будинків, трубопроводів, доріг та інших споруд сейсмічними хвилями вибуху та ударно-повітряними хвилями тощо.

Поза фокусом уваги опиняються такі фактори, які не виглядають як надто небезпечні, але, при своїй повсякденності, насправді є шкідливими і несуть серйозні ризики для здоров'я людей. Одним з таких шкідливих факторів вибуху є отруйні гази і пил, що формують пило-газову хмару, «гриб» (рис. 1.2), яка не тільки заповнює кар'єр, а й потрапляє в атмосферу прилеглої до кар'єра території.

Саме з цих міркувань тема зниження ризиків забруднення атмосфери кар'єру і прилеглої території продуктами вибуху при видобуванні базальту була обрана як реальний резерв підвищення безпеки при виконанні вибухових робіт як складової частини технологічного процесу видобування базальту.



Рис. 1.2. Утворення пило-газової хмари (ПВХ) вибуху [10]

2. ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИБУХОВИХ РОБІТ

2.1. Аналіз факторів, що впливають на пило-газові продукти вибуху

За своєю природою вибухи підрозділяються на фізичні, хімічні та ядерні [7].

При фізичних вибухах відбуваються тільки фізичні перетворення без зміни хімічного складу речовин (вибухи парових котлів, балонів зі скрапленим газом та ін.).

Хімічним вибухом називають у край швидке хімічне перетворення речовини (системи речовин), що самочинно поширюється і протікає з виділенням великої кількості теплоти й утворенням газоподібних продуктів. Для того, щоб хімічна реакція могла протікати у формі вибуху повинні виконуватися чотири основні умови [7]:

- екзотермічність,
- утворення газів,
- велика швидкість,
- здатність до самопоширення.

До хімічних вибухів належать вибухи ВР, метану або інших горючих газів, вугільного або органічного пилу (торф, борошно, цукрова пудра та ін.).

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 [8].

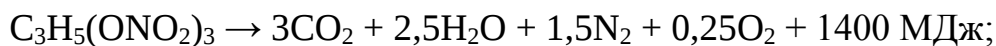
При вибуху ВР утворюється значна кількість газів (600-1000 л на 1 кг) і виділяється тепло ($2,5 \cdot 10^3$ - $7,1 \cdot 10^3$ Дж на 1 кг), яке забезпечує нагрівання продуктів вибуху до температури 1900-4500°C [8].

Саме гази, які утворюються у великій кількості і з великою швидкістю, здійснюють руйнування гірської породи. Логічно припустити, що чим більше

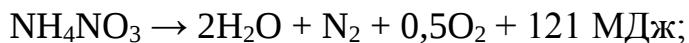
газів утворюється і чим вища швидкоплинність хімічної реакції окиснення ВР (тобто вибуху), тим ефективнішою є ця вибухова речовина.

Розглянемо шість прикладів реакцій хімічного перетворення ВР [8]:

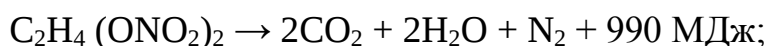
- нітрогліцерин:



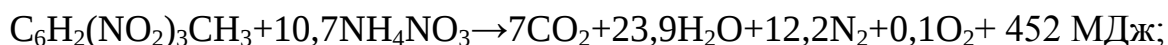
- аміачна селітра:



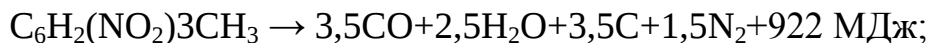
- нітрогліколь:



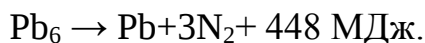
- амоніт 63В¹:



- тротил:



- азид свинцю:



Об'єм газопилової хмари може сягати 15-20 млн. м³; концентрація пилу – до 4000 мг/ м³. Отруйні гази – переважно СО та оксиди азоту N₂O, NO, NO₂. [7]. Як видно з наведених хімічних реакцій, в продуктах кожної з них ці речовини присутні, хоча, нітроген (азот) показаний в чистому вигляді (N₂), але, насправді, в умовах миттєвого підйому тиску і температури він утворює оксиди N₂O, NO, NO₂, кожний з яких є по своєму отруйний.

Оксид азоту N₂O володіє наркозних ефектом і використовується в хірургічній практиці.

Оксид азоту NO - сильна отрута, що здійснює вплив на ЦНС, а також викликає ураження крові за рахунок зв'язування гемоглобіну.

Високу токсичність (при концентрації вище 0,05 мг/л) має і оксид азоту NO₂. Він подразнює дихальні шляхи і пригнічує аеробне окислення в легеневій тканині, що призводить до розвитку токсичного набряку легень [7].

¹ складається із суміші аміачної селітри (79%) і тротилу (21%)

Окис вуглецю (CO) – безбарвний отруйний газ без запаху. Найбільш поширеними симптомами отруєння цим газом є головний біль, нудота, задишка, запаморочення і потьмарення свідомості. Висока концентрація газу негайно призводить до смерті. Низька викликає грипоподібні симптоми і зазвичай не розпізнається. Потрапивши через легені в кров, CO заміщає кисень, приєднаний до молекули-носія, гемоглобіну (Hb). Хімічний зв'язок COHb в 200 разів сильніше, ніж зв'язок кисню з гемоглобіном. Тому зв'язок COHb ускладнює вихід CO з крові [7].

З наведених реакцій хімічного перетворення ВР видно, що склад і кількість отруйних речовин в продуктах вибуху **суттєво залежить від виду вибухової речовини**. Але, на жаль, видно й те, що всі вибухові речовини в процесі хімічної реакції вибуху продукують отруйні гази.

В той же час, на утворення, склад і концентрацію отруйних газів при веденні вибухових робіт справляють дуже помітний вплив і **властивості гірських порід**. При вибуху однієї ВР в різних гірських породах, були виявлені значні відхилення кількісного складу отруйних газів. Іншими словами, гірські породи вступають в хімічну взаємодію з вибуховою речовиною, здійснюючи каталітичну дію на сценарії вторинних реакцій в самих продуктах вибуху (ПВ). Коливання сумарної кількості отруйних газів при вибуху різних ВР в одній гірській породі досягали 200%, а при вибуху однієї ВР в різних породах – до 1000% [9].

Висновки:

- склад і кількість отруйних речовин в продуктах вибуху **залежить від виду вибухової речовини**. Всі вибухові речовини в процесі хімічної реакції вибуху продукують отруйні гази;

- гірські породи вступають в хімічну взаємодію з вибуховою речовиною, здійснюючи потужну каталітичну дію на сценарії вторинних реакцій в самих продуктах вибуху.

2.2. Вплив виду вентиляції кар'єру на очищення повітря робочої зони

Висновки попереднього підрозділу свідчать про те, що боротьба з утворенням шкідливих речовин в джерелі (епіцентрі) вибуху є малоперспективною: сама суть хімічних перетворень така, що отруйні продукти вибуху є невід'ємною складовою хімічних процесів, що відбуваються в момент вибуху. Важливо й те, що бризантна (подрібнювальна) і метальна дія газів викликає потужне пилоутворення, уникнення або суттєве зменшення якого також малоймовірно.

За таких умов необхідним стає здійснення провітрювання кар'єрів з метою евакуації пилогазової хмари (ПГХ) з кар'єру, який являє собою робочу зону для працівників.

Існують чотири принципових схеми провітрювання кар'єрів. Перша з них – **прямоструминна** [10], яка може існувати на неглибоких кар'єрах або на кар'єрах з дуже пологими бортами (рис. 2.1).

Прямоструминна схема ефективна при швидкості вітру більше $0,8 \div 1,0$ м/с і при куті похилу підвітряного борту до 15° .

