

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

ПЕТЬКОВ СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

**Аналіз та вивчення технологій вибухових робіт, що зменшують
негативний вплив на довкілля**

184 Гірництво
(ОПП «Відкриті гірничі роботи»)

Випускна робота
на здобуття рівня вищої освіти «магістр»

Керівник Геннадій ЄРЕМЕНКО / _____ /

Завідувач кафедри Сергій ЖУКОВ / _____ /

Кривий Ріг

2024

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ВСТУП	5
1.ВЛИВ ВИБУХОВИХ РОБІТ В КАР'ЄРІ НА ДОВКІЛЛЯ	7
2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИБУХОВИХ РОБІТ, ЩО ЗМЕНШУЮТЬ НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ	19
2.1. Спеціальні види забивок	20
2.2. Спеціальні конструкції вибухових свердловин	24
2.3.Вибухові речовини з нульовим або близьким до нуля кисневим балансом	28
2.4.Підривання високих уступів та у стисненому середовищі	32
2.5.Застосування зменшеного діаметра вибухових свердловин	35
3.ПРАКТИКА ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИБУХОВИХ РОБІТ, ЩО ЗМЕНШУЮТЬ НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ	38
ВИСНОВКИ ДО РОБОТИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО НАПРЯМКІВ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	48
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	50

РЕФЕРАТ

Петьков С.О. Аналіз та вивчення технологій вибухових робіт, що зменшують негативний вплив на довкілля. Випускна кваліфікаційна роб. на здоб. другого (магістерського) рівня вищої освіти - Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2024. – 54 с.

Загальна характеристика роботи. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти містить наступні розділи: вступ, основний розділ, який складається з трьох параграфів, висновки та рекомендацій щодо напрямків подальших досліджень за темою магістерської роботи, перелік літератури, яку було опрацьовано під час виконання магістерської роботи. Загальний обсяг роботи становить 54 сторінки машинного тексту, 2 таблиці, 33 рисунки, список літератури – 38 позицій.

Мета роботи полягає в формуванні та закріпленні навичок самостійної наукової роботи, що полягає у вивченні, аналізі та систематизації наукових та науково-практичних джерел за темою магістерського дослідження.

Мета дослідження дозволяє окреслити основні **завдання дослідження**:

1. Аналіз умов та причин формування негативних впливів на довкілля під час масових вибухів на кар'єрах.
2. Огляд та аналіз досліджень зарубіжних та вітчизняних учених у галузі зниження негативного впливу на довкілля при проведенні вибухових робіт в кар'єрах.

Об'єктом дослідження є технологічний процес вибухової підготовки гірських порід до виймання.

Предметом дослідження є технології вибухових робіт, що зменшують негативний вплив на довкілля.

Методи дослідження, задіяні в роботі: огляд та аналіз досліджень зарубіжних та вітчизняних учених у галузі зниження негативного впливу на довкілля під час проведення вибухових робіт, порівняльний аналіз результатів досліджень.

Вступ до роботи актуалізує тему дослідження. Зазначається, що вибухова підготовка гірських порід до виймання на сьогодні є основним та найбільш ефективним способом руйнування масиву, і на перспективу ця тенденція збережеться. При цьому виникає необхідність з розвитком техніки та технології зменшувати негативний вплив від діяльності людини на навколишнє середовище.

Основна частина роботи складається з трьох параграфів. У першому параграфі проаналізовано вплив масових вибухів на довкілля. З'ясовано, що основний удар приймає атмосфера кар'єру та прилеглих територій. Також в цьому параграфі зроблено акцент на технологічних факторах, які впливають на пилогазовиділення під час масових вибухів. Другий параграф присвячений аналізу технологічних рішень, які сприяють зменшенню негативного впливу від масових вибухів на довкілля. Було обрано п'ять напрямків, які, на думку науковців, є найбільш ефективними. Третій параграф містить аналіз практики застосування згаданих технологій.

У висновках до роботи узагальнені її основні результати. Також на основі аналізу науково-практичної літератури окреслені **можливі напрямки подальших досліджень** щодо цього питання.

Ключові слова: технологія, розробка, родовище, кар'єр, масовий вибух, забивка, свердловинні заряди, охорона навколишнього середовища, пиловиділення, пилогазова хмара.

ВСТУП

Економічний розвиток нашої країни безпосередньо пов'язаний із видобутком та переробкою запасів твердих корисних копалин та багато в чому визначається ефективністю відкритого способу розробки. Для скельних порід практично єдиним високоефективним універсальним способом підготовки до виймання є руйнування породи енергією вибуху. Вибухові роботи відрізняються швидкістю та значними масштабами виконання, тому широко застосовуються на відкритих гірничих роботах.

Аналіз змін, що відбулися у відкритій геотехнології за останні 20 років, виявив суттєве зростання сумарних обсягів видобутої гірничої маси, що очевидно визначає необхідність розвитку технологій, що забезпечують зниження негативного впливу відкритих гірничих робіт на довкілля.

Відкритий спосіб видобутку корисних копалин досяг такого рівня, що став значним чинником негативно впливати на навколишнє середовище, викликаючи ландшафтні та аерологічні зміни, забруднюючи та видозмінюючи прилеглі території.

Під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом основним джерелом, яке негативно впливає на довкілля, є технологічні процеси, пов'язані із виробництвом масових вибухів (до 35%). При веденні вибухових робіт в атмосферу кар'єру разом із продуктами вибуху потрапляє величезна кількість шкідливих речовин, що включають отруйні гази та дрібнодисперсний пил. У продуктах вибуху, що утворюються внаслідок вибуху промислових вибухових речовин, отруйними газами є: оксид вуглецю CO_2 і CO , сірчастий ангідрид SO_2 та оксиди азоту NO , NO_2 , N_2O_5 . Оксиди азоту є найбільш небезпечними з них, а головним чинником діоксид азоту NO_2 . Вони мігрують на великі відстані від кар'єру, забруднюючи довкілля в радіусі 15-20 км і більше. Залізні руди, як правило, мають міцність за шкалою М.М.

Протодея'конова від 8 до 20, розробка їх здійснюється з використанням буровибухових робіт зі збільшеною питомою витратою вибухових речовин.

Питання негативного впливу масових вибухів на довкілля турбують вчених останні 30-40 років та є об'єктом численних наукових досліджень.

Досліджуване питання лягло в основу теоретичних та прикладних досліджень таких вчених як Е.І.Єфремов, П.В.Бересневич, В.А.Михайлов, М.Ф.Друкований, О.Я.Тверда, А.П.Пашков, В.І.Комащенко та ін.

1. ВПЛИВ ВИБУХОВИХ РОБІТ В КАР'ЄРІ НА ДОВКІЛЛЯ

Ведення гірничих робіт в кар'єрах супроводжується потраплянням у повітряне середовище значної кількості пилу та шкідливих газів, збільшуючи техногенне навантаження на довкілля. Концентрація шкідливих газів у робочій зоні кар'єру може у десятки разів перевищувати гранично допустиму концентрацію. Масштаби забруднень пилом та шкідливими газами під час вибухових робіт можна оцінити рівнем концентрацій пилу біля джерел їхнього утворення, які досягають 3000 мг/м^3 і вище (рис.1, 2).

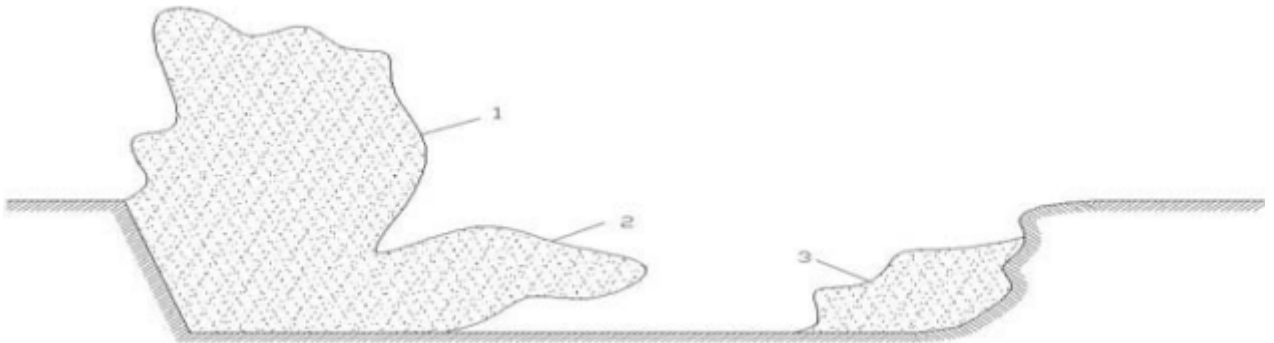


Рисунок 1 – Схема утворення пило-газових хмар при масових вибухах в кар'єрі (1 – первинна хмара, 2 - другорядна хмара, 3 - хмара, утворена за рахунок ударної хвилі і сейсмічних коливань)

Загальна кількість отруйних газоподібних продуктів, що виділяються при вибуху промислових вибухових речовин, становить до 10% від загального обсягу газів, що відповідає 100 л на кожний кілограм підірваної промислової вибухової речовини [29].



Рисунок 2 – Масовий вибух в кар'єрі

Автори [26] зазначають, що буровибухові роботи є одним з основних неорганізованих джерел шкідливих викидів при відкритій геотехнології на долю масових вибухів припадає до 35 % загальної маси забруднюючих речовин, що надають негативний вплив на навколишнє середовище. Вплив вибуху є складним процесом, тривалість якого обчислюється тисячними долями секунди, хвилинами при розсіюванні пилогазової хмари в атмосфері та невизначено довгим часом нанесення шкоди гідросфері, земельним ресурсам та території населених пунктів внаслідок осідання продуктів вибуху.

Автор статті [20] наводить дані, що найбільш інтенсивне виділення тонко-дисперсного пилу із первинної хмари після масового вибуху спостерігається на відстані 200–300 м від його місця (рис.3).

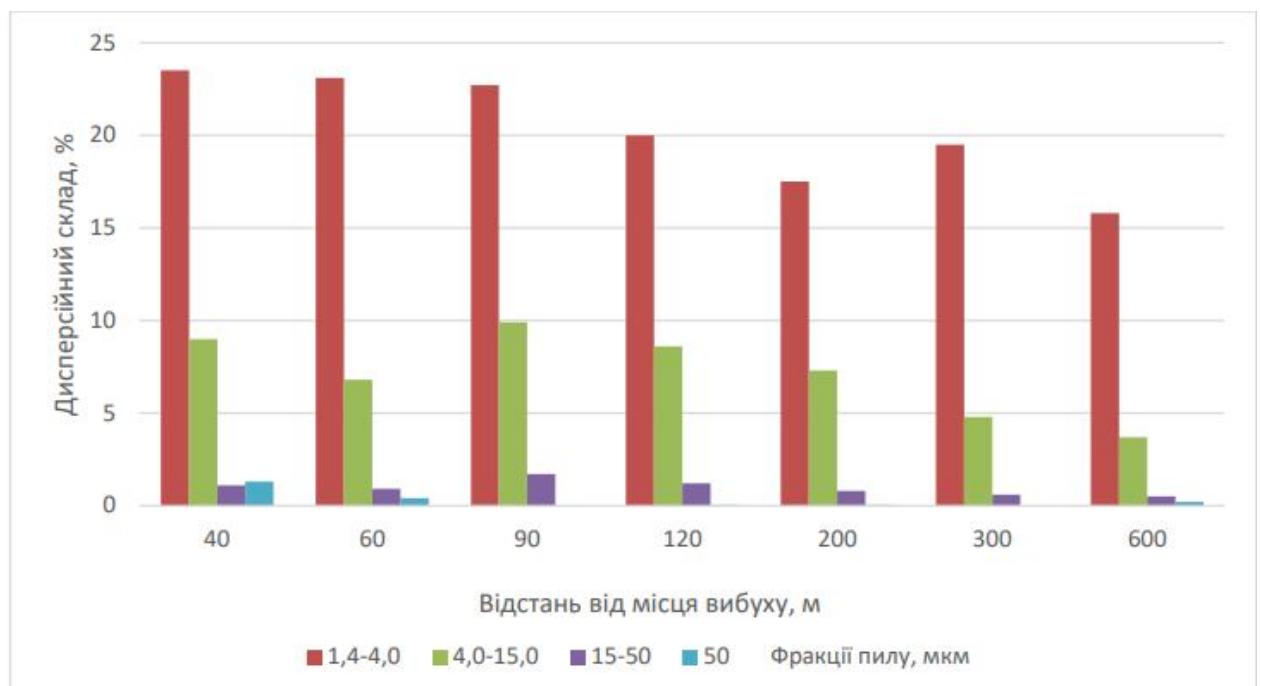


Рисунок 3 – Залежність дисперсійного складу пилу після масового вибуху в залежності від відстані до місця вибуху

Відомо, що у всьому світі станом на 2014 рік із застосуванням вибухових робіт за рік відбивалось близько 10 млрд. м³ гірської маси, питома витрата вибухової речовини становить 0,7-0,9 кг/м³, що еквівалентно 7-9 млрд. кг. В залежності від умов ведення гірничих робіт під час вибуху 1 кг ВР виділяється близько 1000 дм³ шкідливих газів, що призводить до

потрапляння в атмосферу до 7000-9000 млрд. дм^3 шкідливих газів на рік в усьому світі. Осідання шкідливих речовин з пилогазової хмари, що утворилася після масових вибухів, у житлових районах і на сільськогосподарських угіддях створює відчутні негативні ефекти в радіусі 15-20 км від кар'єру [6].

На думку [7] масові вибухи на кар'єрах є головними джерелами викидів пилу та шкідливого газу в атмосферу та істотними забрудниками підземних вод. Автори наводять дані, що на вибухові роботи припадає понад 35 % загальних обсягів забруднення довкілля. Наприклад, під час тільки одного масового вибуху на залізорудному кар'єрі утворюється пило газова хмара висотою до 2 км, яка поширюється на відстань до 12 км.

В статті [36] автор зазначає, що традиційні промислові ВР, які використовувались повсюдно до 2000 років на більшості кар'єрів, були представлені переважно сумішшю аміачної селітри, що виступала окиснювачем, і тротилу (пального) з різними добавками, які необхідні для надання ВР потрібних властивостей. Хімічна система ВР включає чотири газові елементи: вуглець (C_a), водень (H_b), азот (N_c), кисень (O_d), де нижній індекс – кількість газу в хімічній системі. Вибухове розкладання цієї системи є незворотною реакцією окислення горючих елементів киснем. В результаті утворюються різні комбінації хімічних елементів та газоподібних з'єднань. Можливість утворення тих чи інших з'єднань залежить від співвідношення в системі кисню та горючих елементів. Це співвідношення називають кисневим балансом і виражають у відсотках. Коли в системі кисню достатньо для повного окислення горючих елементів (нульовий кисневий баланс), то утворюються нетоксичні вищі оксиди та стійкі двоатомні молекули водню та азоту. Чадний газ (CO) утворюватиметься при нестачі кисню (від'ємний кисневий баланс), а оксиди азоту – при його надлишку (додатній кисневий баланс). CO та NO_x становлять основну частину (до 90%) токсинів. Частка інших шкідливих компонентів рідко перевищує 10% [36].

Рис. 4, 5 дають змогу побачити, що зв'язок кисневого балансу і кількості шкідливих газів, що утворюються має екстремальний характер. Її екстремум відповідає складу з нульовим кисневим балансом.

