

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ТВЕРДА ОКСАНА ЯРОСЛАВІВНА**


УДК 504.3.054:504.062.2(043.5)

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**  
**ГІРНИЧОПРОМИСЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ З ВИРОБНИЦТВА**  
**ЩЕБЕНЮ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Галузь знань – технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.  О. Я. Тверда

Науковий консультант **Пляцук Леонід Дмитрович**, доктор технічних наук, професор

Суми – 2018

## АНОТАЦІЯ

**Тверда О. Я. Науково-теоретичні основи екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню західного регіону України.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». Сумський державний університет Міністерства освіти і науки України, Суми, 2018.

Захист дисертації відбудеться на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04. Сумський державний університет Міністерства освіти і науки України, Суми, 2018.

У результаті проведення комплексу теоретичних і експериментальних досліджень у дисертації запропоновано та обґрунтовано нові наукові положення, висновки та рекомендації, які дозволяють підвищити рівень екологічної безпеки та ресурсозбереження в процесі роботи гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню західного регіону України шляхом удосконалення елементів технології вибухового руйнування скельних порід на основі вивчення екологічної обстановки навколо них.

Результати роботи пройшли достатню апробацію та мають впровадження, що підтверджено відповідними актами.

Загалом у дисертаційній роботі одержано наступні результати.

Визначено чинники впливу гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню на навколишнє середовище. Встановлено, що зі всього технологічного ланцюга виробництва щебеню найбільший вплив на довкілля чинять масові вибухи. Зокрема такий вплив має як прямий (викиди пилу, шкідливих газів, втрата корисної копалини, сейсмічна небезпека, забруднення підземних вод), так і опосередкований вплив через подальші технологічні процеси (екскавація і транспортування, подрібнення і грохочення, відвалоутворення).

Проведено вивчення екологічної обстановки навколо гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню. Зокрема, здійснено оцінку впливу вибухових робіт на стан атмосферного повітря. Встановлено, що за швидкості вітру 2 м/с шкідлива дія СО поширюється за межі санітарно-захисної зони і сягає гранично-допустимої концентрації за результатами розрахунку лише на відстані 1 км. Концентрація NO<sub>2</sub> на цій же відстані становить 0,025 мг/м<sup>3</sup>, що задовільняє нормам. Оцінка ризику для здоров'я населення при сучасному рівні забруднення атмосферного повітря СО показала, що він не може розглядатись як досить прийнятний (коефіцієнт небезпеки дорівнює 1) і тому потребує здійснення заходів з усунення або зниження ризику.

Встановлено залежність зміни радіаційного фону від висоти уступу кар'єра. Визначено, що гамма-фон відпрацьованого кар'єрного простору збільшується з заглибленням кар'єру. Таке збільшення зумовлено екрануванням радіаційного поля бортами і відкосами кар'єру та більшим вмістом стійких радіоактивних акцесорних мінералів в глибинних горизонтах гранітів.

Досліджено процес розсіювання пилу з відвалу кар'єра та екологічний стан ґрунтів прилеглих територій на основі біоіндикації (на прикладі Пинязевицького родовища гранітів). Показано, що концентрація пилу перевищує гранично-допустиму за межами санітарно-захисної зони. Оцінка неканцерогенного ризику для здоров'я населення показала, що він є неприйнятним (1,4). Окрім того, для наведених умов даний об'єкт може викликати приблизно 12 додаткових випадків захворювання раком на рік.

Визначено та обґрунтовано, що для отримання найбільш повної та об'єктивної інформації щодо екологічного стану ґрунтів прилеглих до гранітних відвалів територій доцільним є застосування комплексу біоіндикаційних рослинних тест-організмів, а саме цибулі ріпчастої та крес-салату. Рекомендований комплекс біоіндикаторів дасть змогу визначення

цитогенетичного впливу гранітних відвалів на рослинні організми, що ростуть на прилеглих ґрунтах.

Оцінку біотоксичності ґрунтів територій прилеглих до гранітного відвалу виконано за методикою «Ростовий тест». Тест-реакція цибулі ріпчастої та пшениці показали тенденцію стимулювання розвитку при зменшенні відстані до гранітного відвалу, для крес-салату – навпаки. Для цибулі ріпчастої з наближенням до відвалу фітотоксичний ефект зменшується, для крес-салату та вівса – збільшується, а для пшениці – повністю відсутній.