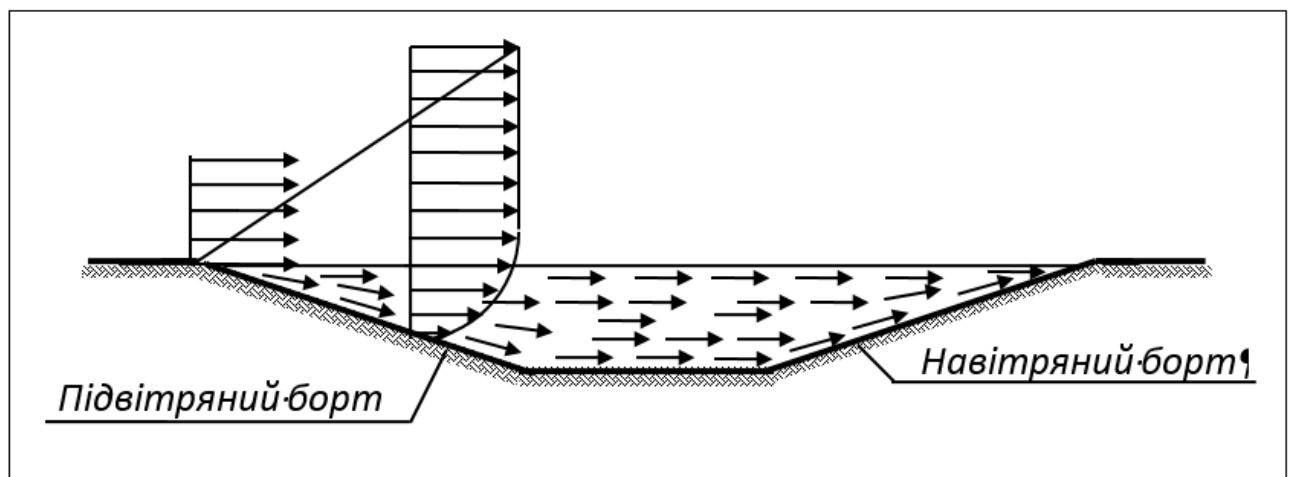


Рис. 2.1. Прямоструминна схема провітрювання кар'єру [10]

На глибоких кар'єрах або при більших кутах нахилу їх бортів актуальною стає **рециркуляційна** схема провітрювання (рис. 2.2).

При цій схемі в кар'єрі утворюється вільний повітряний струмінь в межах якого швидкість повітря змінюється від швидкості вітру на верхньому кордоні струменя до нуля на нижньому, а в подальшому (нижче лінії *OB*) рух повітря відбувається у зворотному напрямі (звідси назва «рециркуляційна схема»). Кут розкриття струменя $\alpha \approx 15^\circ$. При рециркуляційній схемі шкідливі домішки виносяться повітрям, що рухається вище за лінію *OB* в зоні супутнього потоку. В зоні зворотного потоку виникають застійні області і можливе накопичення забруднюючих речовин [10].

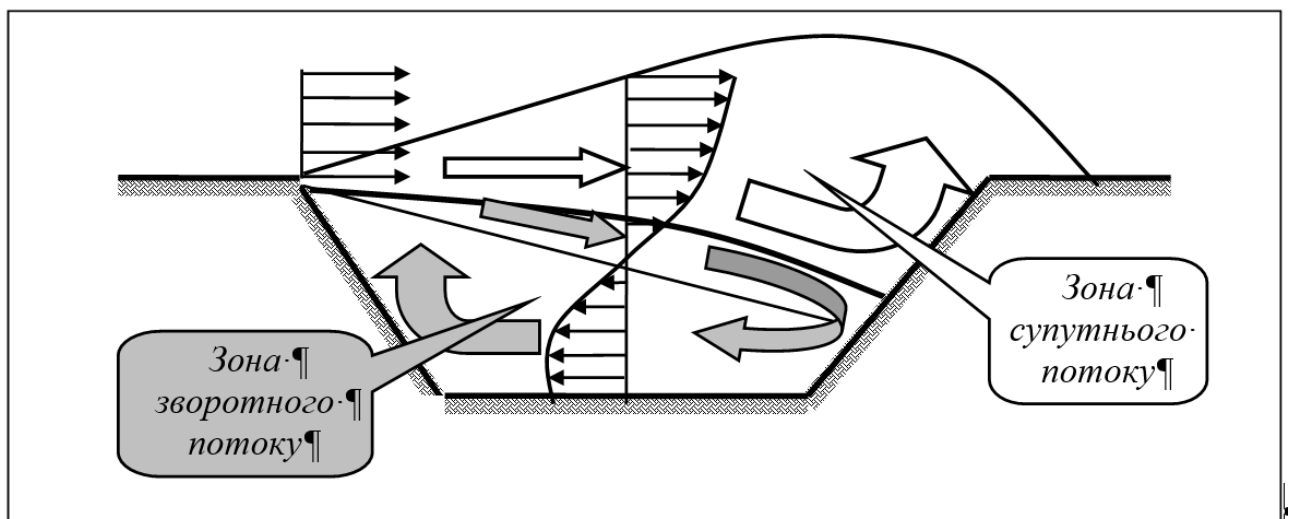


Рис. 2.2. Рециркуляційна схема провітрювання кар'єра

При відсутності вітру циркуляція повітря в кар'єрі формується під дією термічних об'ємних сил. Повітря в кар'єрі підігрівається від нагрітих поверхонь кар'єра (бортів, дна, які нагріваються сонцем або теплом ендегенних процесів в гірських породах). Нагріте повітря, густина якого зменшується, починає рух вгору позовж бортів кар'єра, видаляючи з нього забруднюючі речовини. На зміну цьому забрудненому повітрю в кар'єр опускається значно чистіше холодне повітря, що має більшу густину. Це **конвективна** схема провітрювання (рис. 2.3).

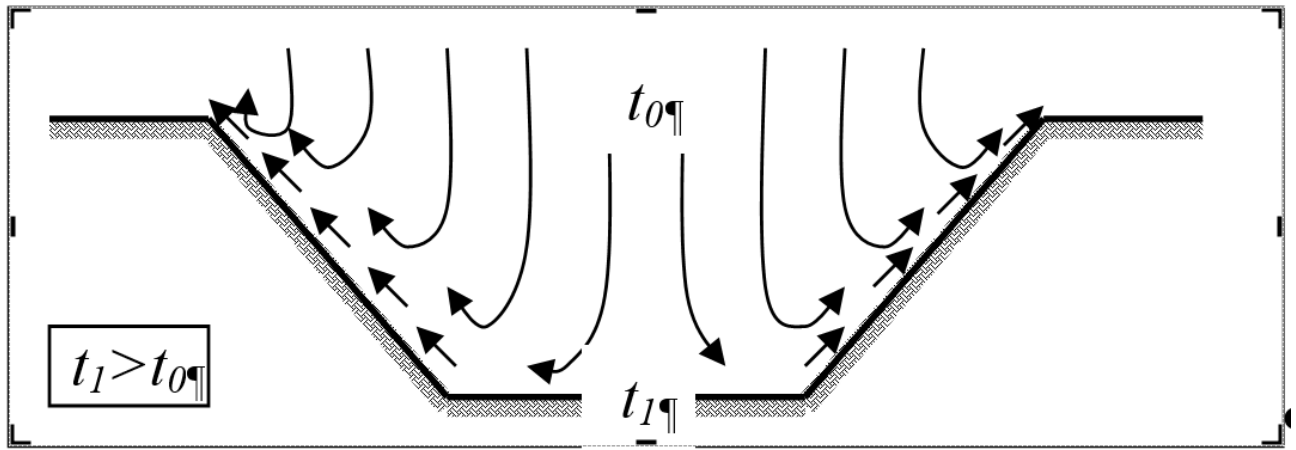


Рис. 2.3. Конвективна схема провітрювання кар'єра

Ця схема працює при малій швидкості вітру (до 0,8 м/с), коли в кар'єрі не виникають викликані вітром турбулентності. За цих умов швидкість конвективних потоків біля верхнього борту глибокого (200÷300 м) кар'єра може досягати 1,5 м/с.

При охолодженні бортів кар'єра і малій рухомості зовнішнього повітря (також до 0,8 м/с) механізм руху повітря докорінно змінюється. Шари повітря, які контактують з холодними бортами кар'єра, охолоджуються інтенсивніше ніж ті, які знаходяться ближче до його центра. Охолоджене і більш «важке» повітря спускається (з швидкістю до 1 м/с) по довж бортів вниз, витісняючи тепліше повітря з кар'єра (рис. 2.4). Це **інверсійна** схема провітрювання, яка є найменш ефективною, оскільки практично не знижує вміст шкідливих домішок в повітрі кар'єра.