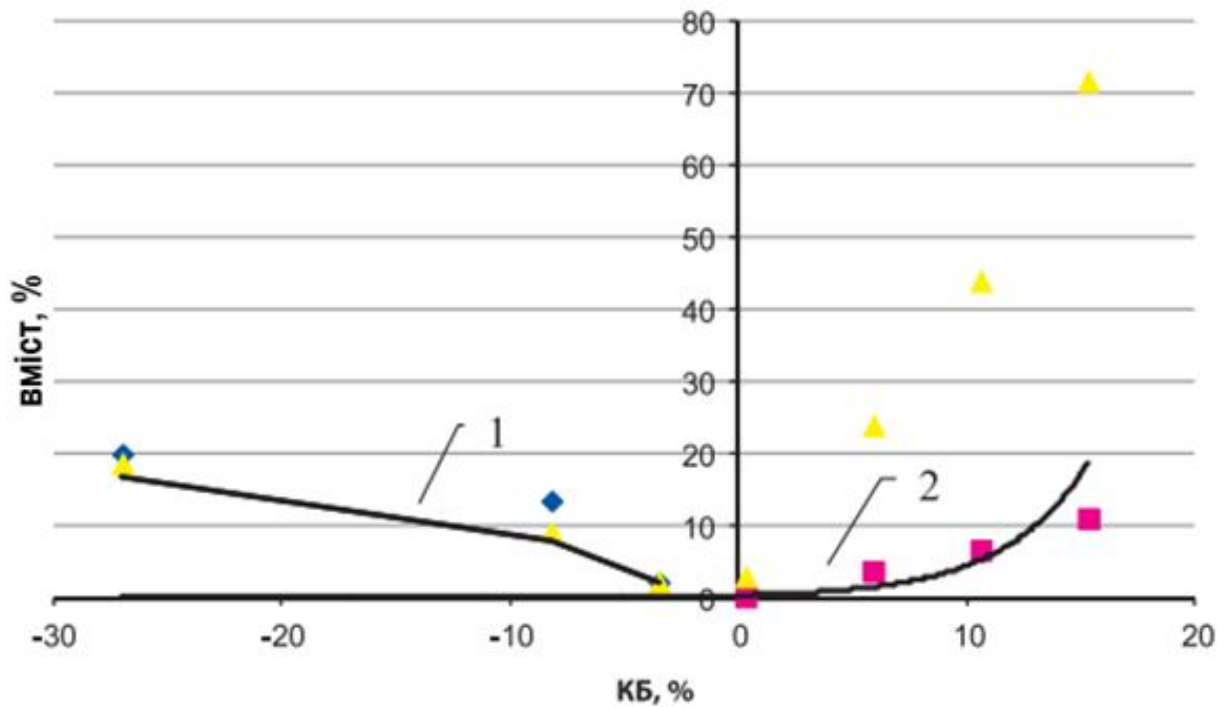


Рисунок 4 – Взаємозв'язок між КБ і кількістю отруйних газів, що утворюються. 1 – концентрація CO у продуктах вибуху; 2 - те ж NO_x

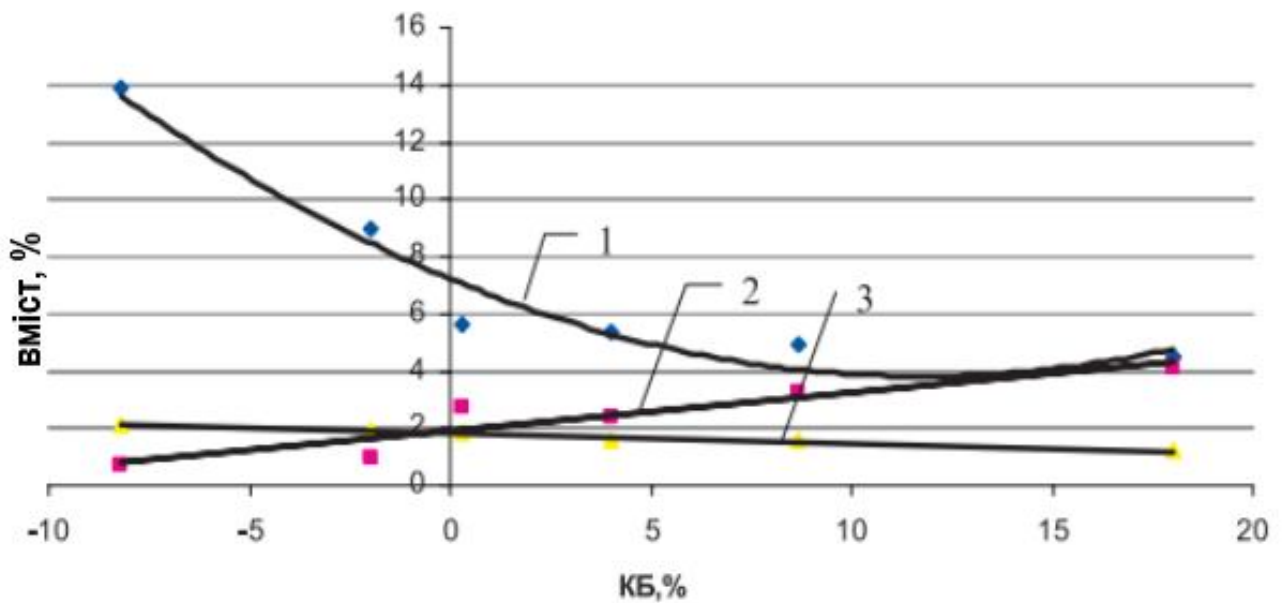


Рисунок 5 – Взаємозв'язок концентрації газів та кисневого балансу ВР
1 - CO; 2 – NO_x ; 3 – CH₄

За розповсюдженням отруйні газів, які утворюються під час вибуху, можна розділити на дві категорії:

1. У момент вибуху основний обсяг отруйних газів викидається безпосередньо в атмосферу, взаємодіючи із повітрям.
2. Деяка частина продуктів вибуху та отруйних газів адсорбується підірваною породою.

Основну та масову шкоду завдають отруйні газів, що належать до першої групи. Однак небезпека виділення отруйних газів, поглинених породою також, безперечно, велика. Підірвана гірська маса здатна виділяти деяку кількість газів у процесі транспортування, зберігання, а також переробки.

Детальні та «свіжі» дані щодо впливу вибухових робіт на стан атмосферного повітря у м.Кривому Розі можна знайти на офіційному сайті Криворізької міської ради та її виконавчого комітету [5]. Відомо, що на території Кривого Рогу діє 9 кар'єрів, всі з них проводять періодично масові вибухи, які є залповим неорганізованим джерелом викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Протягом 2023 року цими кар'єрами було здійснено 181 масовий вибух, завдяки чому було підірвано 33,2 млн.м³ гірничої маси, при цьому було використано 33,3 тис. т безтритилових вибухових речовин. Фахівцями було виміряно обсяг викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря при здійсненні промислових вибухів, який склав 1,02 тис. т, що на 9% менше ніж в минулому році при більшому на 10% об'ємі підірваної гірської маси (рис.6) [5].

Зменшення обсягів викидів в атмосферу стало можливим завдяки застосуванню гірничо-видобувними підприємствами неелектричних систем ініціювання, зовнішньої та внутрішньої гідрозабивки з використанням гуматового реагенту, використання безтритилових вибухових речовин.



Рисунок 6 – Об’єм викидів в атмосферне повітря м.Кривого Рогу забруднюючих речовин від масових вибухів в кар’єрах у 2022 та 2023 роках

Під час масових вибухів фахівці фіксують викиди в атмосферне повітря пилу, діоксиду азоту, оксиду вуглецю (рис.7) [5].



Рисунок 7 – Усереднені показники викидів пилу, оксиду вуглецю та діоксиду азоту підприємствами кривого Рогу під час масових вибухів.

Діаграми свідчать про те, що ГДК (гранично-допустимі концентрації) по оксиду вуглецю, діоксиду азоту та пилу не перевищені жодним підприємством, проте можна побачити, що за деякими показниками, наприклад за викидами пилу, підприємства близькі до досягнення ГДК. Отже, проблема існує, хоча науковці та виробничники знаходять шляхи зменшення негативного впливу на довкілля від масових вибухів в кар'єрах.

В монографії [10] автор наводять діапазон та усереднені дані щодо викидів пилу та СО в атмосферу при реалізації різних технологічних процесів (табл. 1.).

Аналіз таблиці дозволяє зробити висновок щодо впливу вибуху на викиди пилу та СО в атмосферу кар'єрів. Цифри свідчать про те, що вибухові роботи – найбрудніший у цьому сенсі технологічний процес. Якщо порівнювати з грохотінням та дробленням, то концентрація пилу при вибухових роботах в середньому в 500 разів більша, ніж при дробленні та грохотінні. Різниця з іншими технологічними процесами ще більш разюча.

Таблиця 1

Концентрація, мг/м³ пилу та СО на залізородних кар'єрах

Технологічний процес	Пил за температури		СО
	Більше 0	Менше 0	
Буріння свердловин	1,4-9 (3,2)*	1,6-12 (2,4)	1-27,5 (15,1)
Вибухові роботи	400-3100 (1950)	-	1100-1740 (1360)
Навантаження екскаваторами циклічної дії	0,7-12 (2,9)	1-21,2 (2,5)	2,2 -35 (15)
Навантаження екскаваторами безперервної дії	1,8-5 (2,1)	1-5,1 (1)	-
Транспортування гірничої маси:			
-автотранспорт	0,8-11 (2,0)	1,4-6,3 (2,2)	0,1-40 (20)
-залізничний	0,7-10 (1,9)	0,7-4,0 (2,3)	3,2-31,2 (17)
Грохотіння та дроблення гірської маси	1,3-60 (3,9)	0,9-81,6 (5,9)	2,1-21 (18,6)
Перевантаження гірської маси	0,8-32 (3,8)	1-11,7 (3,4)	2,0-20,7 (19,3)
Планування майданчиків уступів	0,7-39 (2,2)	0,71-2,6 (2,65)	2,1-23,3 (21)

* - усереднене значення

Щодо викидів чадного газу, то у порівнянні з його викидами при застосуванні автотранспорту, то вибухові роботи забруднюють атмосферу у 68 разів більше.

Встановлено [12], що питома кількість пилу, що виділяється при вибуху, змінюється в дуже широких межах і залежить від ряду факторів: кількості ВР, що одночасно підривається, міцності порід, вологості гірської маси, що вибухає, висоти уступів. Знання закономірностей формування кількості пилу та шкідливих газів від цих факторів дає вченим змогу розробляти технології, які зможуть мінімізувати негативні прояви вибуху в кар'єрах.

Наприклад, в посібнику [12] зазначається, що зі збільшенням кількості ВР та підвищенням міцності порід відбувається збільшення кількості виділення пилу. Обробка результатів спостережень дозволила встановити емпіричну залежність кількості пилу, що виділився, від витрати ВР та міцності порід (рис.8):

$$G = 24,3\sqrt{f} \cdot A, \text{ кг}$$

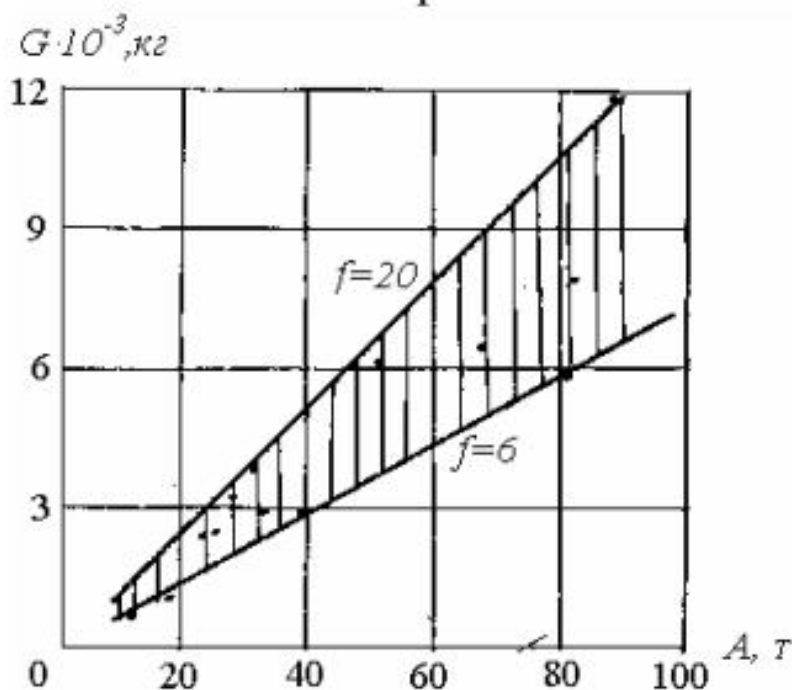


Рисунок 8 – Зміна кількості пилу залежно від витрати ВР та міцності порід

Аналіз графіка дозволяє визначити, що наприклад при вибуховому руйнуванні породи міцністю 20 за шкалою Протод'яконова при витраті $A=60$

т, виділяється 0,008 кг пилу, а при руйнуванні породи міцністю 6 за шкалою Протод'яконова 0,0045, що майже вдвічі менше.

Дослідженнями також встановлено, що пилоутворення залежить від питомої витрати ВР на одиницю обсягу гірничої маси [12] (рис. 9). Аналіз даного графіка демонструє квадратичну залежність інтенсивності пилоутворення від питомої витрати ВР та міцності порід.

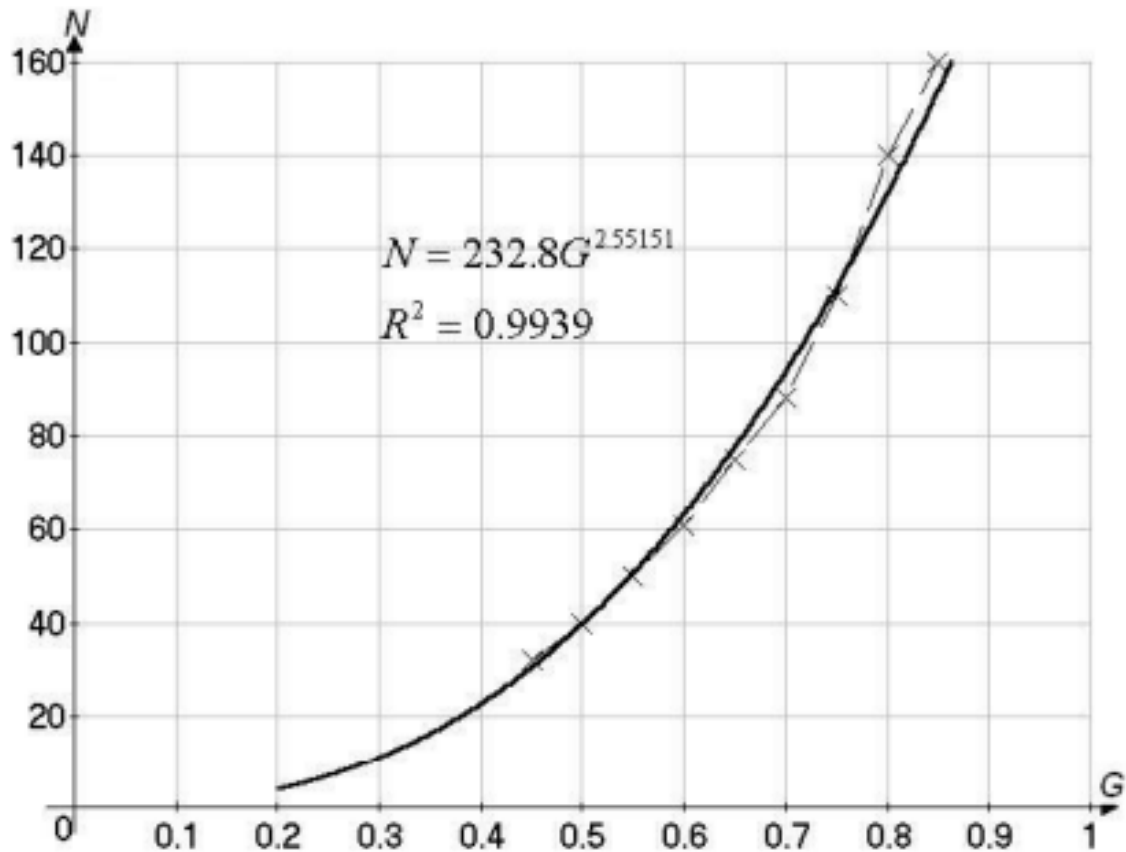


Рисунок 9 – Зміна пилоутворення від питомої витрати ВР та міцності порід

Дослідженнями також встановлено [10], що на інтенсивність пилоутворення впливає також питома витрата ВР (рис.10). Аналіз графіка дозволяє зробити висновок, що при зростанні питомої витрати ВР пиловиділення зростає, що пояснюється підвищення концентрації ВР в масиві, зменшенням параметрів сітки свердловин, збільшення об'єму продуктів переподрібнення.