Цитогенетичний вплив гранітних відвалів на стан ґрунтів прилеглих територій проведено за допомогою методу «Аберантність хромосом». Встановлено залежність кількості хромосомних патологій рослин-індикаторів від відстані до відвалу гранітного кар'єру та визначено, що головними типами аберацій, які виявлено у меристематичних клітинах корінців обраних тест-об'єктів є делеції та транслокації. У варіанті з ґрунтом, відібраним на відстані 800 м (найближчий населений пункт) від відвалу, кількість аберантних клітин перевищила контроль у 6 разів. З наближенням до гранітного відвалу спостерігається зменшення кількості хромосомних патологій. Це підтверджує припущення про те, що на процеси клітинного поділу рослин позитивно впливає кремнезем, що міститься у відвалах гранітного кар'єру.

Встановлено, що відстань до відвалу гранітного кар'єра та сезонність впливають на величину рН ґрунтів прилеглих територій, така залежність має лінійний характер. Визначені значення рН в районі відвалу Пинязевицького родовища перевищують середній показник рН у Малинському районі Житомирської області більш ніж на 30 %.

Проведено математичне моделювання процесу вибухового руйнування скельних порід із використанням конструкції заряду, яка передбачає формування радіального проміжку навколо заряду та заповнення його інертною речовиною для управління пилоутворенням та якістю гірської

маси, на основі адаптованої моделі Ляхова Г. М. Встановлено закономірність проходження хвиль тиску в процесі вибуху залежно від акустичної жорсткості заповнювача проміжку між зарядом та стінкою свердловини, його величини. Визначено, що зі збільшенням акустичної жорсткості заповнювача пік тиску у ближній до заряду зоні зменшується на 15–20 %.

Встановлено закономірності проходження хвиль тиску від просторової координати для різних типів скельних порід. Визначено, що зменшення піку тиску внаслідок використання в якості заповнювача проміжку водного розчину з високою акустичною жорсткістю спостерігається у всіх типах скельних порід. Зокрема, найкраще цей ефект прослідковується у породах з меншою акустичною жорсткістю (граніт, вапняк) і гірше – у породах з більшою акустичною жорсткістю (діабаз), однак це не знижує його цінність. Під час підривання вапняків пік тиску в процесі застосування води в якості заповнювача проміжку між зарядом та стінками свердловини складає  $1 \cdot 10^7$  Па. В той же час в процесі застосування водного розчину Ферум (III) сульфату – близько  $8 \cdot 10^6$  Па, що на 20 % менше.

Встановлено, що розчини з більшою акустичною жорсткістю дозволять зменшити обсяг пилоутворення та підвищити однорідність фракційного складу гірської маси. Це реалізується за рахунок зменшення амплітуди хвиль тиску на межі розподілу середовищ на 20 % і більше та збільшення ширини амплітуди на 25–30 %.

Розроблено конструкцію забійки, яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів, утворених в процесі вибухового руйнування скельних порід, і базується на хемосорбції газів негашеним вапном або відходами виробництва, які його включають, та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами. Отримано кількісно-якісні характеристики адсорбуючого складу в забійці свердловини залежно від типу вибухової речовини, кількості та типу шкідливих газів, утворюваних нею під час вибуху, та параметрів свердловини.

Так, для свердловини діаметром 250 мм та довжиною 16 м при діаметрі заряду 160 мм та довжині заряду 12 м та використанні Гранеміту – ИЗО, загальна маса Кальцій (II) оксиду, яка необхідна для поглинання Нітроген (IV) оксиду та Карбон (IV) оксиду становить 71 кг. Маса цеоліту, необхідна для повного поглинання Карбон (II) оксиду, – 15 кг.