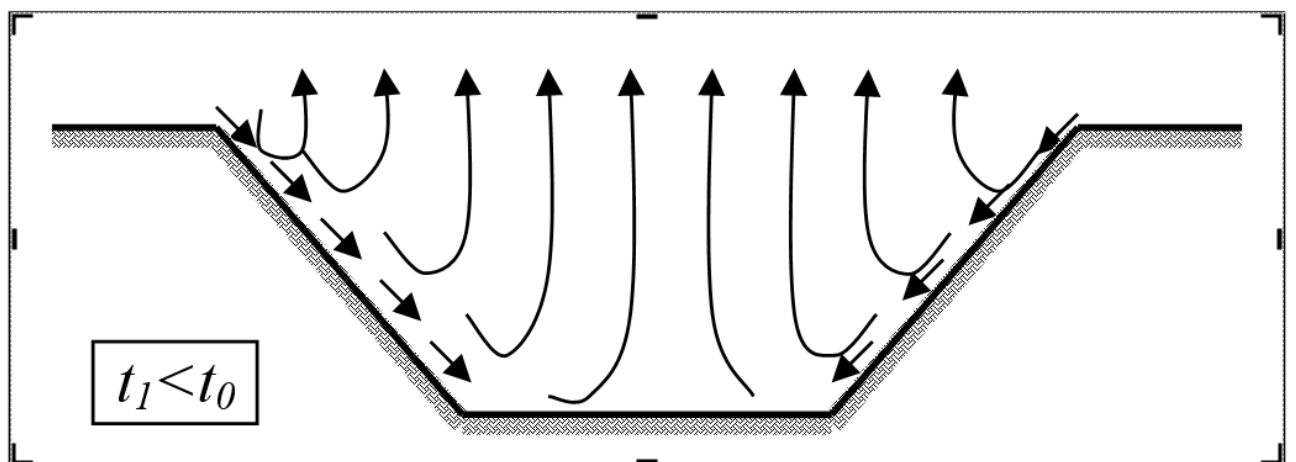


Рис. 2.4. Інверсійна схема провітрювання кар'єра

В реальних умовах утворюються сполучення різних схем провітрювання. Приміром, навіть при сильному вітрі потік повітря не проникає в кар'єр глибше 150÷200 м. Циркуляція повітря зумовлюється переважно термічними процесами. За різних обставин виникають прямоструминно-конвективна, конвективно-інверсійна схеми.

З метою інтенсифікації природного провітрювання кар'єра можна рекомендувати:

- орієнтувати кар'єр з урахуванням «рози вітрів» (рис. 2.5);
- вибирати раціональні похили бортів і глибину кар'єра;
- створювати на поверхні кар'єра штучні споруди з урахуванням підвищення турбулізації повітряних потоків та ін.

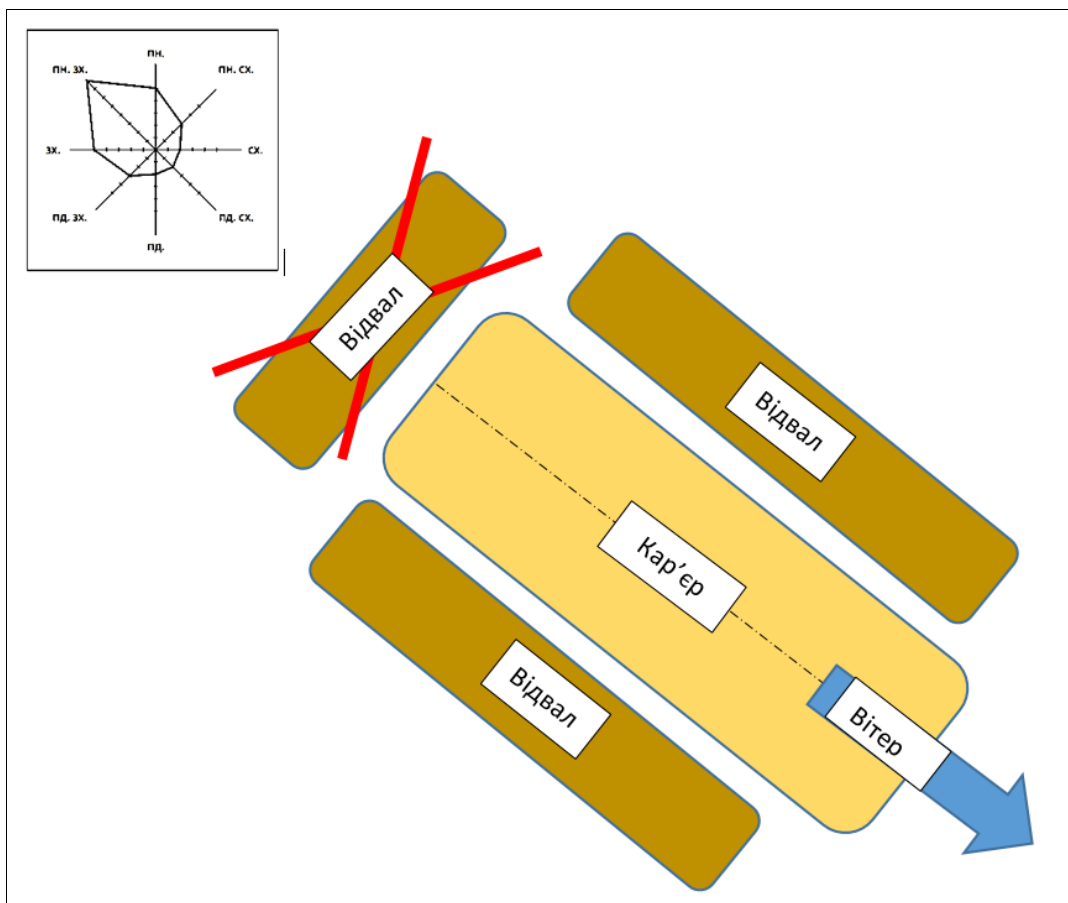
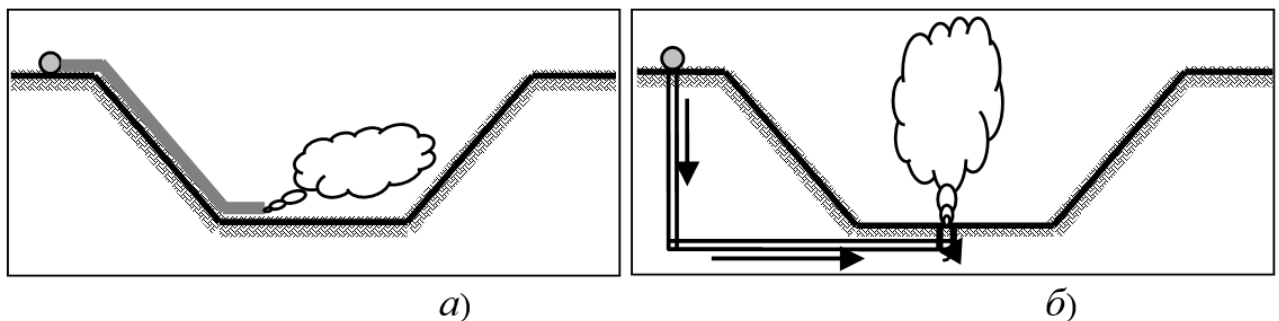


Рис. 2.5. Рекомендоване розташування кар'єра і відвалів з урахуванням панівного напрямку вітру («рози вітрів»)

Розміщення відвалів поздовж бортів кар'єра так, як зображено на рис. 2.5, поліпшує його вентиляцію. А от розміщення відвалу на північно-західному борту кар'єра категорично не рекомендується через те, що він затруднить рух вітру.

Для поліпшення повітрообміну в кар'єрному просторі використовують і **штучну** вентиляцію, яка також може бути місцевою та загальнообмінною. Штучна вентиляція здійснюється двома способами [10]:

- за допомогою труб і виробок;
- вільними струменями (рис. 2.6).



2.6. Вентиляція кар'єра з використанням труб (а) і виробок (б)

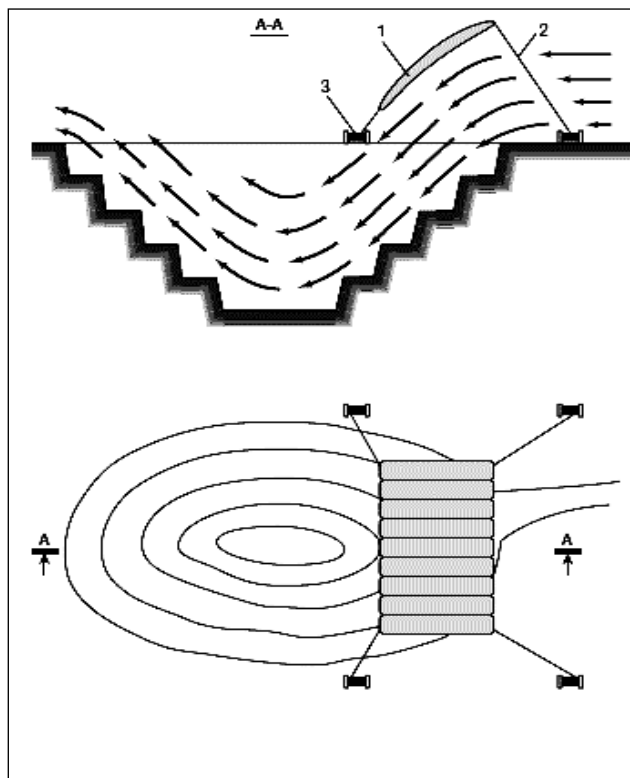
Обидва способи вважаються недостатньо ефективними через обмеженість продуктивності сучасних засобів вентиляції та високі економічні затрати.