Рисунок 10 – Залежність інтенсивності утворення пилу від питомої витрати ВР

Схожі дані наводяться у [4] (рис.11), тільки крива залежності носить більш плавний характер.

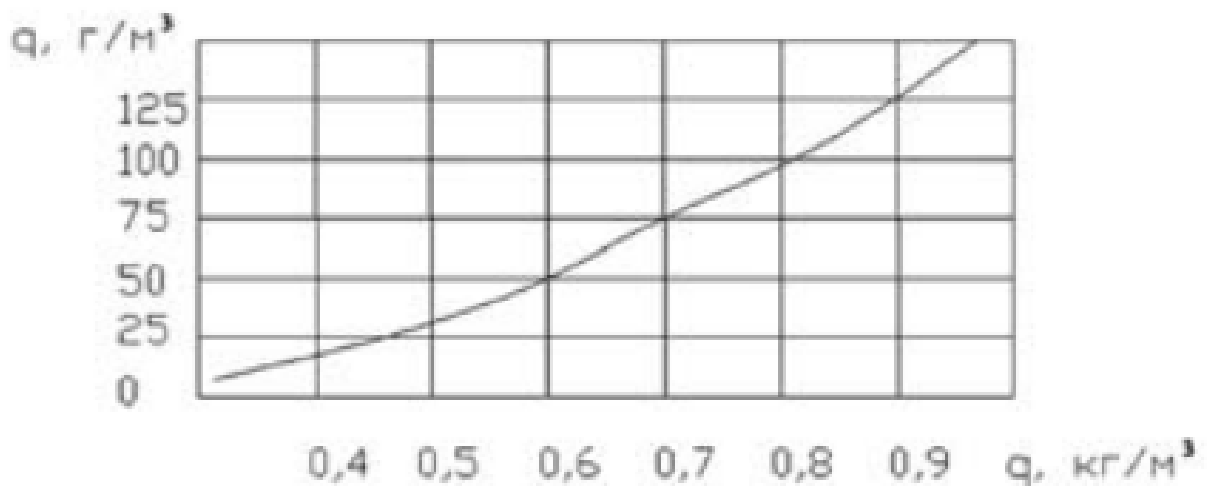


Рисунок 11 – Залежність кількості утвореного під час вибуху пилу від питомої витрати ВР

Залежність кількості утворення пилу під час вибуху наводять і в [4] (рис.12).

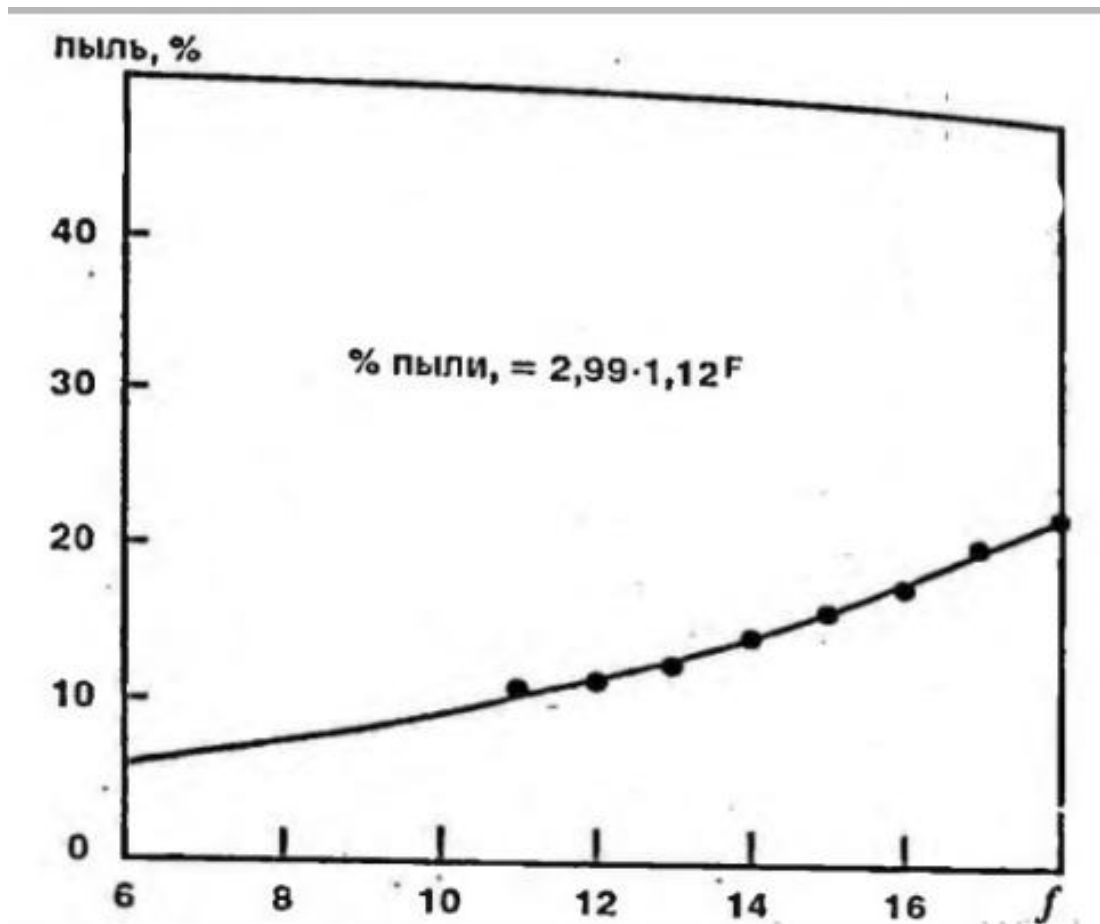


Рисунок 12 – Залежність кількості утвореного під час вибуху пилу від міцності порід

Аналіз представлених графіків дозволяє зробити висновок про приблизно однаковий характер функції залежності кількості пилу від міцності порід, питомої витрати ВР.

Також на кількість утвореного пилу впливає обводненість свердловин, залежність як показує графік на рис.13 – обернена.

Аналіз наукових джерел дозволяє зробити висновок, що найбільшого негативного впливу вибухові роботи завдають атмосфері кар'єрів та прилеглих територій. Сейсмічна дія вибуху проявляється в першу чергу на інфраструктуру та забудову регіону, тому розглядатись в цій роботі не буде.

Теплова дія вибуху здебільшого розповсюджується на об'єкт видобутку – гірську породу, тому також в контексті даного дослідження нею знехтуємо.

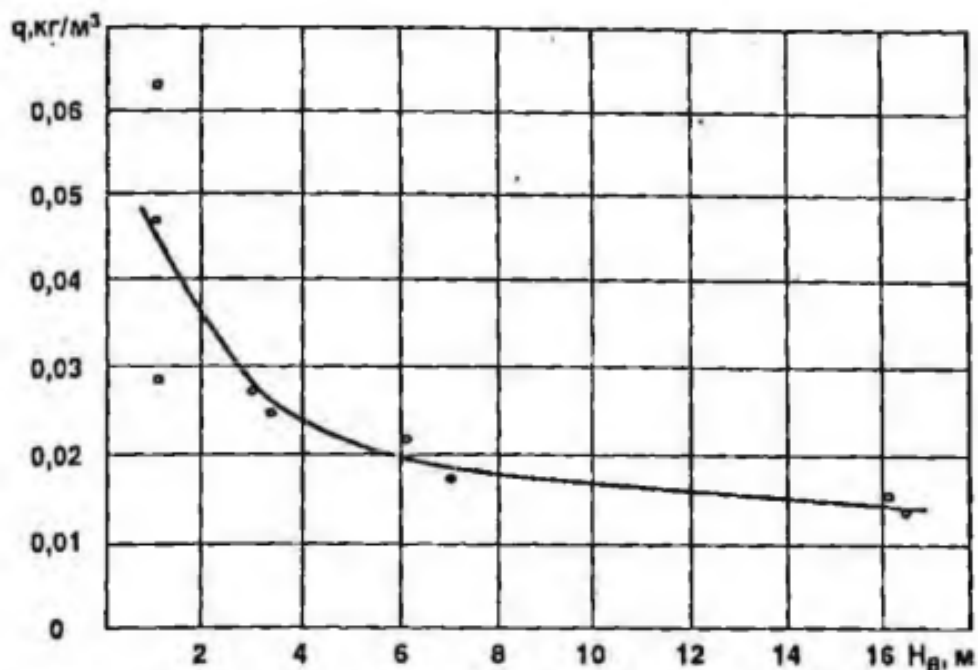


Рисунок 13 – Залежність питомого пиловиділення від обводненості свердловин

Наукові джерела свідчать про те, що вченими окреслені напрямки досліджень, які дають змогу розробляти та впроваджувати технологічні рішення з метою зменшення негативного впливу вибуху на довкілля.

2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИБУХОВИХ РОБІТ, ЩО ЗМЕНШУЮТЬ НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ

Підручники з екології в гірництві описують наступні заходи, яких вживають на підприємствах з метою скорочення викидів забруднюючих речовин під час проведення вибухових робіт: застосування вибухових речовин з кисневим балансом, близьким до нуля; зрошування підготовлених до вибуху ділянок та прилеглої до них зони та зони випадання пилу; зрошування підірваної гірської маси після вибухів; здійснення вибухів у години максимальної вітрової активності; застосування гідрозабивки тощо.

Крім того в наукових джерелах, наприклад [10] наводиться класифікація методів та засобів екологічного захисту довкілля при веденні вибухових робіт. Вони поділяються на організаційні, технологічні та інженерно-технічні. В рамках даної роботи ми майже не будемо розглядати організаційні методи зменшення негативного впливу на довкілля під час проведення вибухових робіт, а сфокусуємось на технологічних та інженерно-технічних, які для нас представляють найбільший інтерес.

Монографія [6] містить перелік способів та засобів зниження параметрів розсіювання пилу при масових вибухах у кар'єрах, наводить їх порівняльну характеристику. Представлено 15 таких способів і заходів, серед яких є такі, що зменшують об'єми викидів в атмосферу кар'єрів, й такі, що зменшують висоту підйому пилогазової хмари.

Найбільш ефективними технологічними способами боротьби з негативними явищами масивних вибухів на нашу думку є: використання спеціальних видів забивок, підривання високих уступів та у стисненому середовищі, використання спеціальних видів конструкції заряду ВР, застосування ВР з нульовим або близьким до нуля кисневим балансом, застосування зменшеного діаметра вибухових свердловин. Саме ці

технології, їх наукове обґрунтування, практику впровадження та результати ми й розглянемо в даній роботі.

2.1. Спеціальні види забивок

Узагальнено процес виконання гідрозабивки включає розміщення по рядах над гирлом свердловин рукавів діаметром близько 900 мм і більше (рисунок 14), а також безпосередньо всередині свердловини, причому діаметр рукава має бути на 15 мм більше, ніж діаметр свердловини і довжиною на всю її неактивну частину.

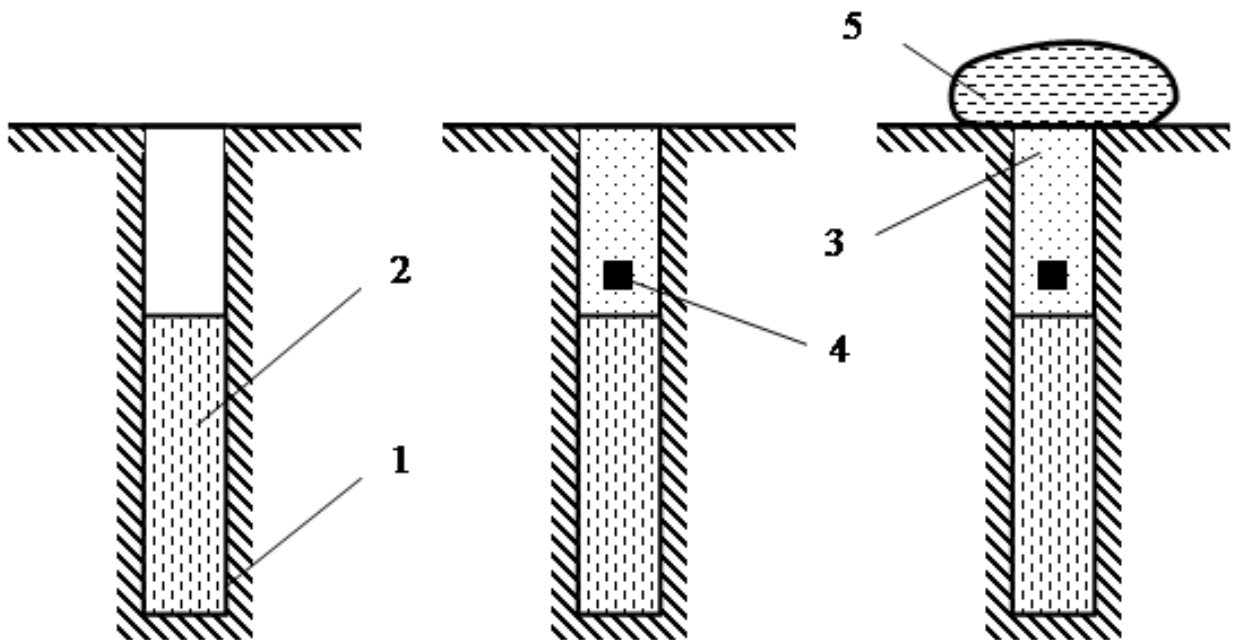


Рисунок 14 – Схема конструкції гідрозабивки вибухової свердловини:
1 – свердловина; 2 – заряд вибухової речовини; 3 – внутрішня гідрозабивка; 4 – заряд вибухової речовини гідрозабивки; 5 – зовнішня гідрозабивка

Така конструкція дозволяє знизити бічні напруження на поліетиленовий рукав. Товщина поліетиленової плівки як правило не менше 0,2 мм. Висота (товщина) шару піни в укладеному рукаві становить 200 – 230 мм. Кожна ємність вибухає спеціальним зарядом за кілька мілісекунд раніше за основний заряд. Застосування гідрозабивки утруднено в період негативних температур. Для цих умов можливо в якості забивного матеріалу використовувати сніжно-крижану забивку.

На рис.15 наведено ефективність різних видів гідрозабивок [35].