Проведено дослідження впливу складу вибухових речовин на вихід шкідливих газів та ефективність вибухових робіт на кар'єрах. Встановлено закономірність зміни кількості утвореного Нітроген (II) оксиду під час вибуху від хімічного складу дизельного палива у вибуховій речовині, що дозволяє змінити величину кисневого балансу і, відповідно, кількість утворених під час вибухів газів. Зміна хімічного складу вибухової речовини за рахунок зміни складу дизельного палива дає можливість змінити величину кисневого балансу та кількість утворених під час вибуху газів з 10,75 л NO на 1 кг вибухової речовини для дизельного палива  $C_{13}H_{10}$  до 2,22 л NO на 1 кг вибухової речовини для дизельного палива  $C_{13}H_{23}$ , що майже у 5 разів менше.

Проведено кількісну оцінку коефіцієнта передачі енергії вибуху в масив гірських порід для різних типів вибухових речовин. Коефіцієнт передачі енергії вибуху вибуховою речовиною запропоновано використовувати під час вибору вибухової речовини з метою підвищення ефективності процесу вибухового руйнування.

Запропоновано підходи щодо оцінки впливу вибухових речовин на навколишнє середовище та щодо вибору вибухових речовин для проведення вибухових робіт у кар'єрах. Підхід щодо оцінки впливу вибухової речовини на навколишнє середовище відрізняється тим, що оцінка здійснюється за концентрацією шкідливих газів у пилогазовій хмарі, розрахованою з урахуванням газів, поглинутих забійкою.

Розроблений підхід щодо вибору вибухової речовини у поєднанні з забійковим матеріалом відрізняється від відомих тим, що на першому етапі здійснюється вибір за коефіцієнтом передачі енергії вибуху в масив, на другому – відбувається за можливості коригування хімічного складу

вибухової речовини без зміни рецептури, на третьому – підбирається відповідний тип забійкового матеріалу, на четвертому етапі – за наявності альтернативних вибухових речовин проводиться їх порівняльна оцінка за впливом на довкілля з урахуванням матеріалів забійки, на п'ятому – проводиться оцінка за економічними показниками.

З метою забезпечення високих економічних та екологічних показників діяльності підприємств запропоновано підхід щодо вибору вибухової речовини на основі рішення задачі оптимізації. Як критерій оптимізації прийнято прибуток підприємства, як функцію, що залежить від доходу підприємства від продажу щебеню, витрат на закупівлю вибухової речовини, витрат на закупівлю адсорбента для забійки свердловин та величини сплати екологічного податку.

Розроблено алгоритм цільової оцінки блочності та тріщинуватості масиву, який, крім розмірів блоків та міри тріщинуватості масиву, враховує форму та орієнтацію блоків, а також напрямок простягання та падіння тріщин. Використання цільового методу оцінки блочності та тріщинуватості гірських масивів дозволяє більш об'єктивно встановлювати зв'язок між визначальними і регульованими параметрами при вибуховому дробленні порід різними способами з показниками оцінки результатів вибуху, а також оцінювати ефективність цих способів і вибирати з них найбільш раціональний, в тому числі, з точки зору максимально можливої екологічної безпеки процесів.

Набув подальшого розвитку підхід щодо визначення раціональних відстаней між зарядами в ряду і між рядами, який відрізняється від відомих тим, що враховує, окрім ефективності пропрацювання уступу, конфігурацію зони дроблення, яка характерна для тріщинуватих масивів скельних порід, її розміри, для випадків прямокутної і шахової мереж розташування зарядів. Показано, що відстані між зарядами при шаховій мережі розташування, у порівнянні з прямокутною, зумовлюють високу ефективність використання площі руйнування і при перекритті зон дроблення на 0,34 радіуса великої осі

зони дроблення можна досягти величини недопрацьованої площі руйнування масиву 1,21 %.

Проведено промислові випробування розроблених заходів на ПрАТ «Товкачівський ГЗК». Критеріями оцінки ефективності розробленої конструкції заряду приймалися: вихід переподрібленої фракції, вихід товарної фракції, кількість пилу та газів, викинутих в атмосферне повітря.