Технічні засоби, які застосовуються при вентиляції кар'єрів вільними струменями, можна розділити на три групи:

- установки на базі вентиляторів (використовуються шахтні вентилятори і спеціальні вентилятори для провітрювання кар'єрів);
- установки на базі авіаційної техніки (використовуються бувші у використанні турбогвинтові та турбореактивні двигуни і несучі гвинти гелікоптерів, які встановлюють таким чином, що створюється висхідний потік повітря);
- теплові установки (використовується конвективний рух підігрітих мас повітря).

Застосування цих методів обмежується високими тарифами на електроенергію і цінами на паливо, що робить штучну вентиляцію кар'єрів неперспективною.

Досить інноваційним є спосіб поліпшення вентиляції кар'єра шляхом встановлення спеціальних екранів. Це свого роду гібридний, природно-штучний метод вентиляції кар'єра, в якому екран, встановлений над бортом кар'єра, перехоплює значний об'єм повітря, що рухається паралельно поверхні землі і спрямовує його в кар'єр.



2.7. Інтенсифікація провітрювання кар'єра за допомогою екрана:

1 – екран з парашутної тканини; 2 – канати-розтяжки; 3 – лебідки.

2.3. Вплив метеорологічних умов на розповсюдження продуктів вибуху

Як видно з попереднього підрозділу, напрям і швидкість вітру грають вагомому роль на переміщення пилогазової хмари (ПГХ): при інтенсивному вітрі та русі повітря поздовж кар'єру ПГХ рухається швидше. Також сприяє утворенню «протягу» правильне розташування відвалів.

Також на розповсюдження ПГХ впливає стан температурний атмосфери. Зазвичай температура повітря в приземних шарах вище, ніж у верхніх шарах атмосфери і температура повітря на кожні 100 м висоти понижується на $0,6^{\circ}\text{C}$. За таких умов внаслідок конвекції повітря піднімається знизу вгору, і реалізується конвективна схема вентиляції кар'єру.

Однак так буває не завжди: часом виникає температурна інверсія. Це стається тоді, коли верхні шари атмосфери досить теплі, а приземний шар холодний – вертикальна циркуляція повітря сповільнюється, і всі продукти вибуху не можуть піднятися у верхні шари атмосфери і розсіятися. Саме через це інверсійна схема провітрювання кар'єру недостатньо ефективна.

Важливим фактором впливу на розповсюдження продуктів вибуху є вологість повітря і атмосферні опади.

Частинки пилу, контактуючи з частинками вологи, через зволоження збільшують свою густину, утворюють коагуляти з низькою швидкістю витання, які, підкоряючись закону Стокса, осідають з більшою швидкістю. Цей ефект використовується для зменшення виділення пилу під колесами автосамоскидів, що вивозять гірничу масу з кар'єра: зволоження дороги знижує запиленість повітря до 10 разів. Однак при вибухових роботах керувати цим процесом не вдається, хоча використовувати його варто, проводячи вибухи в дощову погоду.

Отже, найбільш дієвими метеорологічними факторами, що впливають на розповсюдження продуктів вибухових робіт є напрям і швидкість вітру, а також наявність опадів або висока вологість повітря.

3. МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПРОДУКТІВ ВИБУХУ НА ПРИЛЕГЛУ ТЕРИТОРІЮ ТА РОЗРАХУНОК РАДІУСА НЕБЕЗПЕЧНОЇ ЗОНИ ПРИ ВИКОНАННІ ВИБУХОВИХ РОБІТ

В попередньому розділі було встановлено, що найбільш дієвими метеорологічними факторами, що впливають на розповсюдження продуктів вибухових робіт є напрям і швидкість вітру, а також наявність опадів або висока вологість повітря.

Водночас, кількість продуктів вибуху (об'єм газо-повітряної хмари – ГПХ, концентрація пилу в ній) суттєво залежать від технічних факторів: виду і маси вибухової речовини та якісних характеристик гірської породи, що руйнується вибухом.

3.1. Вплив міцності базальту на об'єм ГПХ

Зрозуміло, що руйнування міцніших порід вимагає більшої витрати вибухової речовини. Але, як видно з наведеної формули [11], питомі витрати ВР (витрати ВР на подрібнення одного кубічного метра гірської породи, q , кг/м³) залежить також від:

- щільності породи ρ ;
- коефіцієнту міцності породи за шкалою М.М. Протодьяконова f ;
- діаметру заряду d_3 ;
- d_0 – середній розмір окреміст² в гірничому масиві (рис. 3.1);
- d_k – необхідний кондиційний розмір куска породи, м;
- k – коефіцієнт переходу від еталонної ВР до іншої.

$$q = 0.13 \cdot \rho \cdot \sqrt[4]{f} \cdot (0.6 + 3.3 \cdot 10^{-3} \cdot d_3 \cdot d_0) \cdot \left(\frac{0.5}{d_k}\right)^{\frac{2}{5}} \cdot k \quad (3.1)$$

² Окремість – це характерні форми блоків, грудок і уламків, на які діляться гірські породи при природному та штучному розколюванні.



Рис. 3.1. Окремості (базальтові стовпи) на родовищі поблизу села Базальтове Костопільського району Рівненської області (фото з мережі Інтернет)

Зростання питомих витрат ВР зі збільшенням міцності гірських порід підтверджується і експериментами (рис. 3.2):

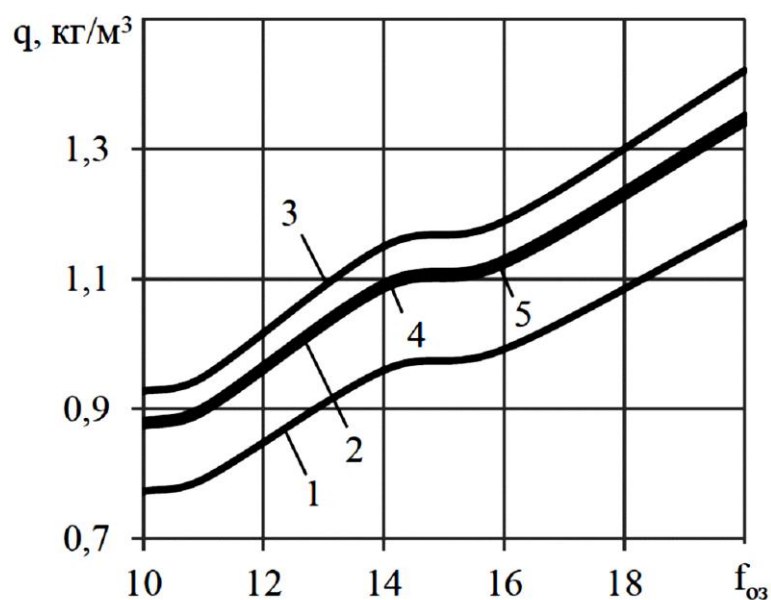


Рис. 3.2. Залежність питомих витрат (q) ВР від коефіцієнта тривкості гірської породи f для різних типів вибухових речовин (1, 2, 3, 4, 5).

Оскільки міцність базальту знаходиться в межах коефіцієнту $f = 18-20$, питомі витрати ВР в орієнтовних розрахунках можна приймати $q = 1,2-1,4 \text{ кг/м}^3$.

Пам'ятаючи про те, що при вибуху 1 кг вибухової речовини утворюється 600-1000 літрів газів ($0,6-1,0 \text{ м}^3$), можна стверджувати, що підриг одного кубічного метру базальту призводить до викиду в атмосферу $0,7-1,4 \text{ м}^3$ газів.

3.2. Вплив виду вибухової речовини на ступінь отруйності газів

В розділі 2.1 були розглянуті формули, що описують хімічні перетворення вибухових речовин різних типів, які відбуваються в них в момент вибуху. Було зазначено, що практично незалежно від виду ВР, в усіх показаних хімічних реакціях ми отримували такі небезпечні продукти вибуху, як оксиди вуглецю і азоту.

Але, окрім факту утворення отруйних речовин, нас має цікавити й їх кількість, адже чим більша кількість утворених отруйних газів і чим вища їх концентрація в повітрі, тим вищі ризики отруєння працівників і населення, що потраплять в забруднену вибухом атмосферу.