Аналіз гістограм дозволяє зробити висновок, що ефективність комбінованої гідро забивки сягає 90%, в той час як застосування або внутрішньої, або зовнішньої дає ефект у 50-85%.

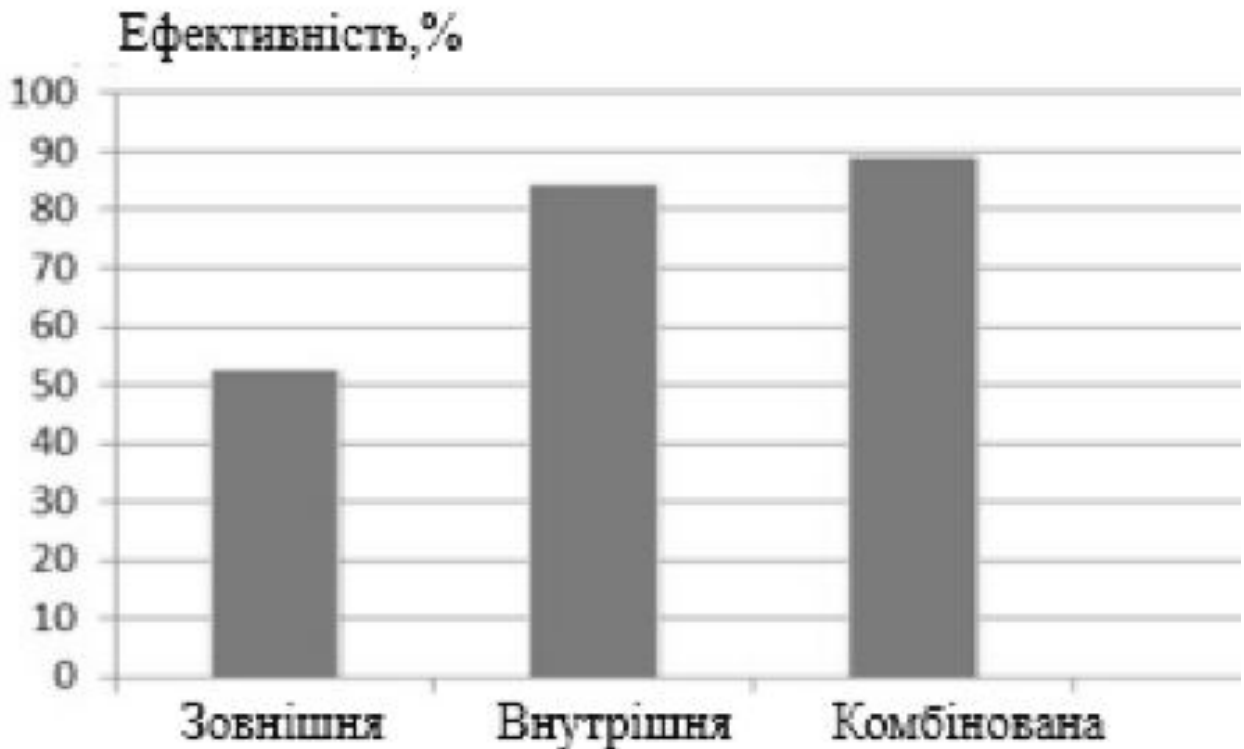


Рисунок 15 – Ефективність використання різних видів гідрозабивок

Процес виконання гідрозабивок включає розміщення по рядах над гирлом свердловин поліетиленових рукавів діаметром 900 мм, а також всередині свердловини. Наповнення рукава піною здійснюється за допомогою піногенератора, оснащеного гідронасосом, висота шару піни у укладеному рукаві становить біля 200-230 мм. Кожна ємність вибухає спеціальним зарядом за кілька мілісекунд раніше основного заряду. При витраті піни $0,001-0,0015 \text{ м}^3/\text{м}^3$ концентрація пилу в пилогазовій хмарі скорочується на 20–30 %, а кількість окисів азоту, що утворюються, зменшується в 1,5-2 рази [35].

Аналіз даних кінореєстрації процесу формування пилогазової хмари при застосуванні зовнішньої гідрозабивки показав, що цей метод зменшує

початкову швидкість вильоту газів вибуху з свердловини на 30-40% і максимальну висоту підйому пилогазової хмари в 3-4 рази. Причому за рахунок коагуляції оптична густина хмари швидко зменшується. Ефективність пилопридушення – 33-55 %, а газопридушення – від 32 до 64%. Внаслідок того, що використання забивок на рідинній основі дозволяє більш ніж у 2 рази знизити висоту підйому пилогазової хмари, пилові викиди осідають у кар'єрі, практично не виходячи його межі [31].

Автори статті [26] для зменшення негативного впливу вибуху на довкілля поряд із зміною конструкції заряду ВР, вважають доцільним посилити запираючу дію забивки. Для досягнення цілі досягнення необхідної якості дроблення гірської породи при одночасному зниженні пилогазових викидів вважають за потрібне використовувати багатокомпонентні, низькощільні суміші, у тому числі піногелі в якості забивочного матеріалу. Для приготування піногеля автори пропонують використовувати 1,5 – 3,0 % водні розчини піногелеутворюючих речовин. Вміст рідини в піногелевій забивці визначає її пилоподавляючі властивості. Піногель разом з пилогазовими продуктами вибуху викидається в атмосферу у вигляді дрібних крапель і бульбашок, що є центрами коагуляції пилу та нейтралізації отруйних газів. У порівнянні з гідрогелем і водою перевага піногеля в тому, що навіть за рівних результатів зниження концентрації шкідливих домішок, необхідна кількість компонентів для приготування забивки при п'ятикратному спінюванні, зменшується в стільки ж разів.

В роботах [31, 34] описано застосування активної забивки, яка дозволяє зменшити висоту пилогазової хмари, яка утворюється після вибуху, і, відповідно, ареал розповсюдження шкідливих газів та пилу (рис.16).

Слід зазначити, що активна забивка застосовується та розроблялась не з метою зменшення висоти підйому пило газової хмари, а для зменшення виходу негабариту, для підривання неоднорідних уступів та покращення ступеня дроблення масиву. Проте в ході її застосування виявилось, що

додатково застосування активної забивки позитивним чином впливає на висоту підйому пилогазової хмари.

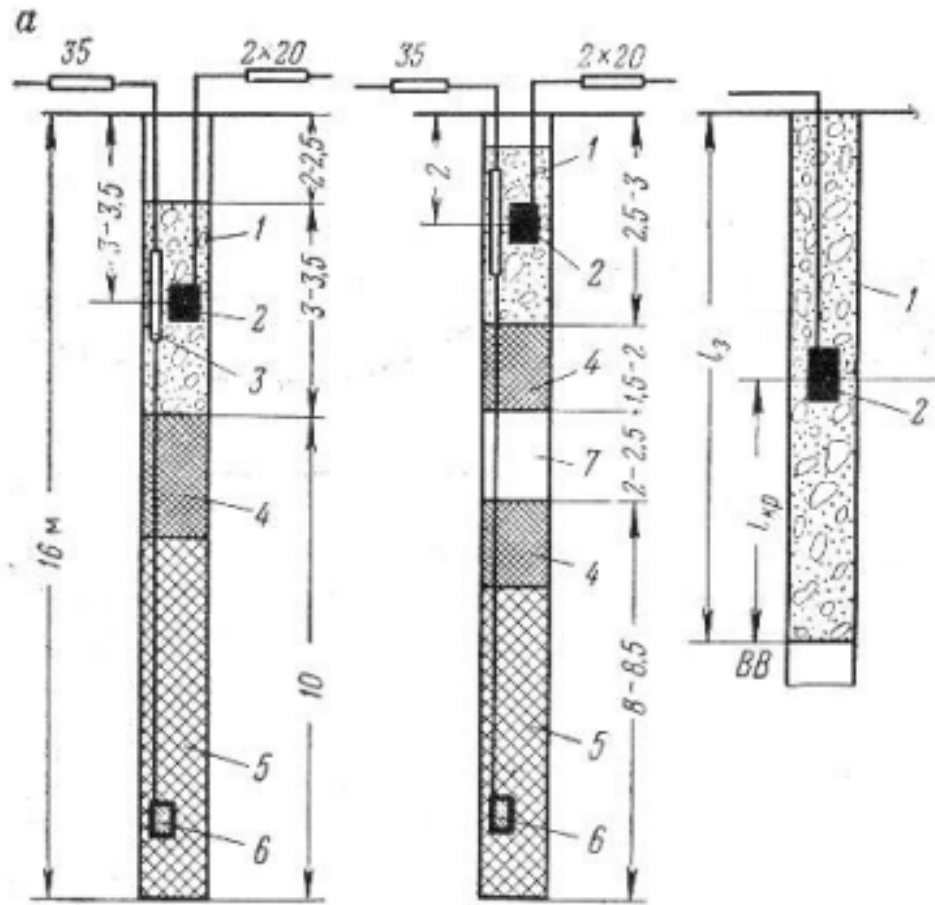


Рисунок 16 – Конструкція зарядів з активною забивкою: 1 - крупнозерниста забивка; 2 – додатковий заряд; 3 – трубка, яка не передає детонацію; 4 – амоніт № 6ЖВ; 5 – гранульований тротил; 6 – бойовик.

В монографії [6] авторами запропоновано застосування спеціальної забивки при формуванні свердловинних зарядів ВР. Її застосування не впливає на зміни конструкції ВР, а передбачає використання гумової пробки з анкерним пристроєм. Така конструкція забивки дозволяє регулювати швидкість виходу забивки зі свердловини (рис. 17). Це дозволяє певною мірою затримати вихід вибухонебезпечних газів у свердловині до початку руйнування масиву та зсуву порід. Швидкість викиду продуктів детонації (шкідливих гізів) знижується, висота підйому пилогазової хмари та її об'єм зменшуються через нижчу початкову швидкість її руху. Це дозволить локалізувати викид пилу та шкідливих газів на меншій території навколо

епіцентру, зменшуючи при цьому забруднення за межами санітарно-захисної зони кар'єру.

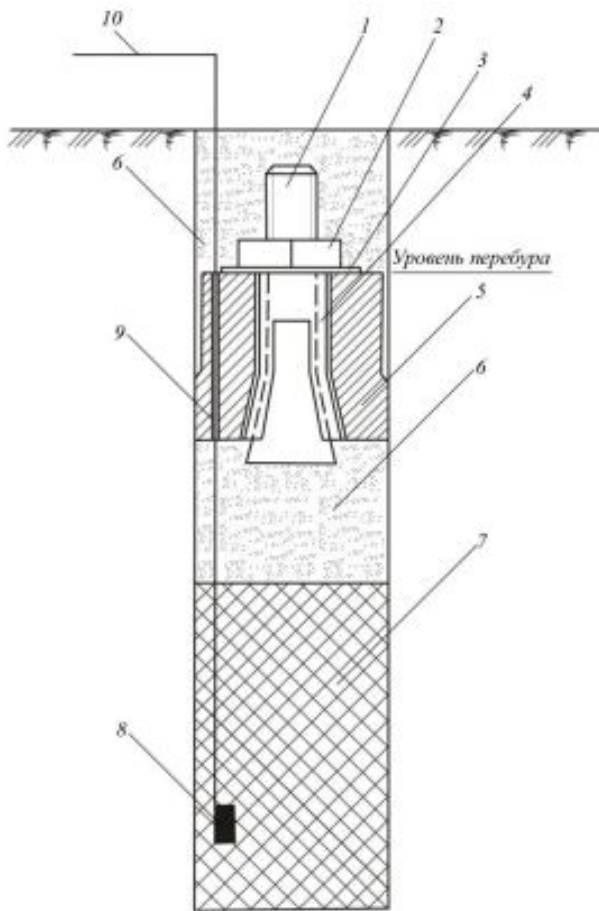


Рисунок 17 – Свердловинний заряд з використанням гумової пробки з анкерним пристроєм

2.2. Спеціальні конструкції вибухових свердловин

Спеціальні конструкції вибухових речовин покликані зменшити питому витрату вибухової речовини, що позитивним чином позначиться на кількості отруйних газів та пилу, який потраплятиме в атмосферу під час вибуху.

В статті [27] запропоновано конструкцію заряду, який дозволяє на практиці знизити питому витрату вибухових речовин на 15% для порід з коефіцієнтом міцності $f=15$ за шкалою проф. М.М. Протод'яконова (рис.18).

Зарядження свердловини здійснюють наступним чином: за допомогою вантажу в поліетиленовому рукаві діаметром 200 мм розміщують поетапно від 3 до 5 касет, які заповнені повітрям.

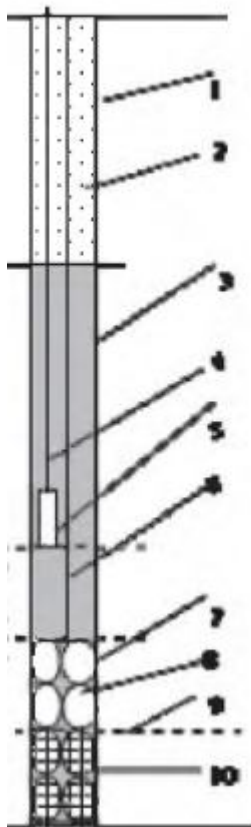


Рисунок 18 – Загальний вид свердловинного заряду ВР: 1 - бурова свердловина; 2 - піщана забивка; 3 – основний заряд ВР; 4 - детонуючий шнур; 5 – детонатор; 6 - шнур для кріплення гірлянди; 7 - рукав із поліетилену; 8 - повітряна ємність; 9 – рівень; 10 - кумулятивний відбивач

Як правило, такі гірлянди застосовуються лише у свердловинах, заповнених водою. Гірлянду опускають у свердловину і розміщують її на рівні нижньої позначки уступу. Застосування проміжків у вибуховій речовині за допомогою гірлянд дозволяє поліпшити якість вибуху при оптимальній витраті ВР, а також надає можливість утилізувати відходи вибуху. Проведені дослідження дозволяють рекомендувати таку конструкцію свердловинних зарядів при підривних роботах у важких гірничо-геологічних умовах кар'єру. Запропонована технологія дозволяє на 30% поліпшити екологічний ефект у порівнянні з традиційною конструкцією зарядів ВР.

В статті [21] запропоновано конструкцію заряду із радіальним проміжком між зарядом та стінкою свердловини, заповненим інертною речовиною з високою акустичною жорсткістю. Крім цього, автори розробили та рекомендують до впровадження конструкцію забивки, що дозволяє у дві стадії здійснити очистку від шкідливих газів, які утворюються під час масового вибуху. Принципи її дії базується на хемосорбції газів негашеним

вапном або відходами виробництва та фізико-хімічній сорбції цеолітами (рис. 19).