Результати випробувань показали, що розмір зони переподріблення зменшився з 8 до 4 % під час застосування розробленої конструкції заряду. Визначено, що концентрація пилу в процесі використання запропонованої конструкції забійки зменшилась на 23 % у порівнянні з традиційною на відстані 50 м від епіцентру вибуху і на 20 % на межі санітарно-захисної зони. Заміри концентрації газів у атмосферному повітрі показали, що за першої серії вибуху наявність CO та NO<sub>2</sub> не зафіксовано, а за другої – їх концентрація на відстані 50 м від епіцентру вибуху становила 15 мг/м<sup>3</sup> і 1 мг/м<sup>3</sup> відповідно, на межі санітарно-захисної зони – наявність NO<sub>2</sub> не зафіксовано, а концентрація CO склала 9 мг/м<sup>3</sup>. Результати вимірювань підтвердили ефективність використання забійки на основі негашеного вапна та цеолітів.

Загальний еколого-економічний ефект запропонованих рішень склав 5 349 833 грн/рік. У результаті запровадження розроблених рішень підприємства гірничої галузі зможуть отримати не лише еколого-економічний ефект, а й соціальний, пов'язаний з мінімізацією ризиків для здоров'я працівників та населення прилеглих територій.

**Ключові слова:** екологічна безпека, ресурсозбереження, вибухове руйнування, шкідливі гази, гірничопромисловий комплекс, гірська порода, щебінь, відвал, пилоподавлення, хемосорбція газів.



## Список публікацій здобувача

### *Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Ткачук К. Н., Ткачук К. К., Твердая О. Я. Управление разрушением горных пород взрывом на карьерах: монография. Киев: Основа, 2015. 262 с.  
URL: <http://ecology.kpi.ua/wp-content/uploads/2016/05/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%8F.pdf> (дата звернення: 04.06.2018).
2. Терентьев О. М., Клещов А. Й., Гонтарь П. А., Тверда О. Я. Резонансне енергоощадне руйнування гірських порід: монографія. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. Том 1. 149 с.
3. Воробьев В. Д., Твердая О. Я., Косьмин И. В. Влияние параметров сетки скважинных зарядов на относительные расстояния между ними при порядно-диагональных схемах взрывания. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2013. Вип. 2/2013 (12). С. 68–74.
4. Воробьев В. Д., Крючков А. И., Твердая О. Я. Оценка скорости движения забойки при взрывах скважинных зарядов во взаимосвязи с результатами дробления горных пород. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2014. Вип. 1/2014 (13). С. 11–19.
5. Воробйов В. Д., Тверда О. Я. Удосконалення технології районування гранітних кар'єрів. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2014. № 4 (71). С. 139–146.
6. Твердая О. Я., Воробьев В. Д., Демещук В. Л. Оценка трансформации энергии взрыва в разрушаемый массив разнопрочных пород зарядами взрывчатых веществ местного приготовления. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2014. Вип. 26. С. 84–91.
7. Твердая О. Я., Воробьев В. Д. Повышение качества дробления трещиноватых скальных пород за счет оптимального направления отбойки скважинными зарядами. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології*

*гірничого виробництва*. 2014. Вип. 2/2014 (14). С. 13–24.

8. Тверда О. Я., Воробйов В. Д. Обґрунтування раціональних розмірів і геометрії мережі свердловин за фактором пропрацювання підосви уступу для тріщинуватих скельних порід. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2015. № 3 (74). С. 140–148.

9. Воробьев В. Д., Твердая О. Я., Азнаурян И. А. Целевая оценка трещиноватости и блочности горного массива скальных пород при производстве взрывных работ в карьерах. *Управління розвитком складних систем*. 2015. Вип. 24. С. 147–153.

10. Тверда О. Я., Ткачук К. К., Давиденко Ю. А. Порівняльний аналіз способів мінімізації пилоутворення з відвалів гранітних кар'єрів. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. Том 2, № 10 (80). С. 40–46.

11. Terentiev O., Tkachuk K., Tverda O., Kleshchov A. Electromagnetic focusing of impurities in water purification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Volume 4, No 10 (82). P. 10–15.

12. Тверда О. Я., Меркулова А. О., Ткачук К. К. Динаміка зміни радіаційно-гігієнічного фону з розвитком гірничих робіт у гранітному кар'єрі. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2016. Вип. 2/2016 (18). С. 57–64.

13. Tverda O., Kosyak I. The analysis of bio-indication methods of soils' ecological state in nearby territory of granite dumps. *Збалансоване природокористування*. 2017. № 2/2017. С. 79–84.