Характерною особливістю хімічної реакції вибуху є її швидкоплинність. Оскільки в такий короткий час вибуху атмосфера не здатна забезпечити його епіцентр необхідною кількістю кисню, кисень (спрощено) входить до складу самої ВР. Як і звичайне (повільне) горіння, вибух може відбуватися при нестачі, нормі і надлишку кисню. Коли до складу ВР входить чітко необхідна для повного згорання горючих компонентів кількість кисню, така ВР називається вибуховою речовиною з нульовим кисневим балансом. Якщо в складі ВР є надлишок кисню, то кисневий баланс вважається позитивним, а якщо його недостатньо – негативним [8].

Найменше отруйних газів утворюється при підриві ВР з нульовим кисневим балансом. Але, додаючи до ВР із позитивним кисневим балансом горючі добавки (наприклад, до аміачної селітри деревне борошно), можна одержати вибухову суміш більшої працездатності. Отже, економічні міркування можуть стимулювати використання більш небезпечних, але й більш дієвих ВР.

Оскільки при нульовому кисневому балансі виділяється мінімальна кількість токсичних газів, для промислових цілей переважно випускаються ВР із нульовим кисневим балансом (табл. 3.1), а в підземних умовах допускаються до застосування тільки ВР, що мають нульовий кисневий баланс.

Таблиця 3.1.

Кисневий баланс деяких ВР [14]

Вибухова речовина	Кисневий баланс, %
Амонал скельний № 3	– 0,8
Амоніт скельний № 1	– 0,8
Амоніт 6ЖВ	+ 0,26
Амоніт 7 ЖВ	+ 0,34
Амоніт 9 ЖВ	+ 2,74
Амоніт 10 ЖВ	+ 1,53
Амонал ВА-4	+ 0,18
Аміачна селітра	+20
Грануліт АС-8	+ 0,3
Грануліт АС-4	+ 0,4
Грануліт М	+ 0,1
Тротил	– 74
Нітрогліцерин	+ 3,5

Для одержання вибухової суміші з нульовим кисневим балансом до основного компонента, кисневий баланс якого, звичайно, значно відрізняється

від нульового, додають один чи більше компонентів, що мають кисневий баланс, протилежний кисневому балансу першого компонента. Співвідношення компонентів повинне бути чітко визначеним [8].

Як вже відзначалося, при вибуху ВР виділяються отруйні гази. В основному, це оксид вуглецю й оксиди азоту. Однак при руйнуванні гірських порід, що містять сірку і сірчисті сполуки, утворюється також сірчистий ангідрид і сірководень у багато разів токсичніші, ніж оксид вуглецю.

При підрахунку наявності отруйних газів їх приводять до так званого *умовного оксиду вуглецю*, граничний зміст якого в рудниковій атмосфері не повинен перевищувати 0,008% за об'ємом.

Оксид вуглецю – газ без кольору, смаку і запаху, й у цьому його значна небезпека. Лише при наявності менш 0,0016% за об'ємом він не викликає якого-небудь шкідливого впливу на організм людини. При великих концентраціях з'являється запаморочення, втрата свідомості і може наступити смертельне отруєння.

У випадку отруєння оксидом вуглецю, потерпілого слід винести на свіже повітря, дати подихати киснем, а у випадку втрати свідомості – робити штучне дихання до надання спеціальної медичної допомоги.

Оксид азоту – газ червоно-бурого кольору. Він небезпечний тим, що руйнує слизову оболонку дихальних шляхів і легень. Вдихання оксиду азоту викликає кашель, сльозотечу, задихання. Гранично допустима концентрація оксиду азоту – 0,0001% за об'ємом. Цей газ підступний тим, що має схований період дії (4-6 год.), після якого може наступити набряк легень.

Сірководень – безбарвний, має запах тухлих яєць. Він викликає гостре роздратування дихальних шляхів, слизової оболонки очей і носа. При сильних отруєннях спостерігаються судороги і втрата свідомості. Гранично допустима концентрація сірководню -0,00066% за об'ємом.

Сірчистий ангідрид – безбарвний, відрізняється різким подразним запахом, що викликає чхання, кашель, спазми в горлі. При сильних отруєннях можуть спостерігатися запалення бронхів і набряк легень. Гранично припустима

концентрація – 0,0007% за об'ємом.

В усіх випадках отруєння отруйними газами потрібна термінова медична допомога.

3.3. Вплив вітру на рух пило-газової хмари продуктів вибуху

В розділах 2.2 і 2.3 розглянуті загальні впливи метеорологічних факторів на видалення пилу з кар'єру і на прискорення осадження частинок пилу у вологому повітрі.

Пошук шляхів зниження ризиків отруєння працівників та населення продуктами вибуху буде неповним, якщо детально не розглянути роль вітру – дуже вагомого фактору впливу на швидкість і напрям переміщення пило-газової хмари (ПГХ).

Між тим, про значимість фактору вітру можна судити вже по тому, що в НПАОП 0.00-1.66-13 Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення, в розділі XV, наведено формули для розрахунку відстаней r_{Γ} , безпечних за дією отруйних газів вибуху, зокрема – з урахуванням дії вітру.



Рис. 3.3. Утворення (1), рух (2) і розсіювання (3) ПГХ в кар'єрі
(часовий інтервал між фото 1 і фото 2 – близько 5 хв.) [10]

В документі [6] 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

$$r_{\Gamma} = 160 \cdot \sqrt[3]{Q}, \quad (3.2)$$

де Q – сумарна маса зарядів вибуху, т.

У напрямку, протилежному поширенню вітру, радіус газонебезпечної зони необхідно приймати рівним r_{Γ} . У напрямку вітру радіус газонебезпечної зони r_{Γ} визначають за формулою [3]

$$r_{\Gamma} = 160 \cdot \sqrt[3]{Q} \cdot (1 + 0,5 \cdot V_{\text{В}}) \quad (3.3)$$

де $V_{\text{В}}$ – швидкість вітру перед вибухом, м/с.

Схема формування газонебезпечної зони при бічному (західному) вітрі показана на рис.3.4:

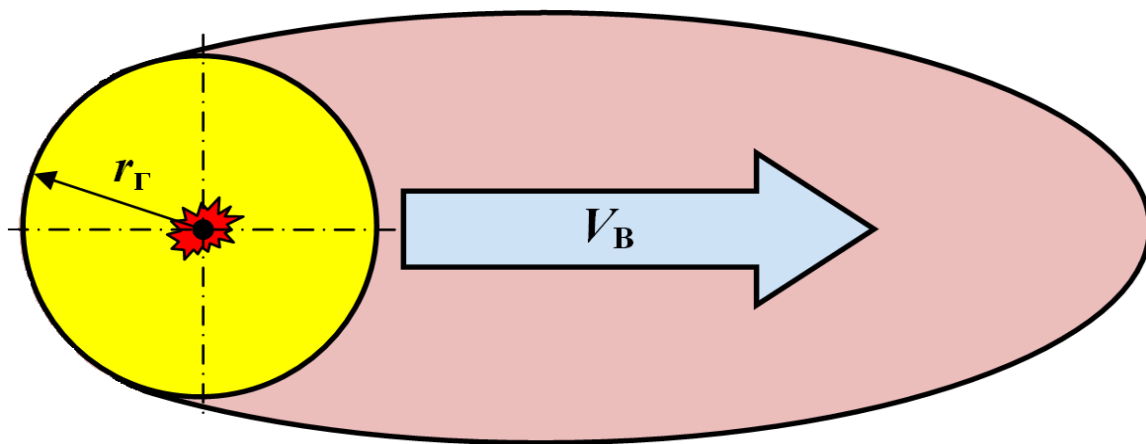


Рис. 3.4. Схема формування газонебезпечної зони при наявності вітру

При видобуванні граніту на Рівненщині здебільшого використовують вибух з масою заряду, що відповідає ємкості зарядної машини і становить 16 т. Також з НПАОП 0.00-1.66-13 відомо [6], що проведення вибухових робіт дозволяється при швидкості вітру до 12 м/с. Виходячи з цих міркувань, розрахунки за формулою

(3.3) були виконані для мас зарядів 0, 2, 4, 8 та 16 т при швидкості вітру від 0 до 12 м/с (дискретно, з кроком 2 м/с).

Отримані значення радіусу газонебезпечної зони r_{Γ} показані на рис. 3.5.