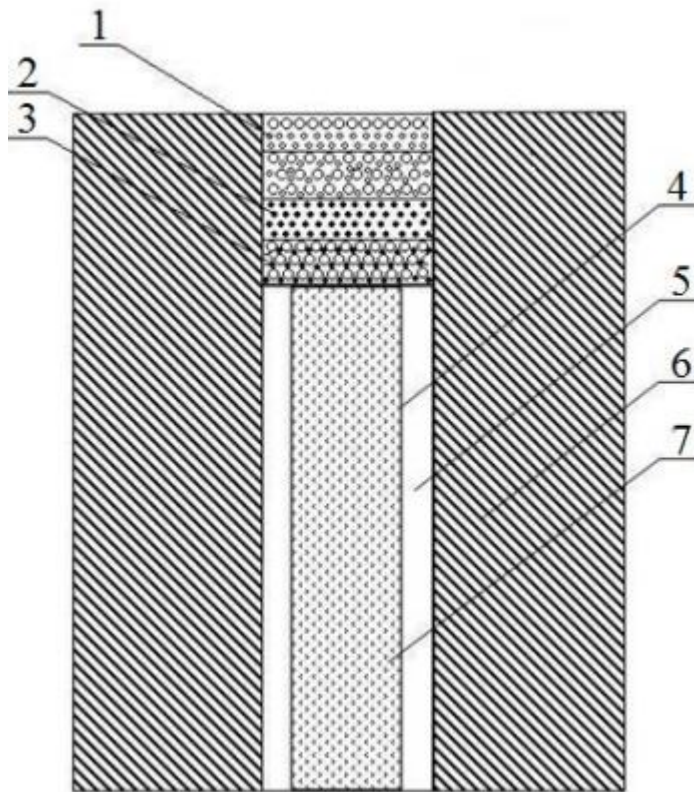


Рисунок 19 – Конструкція заряду (1 – цеоліт; 2 – негашене вапно; 3 – щебінь фракції 5–25 мм; 4 – поліетиленовий рукав; 5 – проміжок між зарядом та стінкою свердловини; 6 – гірська порода; 7 – вибухова речовина)

Ефективність використання такої конструкції заряду обрхована на прикладі діючого підприємства, хоча й не опробувана практично. Ефективність даної конструкції базується на зменшенні виплат підприємства за викиди шкідливих газів в атмосферу (екологічний податок).

В статті [8] наводиться опис конструкції свердловинного заряду з повітряними проміжками. Слід зазначити, що розробка такої конструкції має, в першу чергу, на меті не екологічні мотиви. Така конструкція:

- сприяє покращенню якості вибуху за рахунок більш рівномірного розподілу енергії вибуху, що дає змогу отримати більш рівномірне дроблення породи у порівнянні з суцільним зарядом;
- дозволяє зменшити сейсмічну дію вибуху та негативний вплив на споруди;
- знижує ризик виникнення негабаритів тощо.

Екологічна складова даного рішення полягає у зменшенні питомої витрати вибухової речовини, а відповідно – кількості отруйних газів, які утворюються під час вибуху (рис.20)

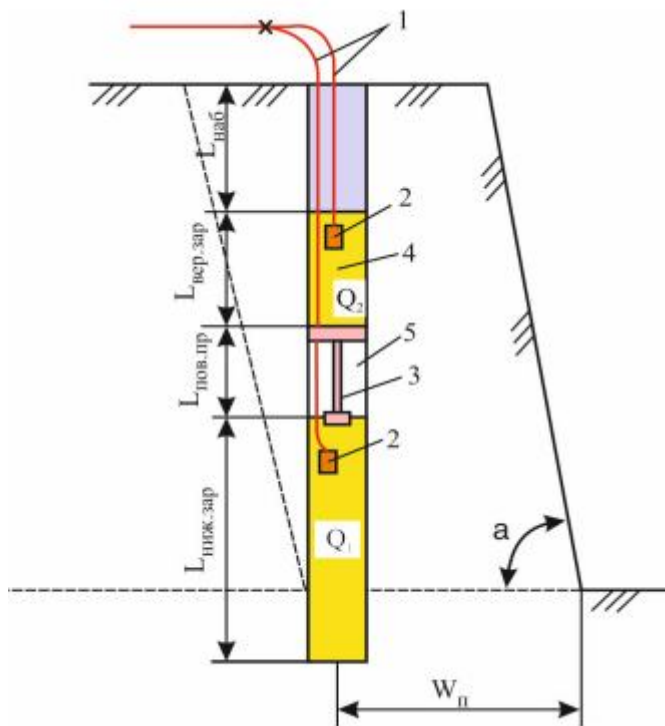


Рисунок 20 – Конструкція свердловинного заряду з повітряними проміжками: 1 – детонуючий шнур; 2 – бойовик; 3 – дерев’яна котушка; 4 – ВР; 5 – повітряний проміжок; $lv.z$ – довжина верхньої частини заряду; $lv.n$ – довжина повітряного проміжку; $ln.z$ – довжина нижньої частини заряду

Крім того, такі заряди дозволяють зменшити радіус дії пластичної деформації і, як результат – зменшити кількість пилу у навколишньому середовищі після проведення вибуху. Недоліком даної технології є складний процес механізації. До того ж існують обмеження застосування: висока тріщинуватість масиву та обводненість свердловин у блоці.

Схожу за принципом конструкцію заряду запропоновано та описано у монографії [10]. Автор вважають, що застосування розосереджених зарядів виправдано не тільки з технологічної, економічної, а й екологічної точки зору.

За рахунок повітряних порожнин такі заряди забезпечують зниження піку тиску та збільшення тривалості вибухового навантаження масиву гірських порід. Завдяки цьому досягається не тільки кращий гранулометричний склад підірваної гірської маси, а й менший вихід переподрібною фракції, яка сприяє утворенню пилогазової хмари.

2.3.Вибухові речовини з нульовим або близьким до нуля кисневим балансом

Вчені давно помітили, що безпосередньо вибухові речовини є джерелом шкідливих газів при підриванні. Так, відомий дослідник у питаннях вибуху М.Кук [11] пише, що при вибуху промислової ВР будь-якого типу на відкритій місцевості, в ґрунтах та гірських породах в різній кількості утворюються шкідливі гази, кількість яких залежить від хімічного складу ВР, його детонаційної здатності та інших факторів, які визначають повноту хімічних реакцій при їх вибуховому перетворенні. В свою чергу, повнота вибухового перетворення залежить від стабільності складу вибухової речовини.

В монографії [10] зазначають, що склад продуктів вибуху в значному ступені визначається кисневим балансом ВР. Якщо кисневий баланс додатній, то утворюються оксиди азоту, причому їхня кількість збільшується зі збільшенням надлишку кисню у складі ВР. Якщо кисневий баланс від'ємний при вибуху в основному утворюється чадний газ, чим менше кисневий баланс, тим більше чадного газу утворюється.

Дослідження сумішей АС-ДТ із додатнім кисневим балансом +7%, нульовим та від'ємним кисневим балансом -7% показали, що суміші з нульовим кисневим балансом дали результат у середньому 22 л/кг СО та 6 л/кг NO₂. При кисневому балансі вибухової речовини +7% обсяг NO₂ збільшувався більш ніж 2 рази [19]. Також вчені зробили висновки про те, що NO₂ є найнебезпечнішим компонентом продуктів вибуху, оскільки викиди NO₂ не зникають навіть за кисневого балансу -7%.

У статті [2] наводяться дані щодо максимальних викидів токсичних газів під час вибухових робіт в залежності від типу вибухової речовини (рис.21).

Аналіз графіка дозволяє зробити висновок про те, що найбільше шкідливих газів виділяється при підриванні грамоніту 79/21 та Анеміксу.

Грамоніт 79/21 є тротилвмісною ВР, яка декілька останніми роками майже не використовується при виконанні масових вибухів в кар'єрах.



Рисунок 21 – Максимальний обсяг токсичних газів під час підривання вибухових речовин за нормальних умов

Відомо, що тротил - високотоксична речовина, яка завдає значної шкоди навколишньому середовищу та спричиняє численні захворювання в людини. Використання неводостійких тротилових ВР є причиною забруднення водоносних горизонтів нітратами, а під час масових вибухів в кар'єрах – до утворення продуктів з високою газовою та дисперсною токсичністю в обсягах, які часто набагато перевищують гранично допустимі концентрації [3]. Емоніт, Україніт та Анемікс мають від'ємний кисневий баланс -0,3; -0,5 та -1,95 відповідно. Як зазначалось вище, чим менший кисневий баланс, тим більше чадного газу утворюється.

Саме тому одним з найперспективніших способів зменшення шкідливого впливу на атмосферу під час вибухів є зміна хімічного складу ВР, а саме використання безтротилітових компонентів, емульсійних вибухових речовин з близьким до нуля кисневим балансом. Це дозволить знизити вміст

шкідливих речовин у продуктах вибуху і їх викиди у навколишнє середовище [2].

Щоб оцінити результативність такого технологічного підходу, наведемо дані з монографії [10], в які вказується, що застосування ВР з нульовим кисневим балансом сприяє зменшенню у 2-9 разів кількості утворюваних отруйних газів в залежності від інших гірничо-геологічних умов (описані у 1 розділі).

У монографії [6] автори зазначають, що до 2000-2010-х років на кар'єрах України здебільшого застосовувалися гранульовані суміші ВР наступних типів: грануліти, грамоніти, гранулотолі, алюмотол. Більшість з цих ВР є тротилвмісними і мають від'ємний кисневий баланс, що було причиною надмірного виділення окису вуглецю (СО) та твердого вуглецю (сажі) під час вибуху. Поступово в усьому світі на вимогу екологічного законодавства виробництво тротилвмісних ВР та їх використання поступово обмежувалось та заборонялось, оскільки тротил належить до небезпечних речовин, що викликає в організмі людини низку небезпечних захворювань. В зв'язку з цим гірничодобувні підприємства України почали переходити на використання вітчизняних наливних емульсійних ВР марки "Україніт" (ПП-1 та ПП-2, зараз є інші модифікації). Крім цього, застосовується імпортна емульсійна ВР – Анемікс. Практикою застосування цих вибухових речовин зафіксовано зниження більш ніж у 2 рази утворення шкідливих газів та пилу, а також зниження виходу нітратів у пластові води [6].

Порівнюючи показники Україніта ПП-1 та Анемікса [6], можна констатувати, що кількість шкідливих газів у перерахунку на СО, $\text{дм}^3/\text{кг}$ ВР у випадку застосування Україніту складає 21,5, Анеміксу – 76; об'єм газів вибуху л/кг для Україніту 720-750, для Анеміксу – 1007.

Автори доповіді [16] основними перевагами безтротилвих емульсійних ВР вбачають те, що їх компоненти до змішування не відносяться до вибухових матеріалів і є безпечними. Вибухові властивості набуваються компонентами тільки після їхнього змішування безпосередньо в

свердловині, через нетривалий час. Якщо в зруйнованій породі залишається деяка частина непідірваної ВР, то, внаслідок деструктивних процесів, її вибухові властивості протягом нетривалого часу нейтралізуються. Автори відзначають, що мінімальне виділення токсичних газів під час використання емульсійних ВР спостерігається лише за умови їхнього збалансованого складу. Наприклад, для того, щоб виключити утворення оксидів азоту та мінімізувати вміст СО у складі продуктів вибуху кисневий баланс ВР має бути в межах від -0,2 до -2,0%. Це факт суперечить необхідності високої енергетичної ефективності ВР, для підвищення якої у ВР вводять алюмінієву пудру, піроксиліновий або балістичний порох, ANFO. Але найголовніше є те, що застосування емульсійних вибухових речовин з близьким до 0 кисневим балансом, дає можливість суттєво зменшити екологічну шкоду, яка завдається довіллю внаслідок виділення токсичних газів під час вибухових робіт. В даний час в Україні виготовляються та застосовуються різні види таких ВР: марки «Україніт» та «Емоніт», «Анемікс», "СРА".

Проте існують і інші думки. У роботі [7] наводиться думка негативного характеру щодо застосування емульсійних вибухових речовин з близьким до нуля кисневим балансом. Автори статті вважають, що їх застосування не вирішує екологічних проблем відкритої розробки. Недоліками застосування таких ВР вважають:

1. Емульсійні ВР під час заряджання свердловин внаслідок тиску до 6 атм. нагнітаються у тріщини стінок свердловини, які згодом розчиняються та забруднюють підземні води.
2. Розчинення аміачної селітри та флегматизація заряду призводить до порушення складу ВР, зміни кисневого балансу, що призводить до значного збільшення об'ємів шкідливих газів при вибуху.

В якості альтернативного рішення наводять такі дані: обсяги застосування емульсійних ВР в Україні в 5 разів більше, ніж в США. Решта вибухових речовин, які там застосовуються – це екологічно чистіші ВР типу AN-FO. Аналоги таких ВР в Україні – це ігданіти, грануліти. До того ж їхня

вартість приблизно у 5 разів дешевша, ніж у емульсійних ВР, проте також є свої нюанси застосування.

2.4. Підривання високих уступів та у стисненому середовищі

Такий технологічний прийом застосовується рідко, хоча він є доволі ефективним.

Сутність підривання звичайних та високих уступів у стисненому середовищі полягає у відсутності вільної площини, на якій під час вибуху утворюється значна кількість пилу не тільки в момент вибуху, а й під час падіння підірваної гірської маси. При підриванні в стисненому середовищі значно скорочується об'єм пилогазової хмари.

Дослідженнями НДІБПГ [10] встановлено, що при ширині буферного гару з раніше підірваної гірської маси не менше 20-30 м викид пилогазової хмари скорочується, а концентрація СО на нижній відмітці підірваного уступу досягає допустимого рівня за 2-3 години, причому незалежно від кількості ВР, що підривалась (рис.22).

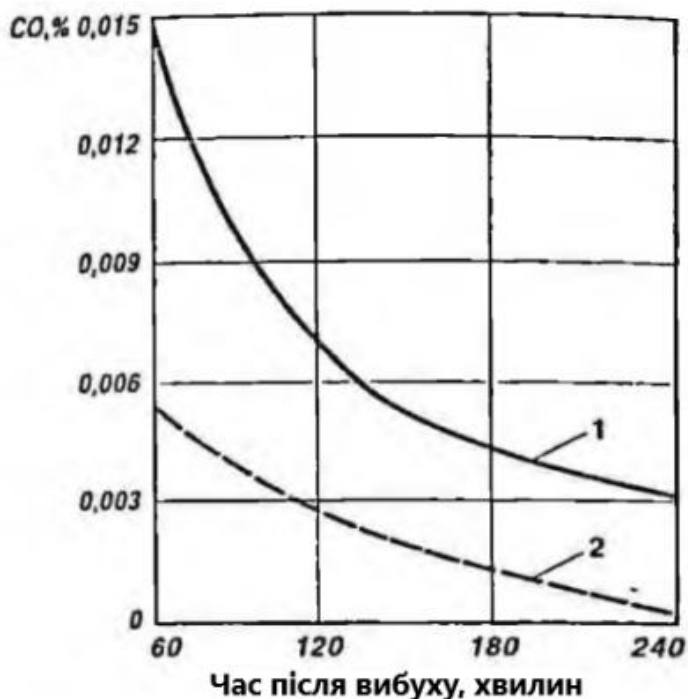


Рисунок 22 – Зміна концентрації СО на нижній позначці розвалу гірської маси: 1 – вибух на неприбрану гірську масу; 2 – те ж при ширині буферного шару 30 м.

Підривання високих уступів у затисненому середовищі, на думку авторів [10, 13, 6, 18, 22] є з екологічної точки зору одним з найефективніших технологічних прийомів (рис.23,24)

В якості підтвердження у [22] наводяться дані промислових випробувань, які встановили, що концентрація пилу в пилогазовій хмарі у випадку застосування уступів висотою 10 м становила 3300 мг/м^3 , а концентрація пилу в хмарі при підриванні уступів висотою 24 м знизилася вдвічі. При цьому, висота пилогазової хмари при підриванні високих уступів менша в 1,25-1,5 рази, порівняно із уступами висотою 10-15 м.