14. Тверда О. Я., Косяк І. В. Обґрунтування вибору рослинних тест-систем для оцінки токсичності ґрунтів прилеглих територій гранітних кар'єрів. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2017. Вип. 33. С. 69–77.

15. Molodets Yu., Tverda O., Tkachuk K. Substantiation of the impact of granite quarries dumps on pH of surrounding areas soil. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2017. Вип. 1/2017 (19). С. 72–78.

16. Молодець Ю. А., Тверда О. Я., Ткачук К. К. Удосконалення методу розрахунку ризиків для здоров'я працівників гранітних кар'єрів. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2017. Вип. 34. С. 52–60.

17. Terentiev O., Tkachuk K., Tverda O., Kleshchov A. Mathematical model of the reverse water postpurification at mining enterprises when using electromagnetic focusing of contaminants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Volume 1, No 10 (91). P. 10–16.

18. Tverda O., Plyatsuk L., Repin M., Tkachuk K. Controlling the process of explosive destruction of rocks in order to minimize dust formation and improve quality of rock mass. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Volume 3, No 10 (93). P. 35–42.

19. Тверда О. Я., Пляцук Л. Д. Розробка конструкції забійки свердловинного заряду із двоступеневою системою поглинання шкідливих газів. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2018. Вип. 1/2018 (21). С. 103–115.

20. Крайчук С. А., Ремез Н. С., Тверда О. Я., Дыняк С. В. Методика прогнозирования сейсмостойкости охраняемых объектов вблизи проведения взрывных работ. *International Scientific Journal «Theoretical & Applied Science»*. 2014. № 9 (17). С. 68–73.

21. Ткачук К. Н., Ткачук К. К., Тверда О. Я., Дыняк С. В. Управление энергией взрыва. *International Scientific Journal «Theoretical & Applied Science»*. 2014. № 11 (19). С. 77–83.

22. Тверда О. Я., Воробьев В. Д., Давыденко Ю. А. Оценка концентрации пыли при экскавации горной массы и формировании отвалов на карьерах. *International Scientific Journal «Theoretical & Applied Science»*. 2015. № 11 (31). С. 1–7.

23. Тверда О. Я., Молодець Ю. А., Ткачук К. К., Шевчук Н. А. Визначення рівня рН ґрунтів прилеглих територій до відвалів гірських порід. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. 2016. IV (12), Issue: 110. С. 25–27.

24. Тверда О. Я., Гребенюк Т. В., Косяк І. В. Біоіндикаційна оцінка токсичності ґрунтів територій прилеглих до відвалів гранітних кар'єрів. *East European Science Journal*. 2018. № 3 (31). С. 4–10.

25. Тверда О. Я., Петренко О. В., Ткачук К. К. Вплив складу вибухових речовин на вихід шкідливих газів під час підривних робіт на кар'єрах. *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2018. Вып. 3 (35), Часть 7. С. 39–44.

26. Tverda O., Vorobyov V. Interrelation breakup parameters of rock mass with the direction breakage under explosive working off of high ledges in the quarries. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2015. Вип. 1/2015 (15). С. 63–73.

27. Тверда О. Я., Воробйов В. Д., Давиденко Ю. А. Дослідження процесу розсіювання пилу з відвалу кар'єру в робочій зоні та на прилеглих територіях. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2015. Вип. 29. С. 96–103.

28. Воробйов В. Д., Тверда О. Я., Коляда Я. С. Оцінка впливу отруйних газів на стан повітря в зоні промислового вибуху Гранеміту. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2016. Вип. 31. С. 113–119.

29. Тверда О. Я., Давиденко Ю. А. Обґрунтування радіусу зони запилення в залежності від маси пилу що здувається з відвалу. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2016. Вип. 30. С. 214–220.

30. Воробьев В. Д., Твердая О. Я., Молодец Ю. А. Анализ технологий добычи монолитных блоков в карьерах стройматериалов. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2016. Вип. 31. С. 36–48.