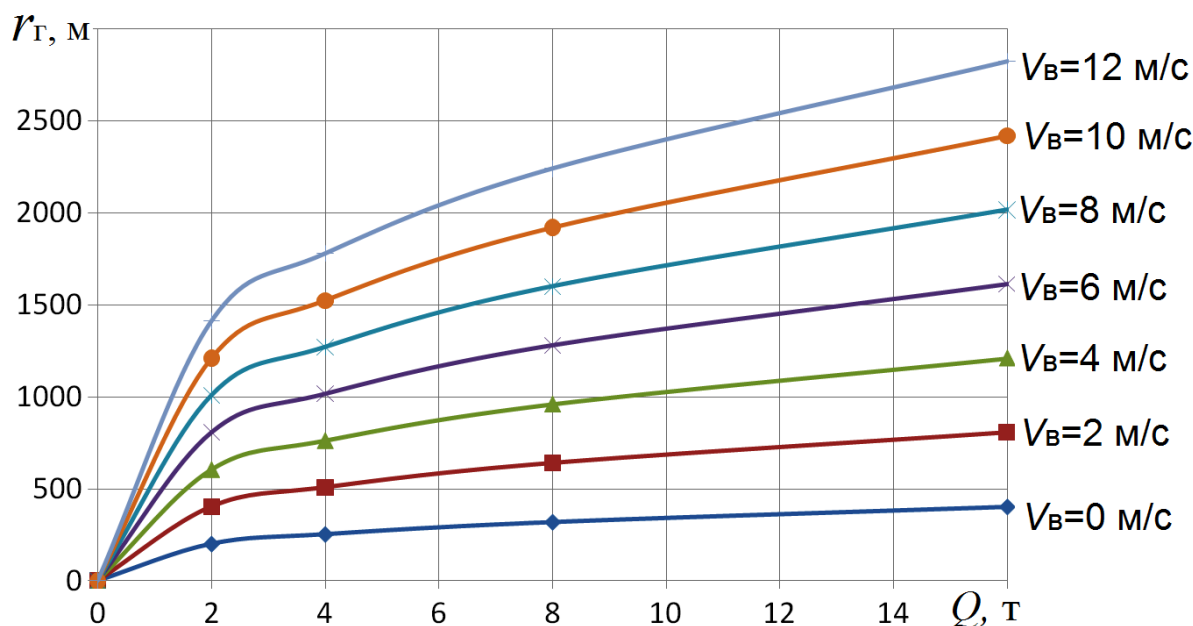


Рис. 3.5. Залежність радіусу газонебезпечної зони від маси заряду і швидкості вітру

Зважаючи на те, що в діапазоні швидкостей від 2 до 12 м/с характер ліній графіків близький до лінійного, проаналізуємо отримані результати з позицій математичного планування експерименту типу 2^n .

Формалізуємо умови експерименту:

- відгук (r_{Γ}) – радіус газонебезпечної зони, в кодованій формі позначається y ;
- фактори впливу на відгук:
 - маса заряду ВР (Q) – в кодованій формі позначається x_1 ;
 - швидкість вітру перед вибухом ($V_{\text{В}}$) – в кодованій формі позначається x_2 .

Результатом цього двохфакторного експерименту типу 2^n має стати функція відгуку – математична модель виду

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 x_2, \quad (3.4)$$

де $x_1 x_2$ – взаємодія факторів x_1 та x_2 .

Задаємось інтервалом варіювання фактору x_1 (маса заряду) від 2 т (нижній рівень, $-x_1$) до 16 т (верхній рівень, $+x_1$).

Інтервал варіювання швидкості вітру задаємо наступним чином: від 2 м/с (нижній рівень, $-x_2$) до 12 м/с (верхній рівень, $+x_2$).

Складаємо план-матрицю експерименту, не вказуючи неінформативну «1» у позначенні фактора, а вказуючи лише знак нижнього (–) та верхнього (+) рівнів:

Таблиця 3.1

План-матриця експерименту типу 2^n

№ досліду	Значення факторів в кодованій формі		Взаємодія кодованих факторів
	x_1	x_2	$x_1 x_2$
1.	+	–	–
2.	–	–	+
3.	+	+	+
4.	–	+	–

Подумки, використовуючи таблицю 3.1. з додатку 1, проводимо «експеримент», в якому послідовно задаємо відповідні значення факторів: в першому «досліді» - масу заряду 16 т і швидкість вітру 2 м/с, в другому – відповідно 2 т та 2 м/с, в третьому – 16 т та 12 м/с, в четвертому – 2 т та 12 м/с. Відповідні значення r_T заносимо в таблицю 3.2 як відгук експерименту:

Таблиця 3.2

Матриця визначення коефіцієнтів математичної моделі

№ досліду	Рівень фіктивного фактору, x_0	Значення факторів в кодованій формі		Взаємодія кодованих факторів	Відгук, y
		x_1	x_2	$x_1 x_2$	
1.	+	+	–	–	806
2.	+	–	–	+	403
3.	+	+	+	+	2822
4.	+	–	+	–	1411

Використовуючи цю ж таблицю 2, виконуємо розрахунки коефіцієнтів моделі b_0 , b_1 , b_2 та b_{12} :

$$b_0 = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4} = \frac{806 + 403 + 2822 + 1411}{4} = 1360,5;$$

$$b_1 = \frac{y_1 - y_2 + y_3 - y_4}{4} = \frac{806 - 403 + 2822 - 1411}{4} = 453,5;$$

$$b_2 = \frac{-y_1 - y_2 + y_3 + y_4}{4} = \frac{-806 - 403 + 2822 + 1411}{4} = 756;$$

$$b_{12} = \frac{-y_1 + y_2 + y_3 - y_4}{4} = \frac{-806 + 403 + 2822 - 1411}{4} = 252.$$

Отже, математична модель має вид рівняння регресії виду

$$y = 1360,5 + 453,5 \cdot x_1 + 756 \cdot x_2 + 252 \cdot x_1 x_2, \quad (5)$$

Пам'ятаючи про те, що важливою перевагою моделі в кодованій формі є те, що її коефіцієнти за величиною характеризують силу, а за знаком – напрям впливу факторів на відгук, виконаємо саме таку інтерпретацію отриманої моделі.

Коефіцієнт $b_2=756$ при факторі швидкості вітру значно (у 1,67 рази) перевищує величину коефіцієнту при факторі маси вибухової речовини $b_1=453,5$, що свідчить про більшу впливовість метеорологічного фактора. Саме ця обставина має бути використана при розробці заходів щодо зниження рівня небезпеки потрапляння отруйних газів – продуктів вибухових робіт в кар'єрах будівельних порід в повітря робочої зони цих кар'єрів і на прилеглу територію.

3.4. Організація проведення вибухових робіт з урахуванням прогнозу погоди як засіб зниження небезпеки потрапляння продуктів вибуху на прилеглу територію

Швидкість руху повітря (швидкість вітру) є не єдиним метеорологічним фактором що впливає на розповсюдження пилових і газоподібних продуктів вибуху. Як вже відмічалось вище, на швидкість і відстань розповсюдження пилу та отруйних газів впливають також вологість повітря, наявність чи відсутність дощу, ступінь вертикальної стійкості атмосферного повітря (ізотермія, конвекція, інверсія).

Найбільша швидкість розсіювання пилогазової хмари має місце при *конвекції* – такому стані атмосферного повітря, коли приземні шари повітря нагріті сильніше за верхні. Висхідні потоки повітря, що при цьому утворюються, сприяють швидкому розсіюванню пилу і шкідливих газів. Дощ і штучне зрошування місця проведення вибухових робіт (як особливий варіант – використання гідрозабивки шпурів, коли в якості ущільнення заряду вибухової речовини використовують поліетиленові ампули з водою [12]) також зменшують виділення і розповсюдження пилу при вибухах. Сприятливим для розсіювання шкідливих продуктів вибуху вважається і стан вертикальної *ізотермії*, а от *інверсія*, коли температура по висоті зростає, призводить до застою отруйних продуктів вибуху в кар'єрі і поблизу нього.

Ступінь вертикальної стійкості повітря може бути визначений за прогнозом погоди або безпосередньо на кар'єрі при наявності двох точних термометрів, один з яких встановлюється на висоті 50 см, а другий – 200 см над рівнем поверхні землі. Також на метеомайданчику має бути флюгер та анемометр для вимірювання напрямку та швидкості вітру. Маючи дані з швидкості вітру V і різниці температури Δt , за графіком, наведеним на рис. 3.6, можна визначити стан вертикальної стійкості повітря. При $(\Delta t / V^2) < -0,1$ буде інверсія, при $+0,1 < (\Delta t / V^2) < -0,1$ ізотермія, а при $(\Delta t / V^2) > +0,1$ – конвекція [13].