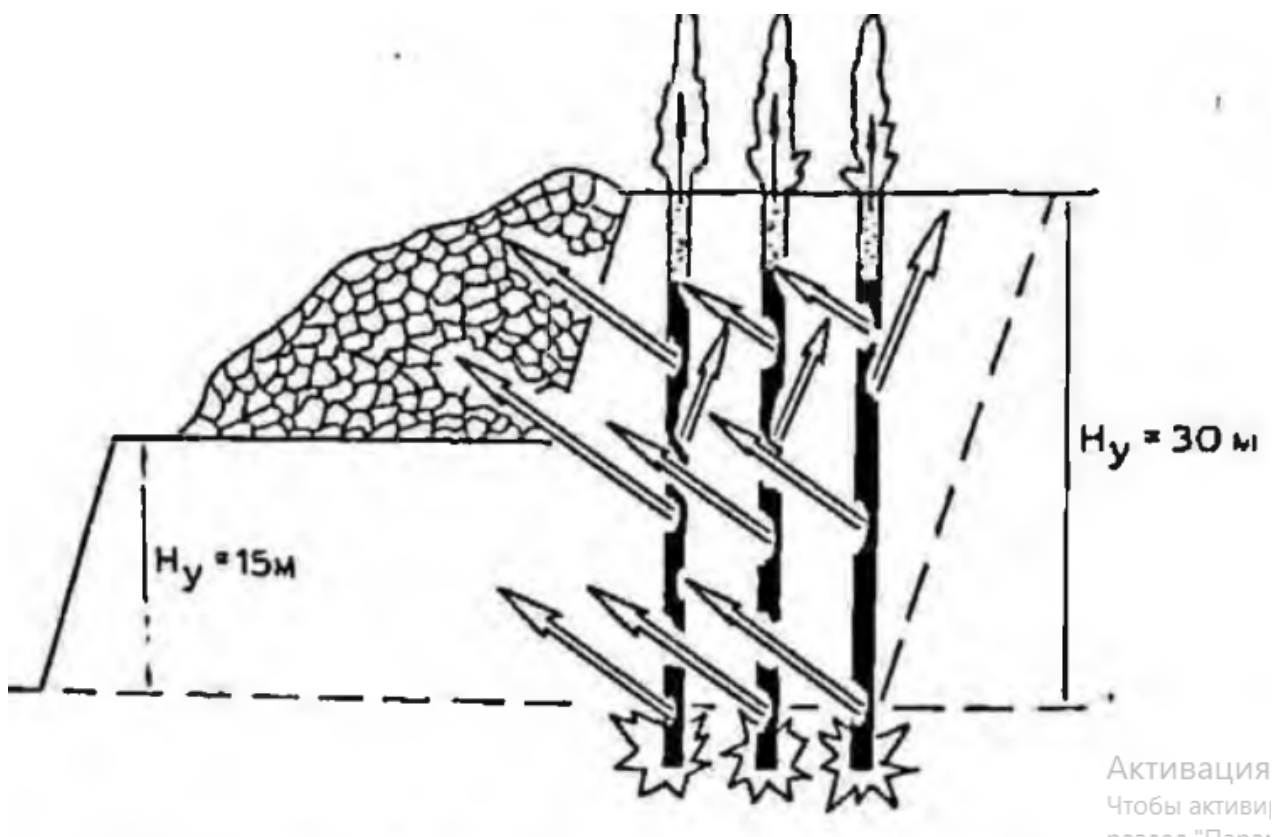


Рисунок 23 – Схема розвитку пилогазової хмари при підриванні високих уступів

Теоретичний опис технології підривання у затисненому середовищі та лабораторні дослідження є у монографії [10]. Моделювались ситуації з різною висотою уступу, з наявністю затиснутого середовища і без нього.

Експериментами було встановлено, що питома концентрація пилу на 1 кг дробленої гірської породи зі збільшенням висоти уступу знижується.

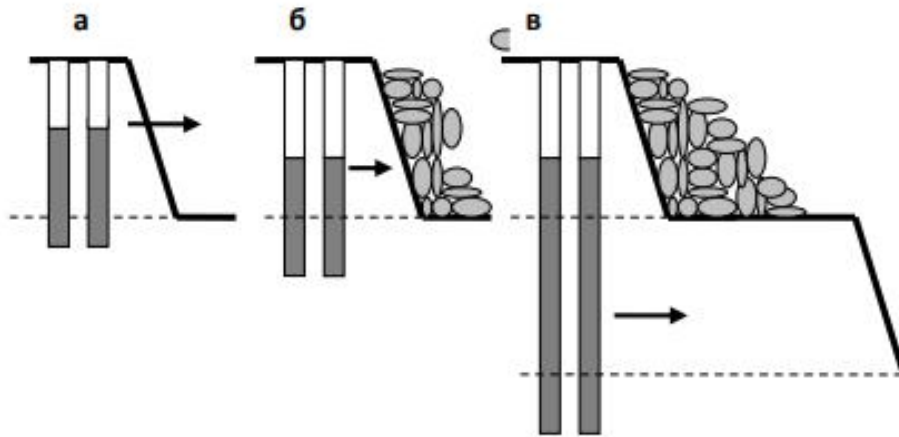


Рисунок 24 – Вибух у стисненому середовищі: а - стискання досягається завдяки схемам з'єднання зарядів; б – за наявності підпірної стінки; в – навал підірваної маси

При цьому слід зазначити, що при підриванні на вільну поверхню та в стисненому середовищі концентрація пилу зі збільшенням висоти уступу зменшилась відповідно на 18,9 та 20,2%, тобто наявність підпірної стінки дає змогу зменшити викиди пилу на 7% (рис.25).

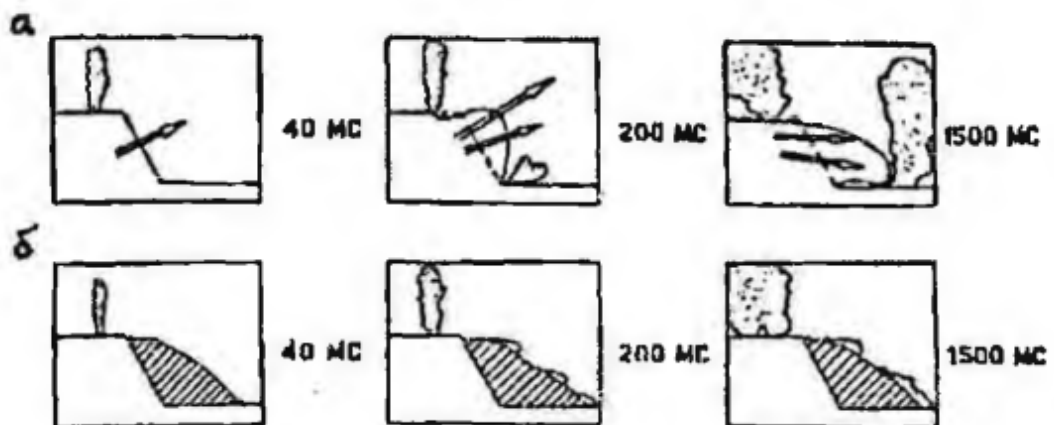


Рисунок 25 – Формування пило газової хмари при підриванні на вільну площину (а) та стисненому середовищі (б)

Також були проведені дослідження щодо кількості пилу і газів, які пробиваються крізь забивку та породи при використанні підпірної стінки та без неї. Результати були отримані наступні: при підриванні з підпірною стінкою крізь забивку проривається 12% газоподібних продуктів детонації, крізь матеріал стінки – 17% продуктів. За умов підривання на вільну поверхню 14% та 27% відповідно. Таким чином за результатами експериментів можна зробити висновок, що технологія підривання у затисненому середовищі дає змогу знизити викиди газоподібних продуктів детонації на 10-12% [10].

На жаль, дана технологія не знайшла масового поширення через відсутність відповідної бурової та навантажувальної техніки.

2.5. Застосування зменшеного діаметра вибухових свердловин

Традиційно на кар'єрах України застосовуються свердловинні заряди діаметром від 100 до 340 мм, що обумовлено міцністю порід за шкалою М,М.Протодьяконова, вимогами до кускуватості дроблених порід тощо.

Діаметр заряду є основним інструментом науковців та практиків у питанні регулювання якості дроблення, цьому питанню присвячені численні наукові праці, що красномовно свідчать про тісний зв'язок між ними.

Практикою буро вибухових робіт Німеччини [10] доведено, що підривання свердловинних зарядів діаметром 60-115 мм є засобом зниження сейсмічного ефекту від вибуху та пиловиділення, хоча й призводить до здорожчання собівартості буровибухових робіт. В США доля свердловин діаметром 85-160 мм складає більше половини (близько 55%) від усіх вибурених та підірваних свердловин.

Близько 30 років тому в Кривбасі були проведені ґрунтовні дослідження щодо впливу діаметра свердловини на пиловиділення під час вибуху за участі проф. Бересневича П. Досліди проводились на залізистих кварцитах міцністю 14-16. Заряди формувались у свердловинах діаметром 105, 220, 250 та 320 мм. Глибина свердловин при цьому була відповідно

6;16,5;17 та 18 м. Вибухові речовини застосовувались однакові. На рисунку 26 наводяться криві підйому пило газової хмари.

Аналіз графіків дає змогу встановити, що висота підйому хмари при діаметрі заряду 105 мм становила 10,6 м, при діаметрі заряду 220 мм – 63,7 м, при діаметрі заряду 250 мм – 87,5 м, при діаметрі заряду 320 мм – 114,5 м.

Особливо великий розрив (майже в 6 разів) ми бачимо при збільшенні діаметра заряду з 105 мм до 220 м, далі збільшення висоти пилогазової хмари не таке різке. Слід зазначити, що основним розміром діаметру свердловин, які застосовуються на кар'єрах Кривбасу є 250 мм.

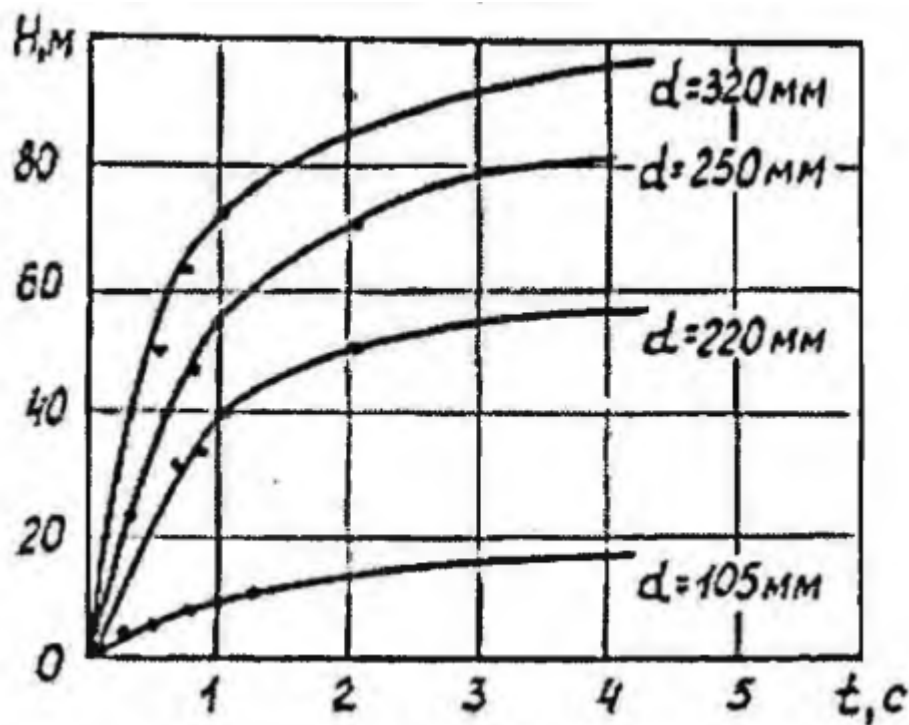


Рисунок 26 – Залежність висоти підйому пилогазової хмари від діаметра заряду ВР

Отже, дослідження показали, що при інших рівних умовах діаметр заряду ВР суттєво впливає на висоту підйому продуктів детонації, а відповідно й на відстань їхнього переносу і, до речі, в меншому ступені залежить від типу ВР, що застосовується. При збільшенні діаметра з 105 мм до 320 мм загальний об'єм газів вибуху зростає у 80! Разів, а середня

швидкість їхнього вильоту у 5,8 разів, що є визначальним фактором забруднення довкілля.

3. ПРАКТИКА ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИБУХОВИХ РОБІТ, ЩО ЗМЕНШУЮТЬ НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ

Звіт Криворізької міської ради та її виконавчого комітету [5] містить дані про зменшення викидів в атмосферу підприємствами гірничо-видобувними підприємствами на понад 3,9 тис. т забруднюючих речовин тільки за 2023 рік. У звіті зазначається, що зменшення стало можливим за рахунок застосування підприємствами неелектричних систем ініціювання, зовнішньої та внутрішньої гідрозабивки з використанням гуматового реагенту, використання безтритилових вибухових речовин, на блоках, які підриваються.

Процес переходу підприємств на роботу з ВР з нульовим кисневим балансом розпочався вже дано і триває зараз. Свого часу на підприємстві ПівнГЗК вибухові роботи проводились із застосуванням грануло толу, який було заміщено на грамоніт 79/21 (яка зараз рідко застосовується), що дало змогу зменшити кількість утворюваних газів у 2-12 разів в залежності від інших умов. Тобто ще 30 років тому розпочались пошуки рішень застосування ВР з кисневим балансом близьким до нульового. На щастя, сьогодні вже є такі ВР, які активно застосовуються, хоча повністю виключити викиди СО та інших продуктів розпаду вибухівки, на жаль, ще не вдається.

У п.2.3 описували негативні сторони застосування емульсійних вибухових речовин та зазначали, що у США застосовуються більш екологічно чисті ВР типу AN-FO, які мають свої аналоги в Україні. Застосування таких ВР обмежено в обводнених свердловинах, тому виникає необхідність розробляти заходи їх зневоднення в промислових умовах. Такі заходи описані в статті [7] та проведені опробування. Дослідження вибухового зневоднення обводнених свердловин в умовах Інгулецького ГЗК та на Кальчикському і Ждановському кар'єрах Докучаєвського ФДК дали змогу зневоднити 1787 свердловин та замінити 329, 6 т гранулотолу на

екологічно чистіший ігданіт Це дало змогу зменшити викиди токсичних речовин (у перерахунку на CO) під час виконання масових вибухів на 26,37 млн т.

У статті [23] описано досвід застосування гідрозабивок на Нерюнгрінському кар'єрі (рис.27). Застосування при вибухових роботах отримала зовнішня гідрозабивка. Витрата води становить 0,4-0,5 м³ на кожну свердловину, визначається з умови її питомої витрати, яка дорівнює 1-1,5 дм³ на 1 м³ гірської маси, що підривається.

Були опробувані внутрішні гідрозабивки, які мають підвищений ефект при використанні додаткового запираючого заряду дроблення, який складає 20-30 кг ВР. Для цього використовується частина основного заряду, яка підривається через 7-10 секунд після запираючого. Витрати води на внутрішню гід розбивку становили 50-70 дм³ на кожну свердловину.