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***

31. Воробйов В. Д., Тверда О. Я. Підвищення якості підготовки гірської маси при вибуховому відпрацюванні уступів на кар'єрах. *Енергетика. Екологія. Людина: тези доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 15–17 травня 2015 р. Київ, 2015. С. 31–33.*

32. Давиденко Ю. А., Тверда О. Я. Дослідження та поліпшення стану атмосферного повітря в районах розміщення відвалів кар'єрів. *Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів*: тези III Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, м. Житомир, 27–28 квітня 2016 р. Житомир, 2016. С. 165–168.

33. Воробйов В. Д., Тверда О. Я., Сергієнко М. І., Аль-Карагули О. Аналіз розвитку наукових основ технологічних процесів при розробці нерудних корисних копалин. *Енергетика. Екологія. Людина*: тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 28–29 квітня 2016 р. Київ, 2016. С. 86–88.

34. Тверда О. Я., Петренко О. В. Оцінка впливу пилегазової хмари на навколишнє середовище при масових вибухах на гранітних кар'єрах. *Ресурсозбереження і екологічна безпека*: тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 8 грудня 2016 р. Київ, 2016. С. 79–81.

35. Тверда О. Я., Петренко О. В. Визначення кількості шкідливих газів у продуктах вибуху Гранеміту з урахуванням кисневого балансу. *Енергетика. Екологія. Людина*: тези доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 25–26 травня 2017 р. Київ, 2017. С. 120–122.

36. Тверда О. Я. Підвищення рівня екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню. *Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі*: матеріали II Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції, м. Кривий Ріг, 14 грудня 2017 р. Кривий Ріг, 2017. С. 226.

## SUMMARY

***Tverda O. Y. Scientific and theoretical bases of environmental safety of mineral complexes for the production of gravel of the Western region of Ukraine.*** – Manuscript.

Thesis for a Doctor of Engineering Sciences Degree by specialty 21.06.01 «Ecological safety». Sumy State University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Sumy, 2018.

The defense of the dissertation will be held at the Specialized Academic Council D 55.051.04 meeting. Sumy State University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Sumy, 2018.

As a result of the theoretical and experimental research complex new scientific statements, conclusions and recommendations that allow raising the level of ecological safety and resource conservation during gravel production by the mining complexes of the Western region of Ukraine improved blasting technology elements on the basis of examination of the ecological situation around them are proposed and grounded.

The results of the work have been sufficiently tested and implemented, which have been confirmed by the relevant acts.

In general, the following results have been obtained in the dissertation.

The factors of mining complexes influence during gravel production on the environment are determined. It has been established that with the whole technological chain of gravel production, mass explosions have the greatest impact on the environment. In particular, such influence has a direct effect (emissions of dust, harmful gases, loss of minerals, seismic hazard, pollution of groundwater), and indirect effect through further technological processes (excavation and transportation, shredding, dump formation).

The ecological situation around the mining complexes for the gravel production has been studied. In particular, the impact of blasting on the state of atmospheric air has been evaluated. It is established that at the wind speed of 2 m/s

the harmful effect of CO extends beyond the boundaries of the sanitary protection zone and reaches the maximum permissible concentration, according to the calculations, only at a distance of 1 km. The concentration of NO<sub>2</sub> at the same distance is 0.025 mg/m<sup>3</sup>, which meets the norms. The assessment of the risk to the health of the population at the current level of atmospheric air pollution showed that it can't be regarded as sufficiently acceptable (the ratio of hazard is equal to 1) and therefore requires measures to eliminate or reduce the risk.

The dependence of the radiation background on the height of the open-pit ledge has been set. It has been determined that the gamma background of the waste open-pit space increases with the deepening of the open-pit. This increase is due to shielding the radiation field by the sides and slopes of the quarry and the higher content of stable radioactive minerals in the deep granite horizons.

The process of dust dispersion from the rock dump and the ecological state of the soils of the territories adjacent to the rock dumps have been studied based on bioindication (using the example of Pyniazevychi granite deposit). It is shown that the concentration of dust exceeds the maximum permissible outside the sanitary protection zone. An assessment of the non-carcinogenic risk to the health of the population has shown that it is unacceptable (1.4). In addition, for the given conditions, this object can cause about 12 additional cases of cancer a year.