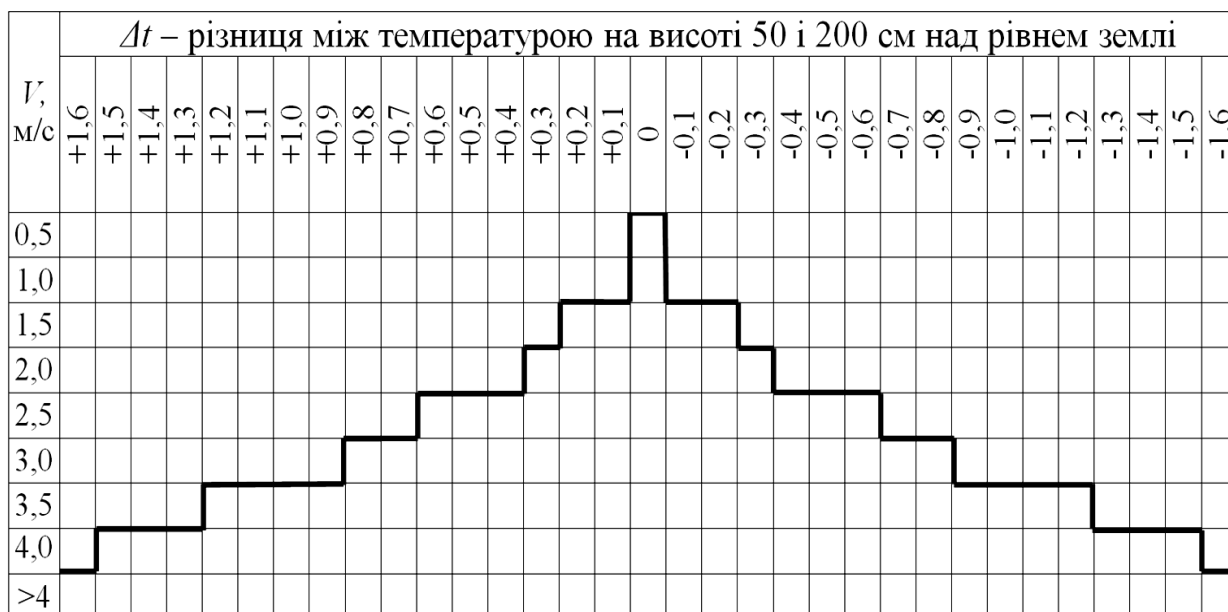


Рис. 3.6. Графік для визначення вертикальної стійкості повітря за даними метеообстежень [13]

Отже, з точки зору безпеки прилеглих до кар'єра територій, вибухові роботи слід проводити тоді, коли напрям вітру сприятиме переміщенню хмари продуктів вибуху в сторону, протилежну місцю знаходження населеного пункту, а атмосфера перебуває в стані конвекції чи інверсії.

Розглянемо для прикладу базальтовий кар'єр, що розташований в с. Берестовець Костопільського району Рівненської області. Відстань від південного борту кар'єру до найближчих будинків становить лише близько 200м (рис. 3.7).

На рисунку показані межі газонебезпечних зон при підриванні заряду 2 т ($r_{г1}=202$ м) та 16 т ($r_{г2}=403$ м) в безвітряну погоду ($V=0$ м/с). Як видно, маса заряду 2 т є гранично допустимою, оскільки навіть при цій масі заряду і навіть в повний штиль газонебезпечна зона простягається впритул до будинків південніше і південно-західніше від кар'єра.

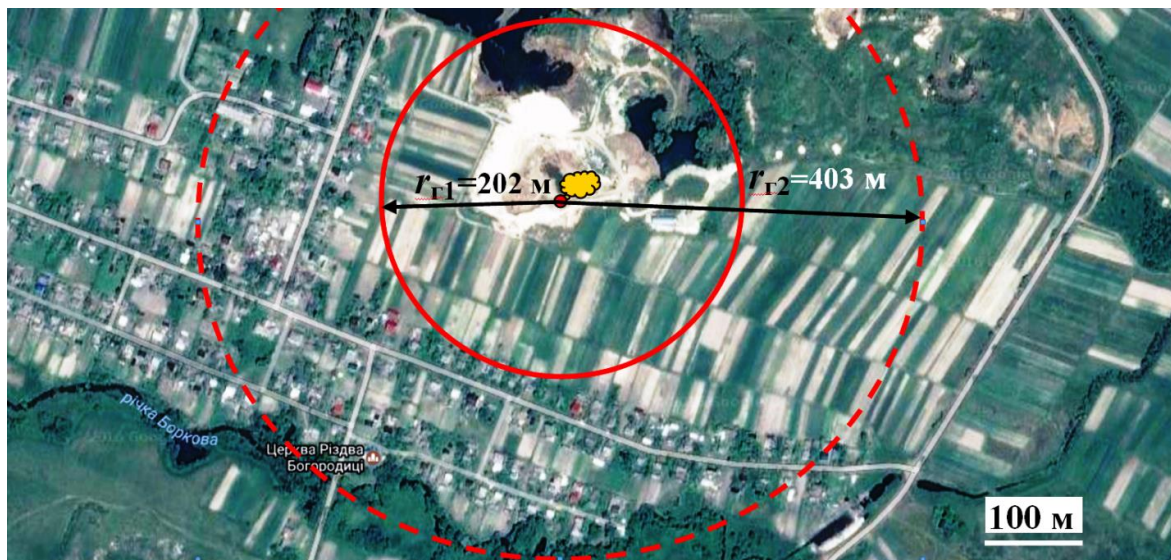


Рис. 3.76. Межі газонебезпечної зони при підриванні заряду 2 т ($r_{г1}=202$ м) та 16 т ($r_{г2}=403$ м) в безвітряну погоду ($V=0$ м/с) на базальтовому кар'єрі при с. Берестовець

При наявності вітру виникає необхідність у чіткому визначенні його напрямку. Як слідує зі схеми розташування меж газонебезпечної зони при західному і південному вітрі (рис. 3.8), саме ці напрями є гранично можливим для виконання вибухових робіт і утворюють сектор (включаючи південно-західний напрям) розміром близько 90° .

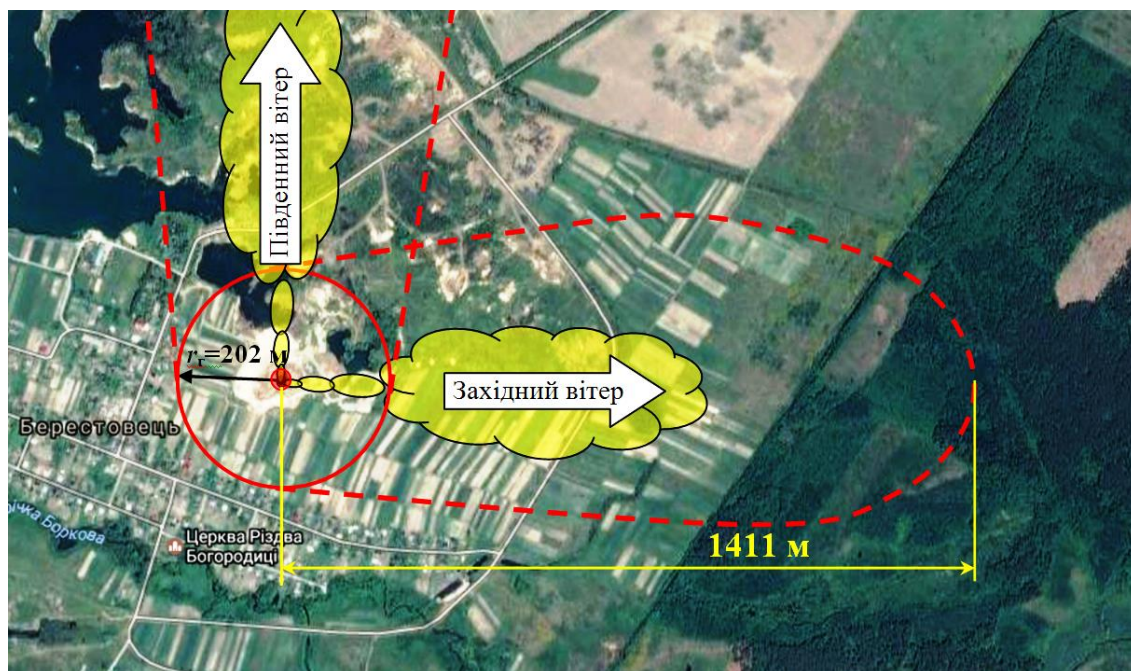


Рис. 3.8. Межі газонебезпечних зон при підриванні заряду 2 т і швидкості вітру $V=12$ м/с на базальтовому кар'єрі при с. Берестовець

Отже, в даному конкретному випадку планування вибухових робіт має базуватися на прогнозі погоди для цього регіону і виконуватись в дні, що будуть сприятливими за стійкістю повітря, напрямом і швидкістю вітру.