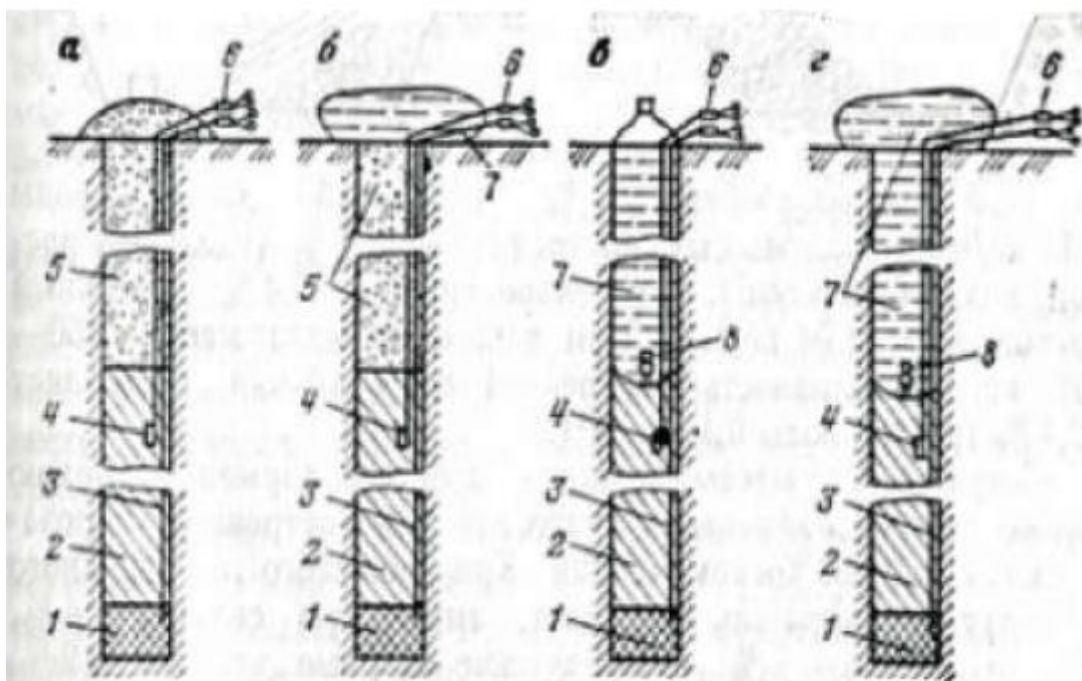


Рисунок 27 – Конструкції гідрозабивки свердловин: а-піщано-глиниста; б – зовнішня, в –внутрішня, г – комбінована; 1 – оживитель, 2 – заряд ВР, 3 – ДШ, 4 – патрон-бойовик, 5 – інертна забивка, 6 – КЗ ДШ, 7 – водяна забивка, 8 – компенсатор.

Були отримані наступні результати: ефективність знепилення за допомогою зовнішньої гідрозабивки 53%, внутрішньої 84,7%, комбінованої

89,4%. Також було опробувань використання гідрогелю для внутрішньої гідрозабивки. Гідрогель складається з 4% аміачної селітри, 8% рідкого скла, 2% синтетичних жирних кислот, 86% води. Для виготовлення гідро гелю застосовувалась спеціальна установка. Ефективність використання гідрогелевої забивки склала 34-54% в залежності від її висоти.

У статті [17] описано досвід застосування гідрогелевої забивки на кар'єрі «Ферганацемент» в Узбекистані. Доцільність її застосування обумовлена необхідністю скорочення виходу негабаритів, викидів пилу у навколишнє середовище, скороченням витрати ВР, скороченням часу простоїв гірничотранспортного устаткування тощо. Підривали по чергово два блоки зі звичайною та гідрогелієвою забивкою (рис.28.)

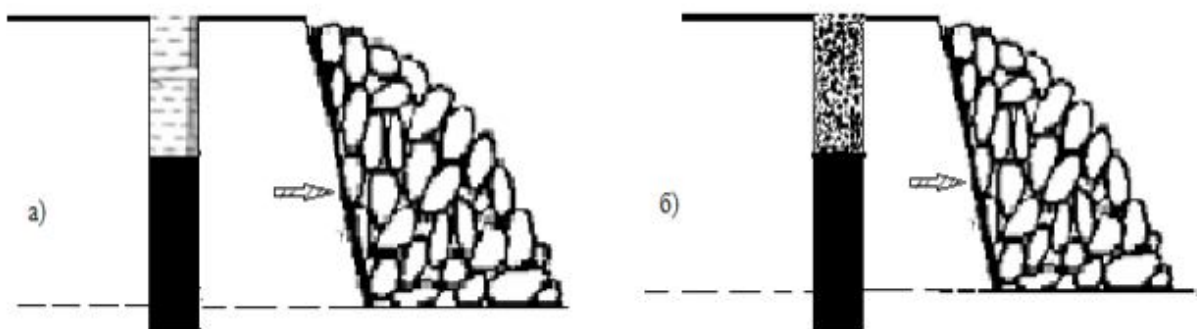


Рисунок 28 – а) гідрогелієва забивка; б) забивка з буровою дрібницею

Результати проведених експериментів дали наступні результати: відбулося скорочення питомої витрати вибухових речовин на 20%; діаметр свердловини вдалося зменшити з 110 мм до 90 мм при збільшенні сітки свердловин з 3x3 до 3,5x3,5. В результаті взаємодії силових ліній поширення ударної хвилі з поверхнею гідрогелю поширення енергії вибуху уверх значно зменшується. Застосування гідрогелевої набійки дозволяє вирішити низку питань при веденні буропідривних робіт на відкритих гірничих роботах: зменшується питома витрата ВР; зменшується викид пилу; скорочується вихід негабаритів.

В статті [26] наводять результати проведення вибухів при використанні піногелевих забивок. В результаті проведених експериментів встановлено, що висота підйому пилогазової хмари при твердій забивці досягає 70–100 м, що в 1,7–2,0 рази більше, порівняно з піногелевою. Розмір питомої маси пилу, що осів у межах 50 м від вибуху при піногелевій набійці становить понад 94 % всього дрібнодисперсного пилу (< 250 мкм), а при твердій забивці ця відстань досягає 90 м. Конструкції свердловин зі звичайною та піногелевою забивкою представлені на рис.29.

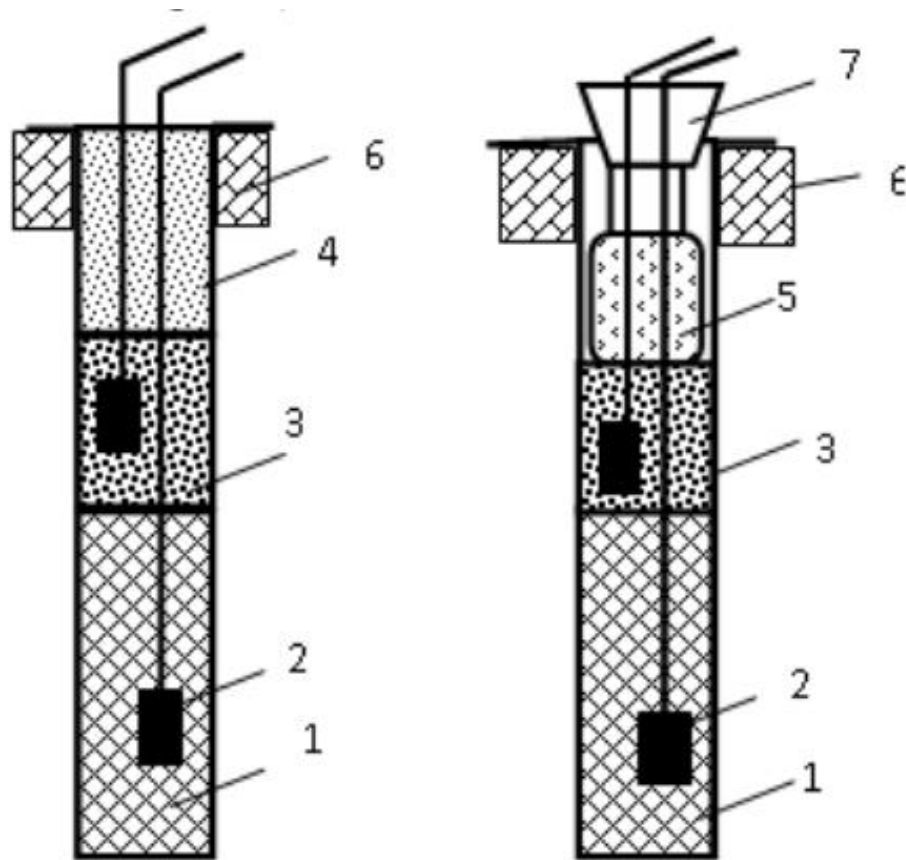


Рисунок 29 – Конструкції свердловинних зарядів: а – з буровою дрібницею; б – з піногелевою забивкою; 1 – заряд емуліту ППВ-В; 2 – шашка; 3 – заряд грануліту ПС-2; 4 - бурова дрібниця; 5 – піногель у рукаві; 6 – зона інтенсивної тріщинуватості масиву; 7 – воронка з рукавом

Автори статті [35] наводять дані щодо практики застосування комбінованої гідрозабивки на кар'єрах Центрального Казахстану. Конструкція заряду за такою забивкою представлена на рис.30.

Застосування таких гідрозабивок дозволило скоротити кількість пилю в пилогазовій хмарі на 80 % та зменшити кількість оксидів азоту в 1,5–2 рази поряд з підвищенням якості вибухового дроблення породи.

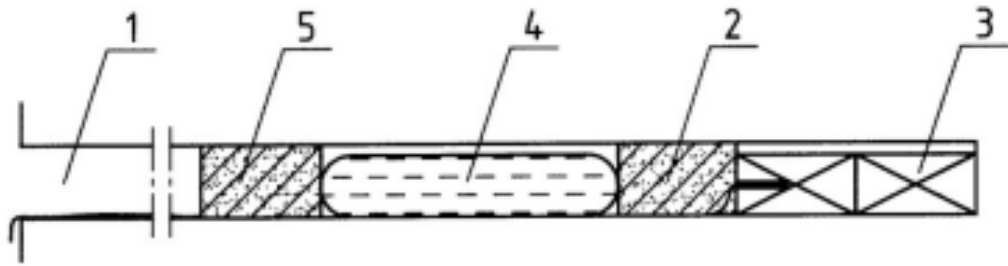


Рисунок 30 – Схема конструкції гідрозабивки вибухової свердловини: 1 – забивка шпура, 2 – дод. пиж, 3 – заряд вибухової речовини, 4 – водонаповнена ампула, 5 - замикаючий пиж

В роботах [31, 33] представлені результати опробування активної запираючої забивки, яка дозволяє зменшити максимальну висоту підйому пилогазового потоку в часі приблизно в 1,5 рази, порівняно з вибухом зарядів при звичайній забивці (рис.31).

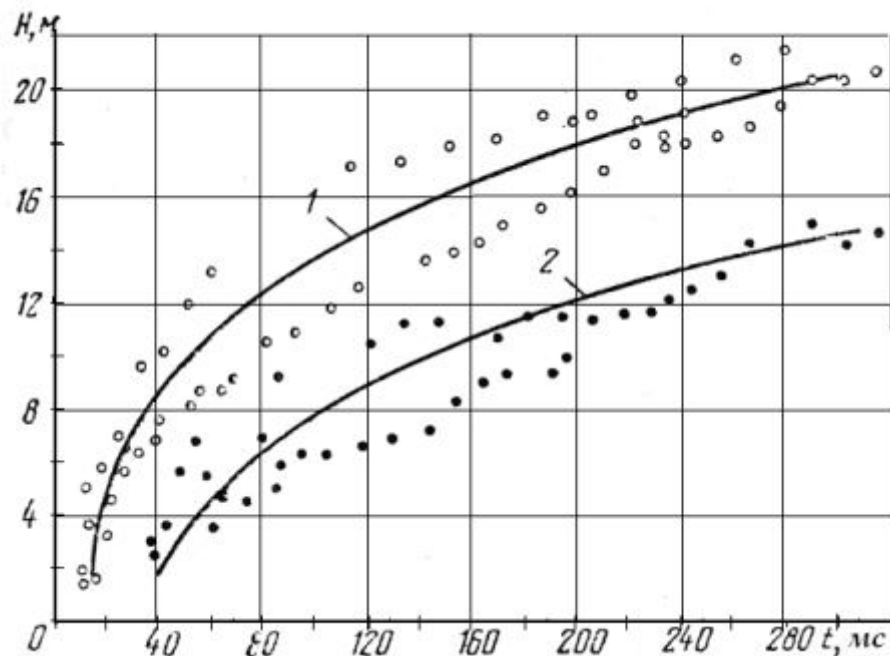


Рисунок 31 – Зміна висоти підйому газів вибуху з гирла свердловин у часі: 1 - при зарядах із звичайною забивкою з бурового шлему; 2 – при зарядах з активною забивкою

В роботі [27] запропоновано та апробовано конструкцію свердловинного заряду з використанням «Рукава зарядного універсального» (РЗУ). Особливістю застосування даного пристрою є можливість формування свердловинного заряду вибухової речовини, діаметром заряду менше діаметра вибуреної свердловини.

Таким чином, при використанні РЗУ створюється кільцевий повітряно-водний проміжок між зарядом вибухової речовини в рукаві і стінками свердловини. Не витрачається енергія вибуху на переподрібнення гірничої маси в ближній від заряду частини (до 8 діаметрів свердловини), збільшується коефіцієнт корисної дії вибуху (рис.32).



Рисунок 32 – Рукав зарядний універсальний: а - РЗУ в свердловині; б - схема (1 - зарядна частина, 2 – забійкова частина, 3 – клапан, що закривається)

Крім цього, враховуючи, що діаметр забійної частини більше діаметра зарядної частини, збільшується опір забійного матеріалу поширенню енергії вибуху, що також підвищує коефіцієнт корисної дії вибуху. Протягом двох років проводились експериментальні вибухи, випробування даного пристрою та отримана експертиза промислової безпеки, згідно з якою застосування конструкції заряду з використанням РЗУ дозволяє зменшити масу заряду свердловин, масу вибухових речовин на вибуховому блоці, не зменшуючи обсяг підірваної гірничої маси; знизити питому витрату вибухових речовин до 28%. Це позитивним чином позначається на кількості отруйних газів, які потрапляють в атмосферу після масового вибуху.

Результати використання гідрозабивки при масових вибухах на кар'єрах Кривбасу за даними восьми експериментальних вибухів представлені в таблиці 2 [31].

Гідрозабивку було опробовано на експериментальних ділянках блоку (Е) та результати порівняли з контрольними ділянками (К). На експериментальних ділянках було використано гідрозабивку з різною питомою витратою води в залежності від типу порід, які підривались (Г). На контрольних ділянках використовувалась засипна забивка (З). Питома витрата ВР була на контрольній та експериментальній ділянці однакова та залежала від міцності порід.

Таблиця 2

Показники експериментальних вибухів з використанням гідрозабивки

Тип та міцність порід	Ділянка блоку	Об'єм підірвані гірської маси, тис.м.куб	Питома витрата ВР, кг/м.куб	Тип забивки	Середня концентрація пилу в хмарі, мг/м.куб	Питома витрата води, л/кг	Ефективність пилопридушення, %
Магнетито-гематитові f=10-12	К	29	0,59	З	1570	-	-
	Е	42		Г	675	0,67	52-64
Талькові сланці f=6-8	К	22	0,47	З	183	-	-
	Е	79		Г	121	0,36	32-33
Сланці f=6-8	К	142	0,71	З	198	0,37	-
	Е	61		Г	126		35
Магнетито-силікатні кварцити f=10-14	К	39,8	0,5-0,8	З	1160	0,54	-
	Е	32		Г	520		52-55

Використання гідрозабивки показало високі результати ефективності пилопридушення при підриванні порід міцністю від 10 до 14, хоча при цьому питома витрата води була більшою.

Схожі результати використання гідрозабивок на кар'єрі НКГЗК та «Північний» у Кривбасі описані у роботі [32]. Ефективність пилопридушення при масових вибухах визначалася шляхом порівняння концентрації пилу в

пилогазовій хмарі при вибухах блоків однакових порід із застосуванням гідрозабивки і без неї, тобто з забивкою з відсіву дробильно-сортувальної фабрики. Ефективність пилопридушення при масових вибухах на кар'єрі «Північний» склала: з використанням комбінованої гідрозабивки 89,4 %, внутрішньої 84,7 %, та зовнішньої 53,1 %. Питома витрата води становила відповідно 1,38, 0,79 та 1,04 кг/м³ при вибухах свердловинних зарядів масою 126-294 кг. При вибухах на кар'єрі НКГЗК з внутрішньою гідрозабивкою свердловин ефективність пилопридушення склала 50,4% при вибуху свердловинних зарядів масою 450-620 кг з питомою витратою води 0,46 кг/м³. Автор статті зазначає, що ефективність пилопридушення зростає при збільшенні питомої витрати води та зменшенні маси свердловинного заряду.

В статті [18] наводиться цілий комплекс технологічних та організаційних прийомів й заходів, які ефективно та комплексно застосовуються на кар'єрах Центрального Казахстану. Комплексне їх застосування дає гарний ефект. Авторки статті також наводять результати застосування таких технологій:

1. Підривання високих уступів (від 30 м і більше), що сприяє зменшенню в 1,25 рази висоти пилогазової хмари і зменшенню утворення оксидів азоту.
2. Попереднє зволоження масиву через короткі та довгі свердловини.
3. Заміна тротилу у ВР на вибухові речовини (ВР) з нульовим або близьким до нього кисневим балансом (грамоніт 79/21, ігданіт та ін.), що сприяє зменшенню (до 2-9 разів) кількості шкідливих газів, що утворюються, при вибухах у будь-яких гірничотехнічних умовах.
4. Підривання на неприбрану гірську масу, тобто на підпірну стінку з раніше зруйнованої гірничої маси. Ширина підпорної стінки має бути не менше 20 м. При ширині підпорної стінкою 20-30 м різко скорочується або взагалі не утворюється вторинна пилогазова хмара (з боку розвалу), скорочується час зниження концентрації СО до гранично допустимого рівня.

5. Використання як ВР в обводнених свердловинах грамоніту 79/21 з попереднім відкачуванням води або застосуванням спеціальних загусників, що сприяє зменшенню кількості шкідливих газів, що утворюються.
6. Застосування гідрогелю для внутрішньої гідрозабивки свердловин. Ефективність такої забивки при її висоті 2-4 м сягає 34-54%. Застосування снігово-крижаної забивки, яка включає зарядку неактивної частини свердловини із залишенням 1 м для інертної забивка. Верхня частина свердловини заливається водою з розрахунку 20 л при температурі повітря $-4-8$ °С. Забивка у верхній частині замерзає і примерзає до стінок свердловини. Пиловиділення при підриванні свердловин з такою забивкою скорочується в 5-6 разів.
7. Перенесення часу вибуху на період максимальної вітрової активності, що сприяє скороченню часу провітрювання кар'єрів на 15-20% [18].

В монографії [10] описані результати впровадження у виробництво масових вибухів конструкції свердловини з повітряними проміжками на Кальмакирському мідно-рудному кар'єрі (рис.33).

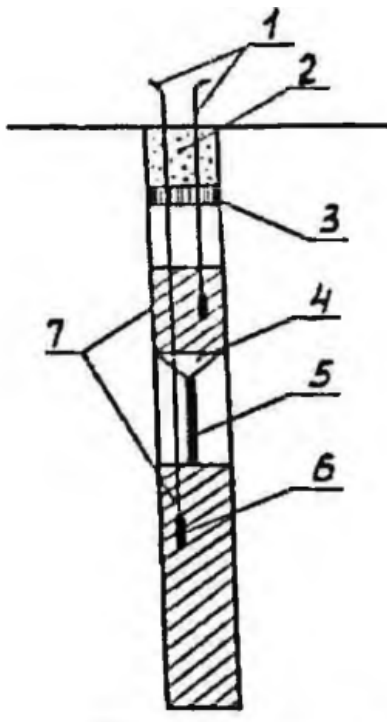


Рисунок 33 – Конструкція свердловинного заряду з повітряними проміжками: 1 – детонуючий шнур; 2 – забивка; 3 – пробка; 4,5 – деталі пристрою для формування повітряного проміжку; 6 – бойовик; 7 – заряд ВР

Свердловини діаметром 250 мм розосереджували інертними проміжками з повітря або бурового шламу. На основі аналізу результатів було встановлено, що у порівнянні із суцільною конструкцією заряду істотно зменшилась початкпочаткова швидкістьту продуктів детонації, а висота викиду становила не більше 80 м. Як наслідок, в декілька разів зменшився питомий об'єм газів та пилу в атмосфері кар'єру.

ВИСНОВКИ ДО РОБОТИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО НАПРЯМКІВ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз науково-технічної літератури за темою магістерської роботи дозволяє зробити наступні **висновки**:

1. За останнє десятиліття досягнення у галузі вибухових технологій дозволили **значно зменшити ступінь негативного впливу** техногенних факторів на об'єкти навколишнього природного середовища, в першу чергу за рахунок оптимізації характеристик ВР, конструкцій свердловин, параметрів та умов проведення масових вибухів, що враховують особливості гірничо-геологічних умов родовищ.
2. Аналіз відомих технологічних способів та методів зменшення шкідливих наслідків масових вибухів показують, що, незважаючи на досить великий прогрес у вирішенні цього питання та ніявність значної кількості технологічних рішень у цьому напрямку, на сьогоднішній день **не існує високоефективних методів та засобів боротьби** з негативними наслідками промислових вибухів.
3. Важливим технологічним заходом, спрямованим на зменшення викидів отруйних газів в атмосферу є **застосування вибухових речовин з нульовим кисневим балансом**. Слід відзначити позитивний досвід у цьому напрямку підприємств України, зокрема м.Кривого Рогу. Заміна тротилвмісних ВР та ВР з від'ємним чи додатнім кисневим балансом на емульсійні вибухові речовини з нульовим кисневим балансом дає гарні результати.
4. Не менш результативними технологічними рішеннями є **застосування спеціальних конструкцій зарядів ВР та забивок**, які, в залежності від конкретних гірничо-геологічних умов родовища, знизити викиди пилу та отруйних газів в декілька разів.
5. Дослідженнями українським та закордонних вчених встановлено, що **діаметр заряду ВР** на пряму впливає на об'єми пилогазових хмар, що

утворюються під час вибуху. При збільшенні діаметра свердловини з 105 мм до 320 мм загальний об'єм газів вибуху зростає у кілька десятків разів, а середня швидкість їхнього вильоту у 5,8 разів, що є визначальним фактором забруднення довкілля.

6. Достатньо ефективним способом зниження негативного впливу вибуху є **підривання високих уступів та у стисненому середовищі**. Даний спосіб застосовується вкрай рідко через відсутність технічних та технологічних можливостей відпрацювання високих уступів, проте його ефективність висока (зниження висоти пилогазової хмари при підриванні високих уступів менша в 1,25-1,5 рази).

В якості **напрямків подальших досліджень** за результатами аналізу науково-технічної літератури вбачаємо роботу над наступними актуальними питаннями:

1. Розширення практики підривання гірських порід високими уступами та в затиснутому середовищі.
2. Обґрунтування екологічної ефективності застосування багаторядного короткосповільненого підривання.
3. Подальші дослідження щодо застосування раціональних конструкцій зарядів вибухових речовин та забивок.
4. Удосконалення рецептур вибухових речовин з метою зниження негативного впливу на довкілля при збереженні їхніх енергетичних властивостей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологія та безпека виконання підричних 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.
2. Тверда О. Я., Ткачук, К. К. Підвищення рівня екологічної безпеки під час вибухового руйнування скельних порід у кар'єрах / Технічна інженерія, 2020. - (1(85)), 235–241.
3. Розробка і впровадження емульсійних вибухових речовин на кар'єрах України / В.П. Купрін та ін. – Дніпропетровськ : ДВНЗ УДХТУ, 2012. – 243 с.
4. Гончаревський К.В. Методика розрахунку викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря при видобуванні корисних копалин (відкритий спосіб) / К.В.Гончаревський, В.В.Піковець, О.В.Муштаєв // Екологічні науки: науково-практичний журнал, 2013.- №4. – С.68-93.
5. https://kr.gov.ua/ua/news/pg/90224358768988_n/
6. Способи і засоби підвищення екологічної безпеки масових вибухів в залізорудних кар'єрах за пиловим чинником / В.Е. Колесник, А.А. Юрченко, А.А. Литвиненко, А.В. Павличенко – Дніпропетровськ: Літограф, 2014. – 112 с
7. Ісаєв С.Д. Технологічні та організаційні аспекти запобігання негативним наслідкам зміни клімату (на прикладі Донецько-Придніпровського регіону) // С.Д.Ісаєв, А.П.Пашков // Науковий вісник НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.14. – С.150-156.
8. Соколовський В.О. Інновації в конструкції свердловин при веденні масових вибухів / В.О. Соколовський, Ю.В.Шкабара, Д.О.Дубінчук, М.В.Качуровський // Технічна інженерія, № 1 (93) 2024. – С.428-434.

9. Технології виробництва вибухових речовин: курс лекцій / укладачі: М. Ф. Буллер, В. А. Роботько. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 211 с.
10. Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах / Э.И. Ефремов, П.П. Бересневич, В.Д. Петренко, В.П. Мартыненко, В.И. Борисов. - Днепропетровск: Січ, 1996. – 171 с.
11. Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах, М.: Недра, 1980.-453 с.
12. Ким Н.Х. Аэрология карьеров. Учеб. пособие: - Алматы: КазНТУ, 2004. - 185с.
13. Савицкий Е.В. Обоснование технологических параметров разработки глубоких железорудных карьеров высокими уступами // Автореферат канд. дисс. – М. – 1996. - 20 с.
14. Махмудов Д.Р. Применение гидрогелевой забойки на карьерах стройматериалов / Д.Р.Махмудов, И.А.Кудратов, Х.Б.Уралов // CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED SCIENCES, Volume: 03, 2022 . – p.57-60.
15. Ісаєв С. Д., Пашков А. П., Нападовська Л. А. Охорона навколишнього середовища під час вибухових робіт на кар'єрах в умовах економічної кризи // Безпека життєдіяльності. - К. : Основа, 2009. - № 8. - С. 24-27.
16. Экологическое обоснование возможности применения эмульсионных взрывчатых веществ марки "ЕРА" на горных предприятиях / Т. Ф. Холоденко, Е. Б. Устименко, А. Л. Кириченко, А. В. Павличенко // Форум гірників - 2016 : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 5 - 8 жовтня 2016 р. - Дніпро, 2016. - Т. 2. – С. 203-208.
17. Применение гидрогелевой забойки на карьерах стройматериалов (2022). Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science, 3(2), 57-60.
18. Малашкина В.А. Способы снижения пылевыведения при буровзрывных работах на карьерах в зимних климатических условиях Центрального

- Казахстана/ В.А. Малашкина, Е.А. Кравцова //Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2017. - № 5. С. 318–322.
19. Van Dolah R.W., N.E. Hanna, E. J. Murphy and G.H. Damon. Further Studies in ANFO compositions. Bulletin 98, University of Missouri school of mines and metallurgy, 1959. – 230 с.
20. Бовсунівський В.В. Аналіз факторів виробничого середовища, які негативно впливають на здоров'я працівників щебених кар'єрів / Геотехнології гірництва та промислова екологія. – С.150-151.
21. Тверда О.Я. Еколого-економічна ефективність ресурсозберігаючої конструкції заряду для вибухового руйнування скельних порід / О.Я. Тверда, М.В.Репін, К.К.Ткачук, О.Й.Радецька // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. - Том 30 (69) - Ч. 2.- № 2.- 2019. – С.64-67
22. Друкованый М.Ф., Ефремов Э.И., Новожилов М.Г., Терещенко А.А. Взрывание высоких уступов // – М.: Недра. – 1964. - 108 с.
23. Чемезов Е.Н. Борьба с пылью на открытых горных работах / Е.Н. Чемезов, Е.Г. Делец // Научно-технический журнал, 2017. – №1. – С.42-46.
24. Khomenko, O., Kononenko, M., and Myronova, I. “Blasting works technology to decrease an emission of harmful matters into the mine atmosphere”, Annual Scientific-Technical Colletion – Mining of Mineral Deposits, Leiden, The Netherlands: CRC Press / Balkema: 2013. – pp. 231-235.
25. Kholodenko T., Ustimenko Ye., Pidkamenna L. & Pavlychenko A. Ecological safety of emulsion explosives use at mining enterprises // Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. – The Netherlands: CRC Press / Balkema, 2014. – pp. 255–260
26. Катанов И.Б. Совершенствование конструкции скважинного заряда с пеногелевой забойкой / И.Б.Катанов, П.Скачилов // Вестник КГТУ, 2015. - № 5. – С.43-46.
27. Комащенко В.И. Разработка технологии взрывных работ, уменьшающей вредное воздействие на окружающую среду / В.И.Комащенко,

- Е.Д.Воробьёв, В.Г.Лукьянов // Известия ТПУ: Инжиниринг георесурсов, 2017. - Т. 328. - № 8. – С.33-40
- 28.Рыбак Л.В. Инновационные экологические и безопасные технологии ведения взрывных работ на предприятиях с открытой добычей угля холдинговой компании «СДС-уголь» / Л.В.Рыбак, В.И. Ефимов, Т.В. Корчагина, А.Н. Леонов // Известия ТулГУ. Науки о Земле, 2019. - Вып. 1. – С.30-42.
- 29.Методы ведения взрывных работ. Специальные взрывные работы: Учебное пособие / М.И. Ганапольский, В.Л. Барон, В.А. Белин, В.В. Пупков, В.И. Сивенков – М., 2007. – 563 с.
- 30.Насиров, У. Ф., & Очиллов, Ш. А. (2015). Анализ воздействие буровзрывных и выемочнопогрузочных работ на окружающую среду. In *Reproduce of the resources, low-waste and environmental technology exploitation of mineral resources* (pp. 273-274).
- 31.Забойка взрывных скважин на карьерах / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун. – Хабаровск, 2008. – 224 с.
- 32.Бересневич П. В. Пути сокращения пылевыведения при массовых взрывах в карьерах // Горный журнал. 1980. - № 8. - С. 54–56.
- 33.Сеинов Н. П. Об эффективности применения запирающей забойки // Взрывное дело № 71/28. М.: Недра, 1972. - С. 134–139.
- 34.Способ взрывания скважинных зарядов и механическое устройство для его осуществления: Патент РФ № 2291390 МПК7 F42D 1/08. F42D 5/00. 2004 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, Д. В. Левин, Г. В. Матушкин, 226 Т. И. Шевкун.
- 35.Кравцова Е.А. Минимизация пылевыведения при буровзрывных работах на карьерах с применением гидрозабойки скважин в Центральном Казахстане / Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – №12. Вип.36 -С. 23-25.

36. Болкисева Е.В. Газоопасность промышленных ВВ / Технология и безопасность взрывных работ: Материалы научно-производственного семинара по взрывным работам, 2016 г. – С.85-92.
37. Бересневич П. В. Микроклимат железорудных карьеров и нормализация их атмосферы / П.В.Бересневич, А.В.Ткаченко.– Л.: Гидрометеиздат, 1987.– 176 с.
38. Методы снижения выбросов пыли и газов при массовых взрывах на карьерах и шахтах / Н. М. Бондаренко, Э. И. Ефремов, П. В. Бересневичи др. // Горный журнал. — 1992. — № 10. — С. 44—49.