Рис. 3.9. Несприятливий (а) і сприятливий (б) за напрямом вітру дні для проведення вибухових робіт

Ступінь стійкості повітря має бути перевірений в день запланованого проведення вибухових робіт на підставі різниці в температурі на висоті 0,5 та 2 м та із використанням графіка, зображеного на рис. 3.6.

Дотримання цих правил дозволить значно знизити небезпеку потрапляння шкідливих речовин на територію поблизу кар'єрів.

Як показало виконане дослідження, напрям вітру є найбільш впливовим фактором при визначенні заходів з якнайшвидшої евакуації ПГХ з робочих зон базальтових кар'єрів і попередження потрапляння продуктів вибуху на територію прилеглих до кар'єрів населених пунктів. Запропонована методика планування дати виконання вибухових робіт з урахуванням прогнозу погоди дозволяє запобігти небезпеці негативного впливу пило-газової хмари від вибуху на людей і довкілля.

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

Відомо, що безпека вибухових робіт є широким поняттям, яке охоплює питання властивостей вибухових речовин і вибухових матеріалів, безпеку їх перевезення, зберігання, підготовки до використання, власне використання, ліквідації відмов, подрібнення негабариту тощо.

В даній роботі виконане вузьке дослідження лише одного з джерел небезпек вибухових робіт – пило-газових продуктів вибуху, які є носіями загроз для здоров'я працівників кар'єру і населення прилеглих територій. Показано, що продукти вибуху містять шкідливі оксиди вуглецю і азоту, які можуть бути смертельно небезпечними, а також, при руйнуванні гірських порід, що містять сірку і сірчисті сполуки, утворюється сірчистий ангідрид і сірководень у багато разів токсичніші, ніж оксид вуглецю.

В роботі показано, що кількість отруйних газів вибуху залежить від низки різнорідних факторів:

- від складу гірської породи і її міцності (впливає на хімічний склад газів і на необхідну кількість вибухової речовини, тобто – на кількість газів, що утворюються);
- від виду вибухової речовини (її кисневий баланс визначає кількість і хімічний склад газів);
- від температурної стійкості атмосфери (ізотермія, конвекція чи конверсія) – це впливає на інтенсивність підйому і швидкість розсіювання пило-газової хмари;
- від опадів і вологості атмосфери – це прискорює осадження частинок пилу поблизу місця вибуху;
- від напряму і швидкості руху повітря – цей фактор визначений як такий, що в 1,67 рази чинить вагоміший вплив на радіус газонебезпечної зони, ніж маса використаної ВР.

На підставі цих результатів дослідження можна зробити наступні **ВИСНОВКИ:**

Вимоги безпеки, передбачені в пункті 3.8 «Інструкції з безпечної організації та проведення масових вибухів свердловинних зарядів на відкритих гірничих роботах» [15] («Кількість вибухових матеріалів, яка зазначена у нарядах-путівках на проведення масового вибуху, повинна не перевищувати кількості вибухових матеріалів, розрахунок якої виконано в паспорті масового вибуху») є також засобом зменшення кількості продуктів вибуху, що утворюються при виконанні вибухових робіт.

Абсолютно правильною є вимога пункту 4.25 глави VII. НПАОП 0.00-1.66-13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» [6], де передбачено, що після завершення вибухових робіт подання сигналу «Відбій», не раніше ніж через 15 хвилин після нього, першими в кар'єр мають заходити (з дозволу керівника вибухових робіт) працівники аварійно-рятувальної служби, які мають визначити концентрацію шкідливих речовин в повітрі кар'єру і поінформувати про це керівника вибухових робіт, який приймає рішення щодо можливості допуску робітників кар'єру на їх робочі місця. НПАОП однозначно вказує, що це може бути здійснено лише «після розсіювання пилогазової хмари, відновлення повної видимості в кар'єрі, отримання інформації від усіх постів аварійно-рятувальної служби про результати аналізу повітря, що підтверджують відсутність в атмосфері кар'єру небезпечних концентрацій продуктів вибуху, але не раніше ніж через 30 хвилин після вибуху» [6]. Досвід показує (див. рис. 3.3) що цього часу достатньо для розсіювання пилу і зниження концентрації шкідливих речовин до прийнятних значень.

З метою прискорення видалення ПГХ з кар'єра і зниження ризику потрапляння пилу і отруйних газів в атмосферу прилеглої до кар'єру території,

РЕКОМЕНДУЄТЬСЯ:

1. Формування відвалів розкривних порід здійснювати таким чином, щоб вони не погіршували провітрювання кар'єру (рис. 2.5). Розвиток

гірничих робіт також бажано планувати з урахуванням панівного напрямку вітру («рози вітрів») щоб конфігурація кар'єру сприяла його провітрюванню.

2. Застосовувати, по можливості, вибухові речовини з нульовим чи близьким до нульового кисневим балансом.
3. Планувати вибухові роботи з урахуванням стійкості атмосфери, віддаючи перевагу дням, коли атмосфера перебуває в стані конвекції чи ізотермії і утримуватись від вибухів в дні інверсії.
4. Проводити вибухові роботи в дні з урахуванням прогнозу погоди, коли вітер дує поздовж кар'єру і в напрямку, який відноситиме ПГХ на незаселену територію.
5. Для виконання вибухових робіт віддавати перевагу дням з високою вологістю повітря і опадами.
6. Неухильно дотримуватись норм безпеки, передбачених НПАОП 0.00-1.67-13 «Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні» в частині порядку доступу до кар'єру після проведення вибухових робіт.

Наукова новизна роботи полягає у встановленні методом факторного експерименту того факту, що при проведенні вибухових робіт зарядами від 2 до 16 т і при вітрі від 2 до 12 м/с саме швидкість вітру є більш вагомим фактором впливу на радіус небезпечної (по шкідливих газах і пилу) зони, ніж величина заряду ВР. Тому використання цього метеорологічного чинника без зменшення маси заряду ВР, а отже – без зменшення об'єму розвалу гірської породи є дуже раціональним і економічно ефективним засобом поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці в кар'єрі і на прилеглій території.

Практичне значення роботи полягає в тому, що рекомендована методика проведення вибухових робіт з урахуванням метеорологічних умов є простою і ефективною, не потребує капіталовкладень і спеціального перенавчання персоналу. В той же час, її застосування дозволить суттєво знизити небезпеку отруєння продуктами вибуху персоналу кар'єру і мешканців прилеглих

територій, реалізуючи цим статтю 4 Закону України «Про охорону праці» [16]: «Державна політика в галузі охорони праці визначається відповідно до Конституції України Верховною Радою України і спрямована на створення належних, безпечних і здорових умов праці, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням».

Література

1. Державна служба України з питань праці. Оперативна інформація про нещасні випадки. Електронний ресурс. URL: <https://dsp.gov.ua/operatyvna-informatsiia/>
2. Тривкість гірських порід. Електронний ресурс. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%BA%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%B3%D1%96%D1%80%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D1%85_%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%96%D0%B4
3. 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>
4. 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>
5. Гірничий енциклопедичний словник. Електронний ресурс. URL: https://slovnyk.me/dict/mining_dict/детонаційна_хвиля
6. 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>
7. 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%8

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. Соболев В.В. Технологія та безпека виконання підривних робіт (короткий курс лекцій): Підручник. - Д.: Національний гірничий університет, 2008. - 164 с.
10. Гнеушев В.О. Вентиляція і пневматичний транспорт. Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2010. – 138 с.
11. Тверда О.Я., Воробйов В.Д. Питомі витрати вибухової речовини при руйнуванні блоку порід з різними властивостями. Вісник НТУУ «КПІ». Розділ «Геотехнологія». 2011. Вип. 20. С. 214–220.
12. Мала гірнича енциклопедія, т. 1 / За редакцією В.С.Білецького. – Донецьк: Донбас, 2004. – 640 с.
13. Стеблюк М.І. Цивільна оборона: Підручник. – К.: Знання, 2006. – 487 с.
14. Технологія та безпека виконання вибухових робіт. Практикум : підручник для ВНЗ / В.В. Соболев, І.І. Усик, Р.М. Терещук ; М-во освіти і науки України ; Нац. гірн. ун-т. – Д. : НГУ, 2014. – 176 с. Електронний ресурс. URL : <https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/146440/CD526.pdf?sequence=1>
15. 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>
16. Закон України «Про охорону праці». Електронний ресурс. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>