It is determined and grounded that in order to obtain the most complete and objective information about the ecological state of soils of territories adjacent to granite dump it is expedient to apply a complex of bioindicative plant test organisms, onion and cress. The recommended complex of bioindicators will allow determining the cytogenetic effect of granite dumps on plant organisms that grow on adjacent soils.

Assessment of the biotoxicity of the soils of the territories adjacent to the granite dump was carried out according to the method «Growth test». Test reaction of onion and wheat showed a tendency to stimulate development with a decrease in the distance to the granite dump, for cress salad – on the contrary. For onions, with

a decrease in the distance to the dump, the phytotoxic effect decreases, for cress salad and oats –increases, and for wheat – it is completely absent.

The cytogenetic influence of granite dumps on the state of soil of adjacent territories was carried out using the method «Chromosomal aberration». The dependence of the number of chromosomal pathologies of the indicator plants on the distance from the granite quarry dump has been set. It has been determined that the main types of aberrations in the meristematic root cells of selected test objects are deletions and translocations. In the variant with the soil that was taken at a distance of 800 m (the nearest locality) from the dump, the number of aberrant cells exceeded control by 6 times. With a decrease in the distance to the granite dump, there is a decrease in the number of chromosomal pathologies. This confirms the assumption that the processes of cell division of plants are positively affected by the silica, contained in the granite quarry dumps.

It is established that the distance to the granite quarry and seasonality affects the soil of the surrounding territories pH, this dependence is linear. The determined pH values in the Pyniazevychi deposit dump area are more than 30 per cent higher than average index of pH in the Malyn district of Zhytomyr region.

Mathematical modeling of the explosive destruction of rocks using the charge design, which provides for the formation of a radial gap around the charge and filling it with an inert substance, to control dust formation and quality of rock mass has been held based on an adapted model of Lyakhov G. The pattern of pressure waves passage during blasting depending on the acoustic stiffness of the gap between the charge and the wall of the well and its magnitude has been set. It has been determined that with an increase in the acoustic stiffness of the filler the peak of pressure in the zone closest to the charge decreases by 15–20 %.

The patterns of pressure waves passage during blasting for different types of rocks have been set. It is determined that the reduction of the peak of pressure as a result of using as a filler gap aqueous solution with high acoustic rigidity is observed in all types of rocks. In particular, this effect is best observed in rocks with lower acoustic rigidity (granite, limestone) and worse – in rocks with greater



acoustic rigidity (diabase), but this does not reduce its value. During the blasting of limestone peak pressure is  $1 \cdot 10^7$  Pa using water as a filler gap between the charge and the walls of the well. At the same time, using an aqueous solution of Ferum (III) sulfate peak pressure is about  $8 \cdot 10^6$  Pa, which is 20 % less.

It is found that solutions with greater acoustic rigidity will reduce the amount of dust formation and increase homogeneity of fractional composition of the rock mass. This is accomplished by reducing the amplitude of the pressure waves on the boundary of distribution of environments by 20 % or more and increasing the width of the amplitude by 25–30 %.

The design of the stemming, which involves a two-stage purification from harmful gases, formed during the explosive destruction of rocks, and is based on the chemisorption of gases by quicklime or production waste, which includes it, and physico-chemical sorption (adsorption) by zeolites, has been developed. The quantitative and qualitative characteristics of the adsorbent in the stemming of a well depending on the type of explosive, the amount and type of harmful gases, formed during the explosion, and the parameters of the well have been obtained.

For a well with a diameter of 250 mm and a length of 16 m with a charge diameter of 160 mm and a charge length of 12 m, and using Granemit – I30, the total mass of Calcium (II) oxide required for adsorbing Nitrogen (IV) oxide and Carbon (IV) oxide is 71 kg. The mass of zeolite necessary for the full adsorption of Carbon (II) oxide is 15 kg.

The effect of explosives composition on the amount of harmful gases and the efficiency of blasting operations in quarries has been researched. The pattern of change in the amount of Nitrogen (II) oxide, formed during an explosion, depending on the chemical composition of diesel fuel in an explosive has been set. It allows changing the oxygen balance and, accordingly, the amount of gases, formed during explosions.

Changing the chemical composition of the explosive by changing the composition of diesel fuel allows changing the oxygen balance and the amount of gas formed during the explosion from 10.75 liters NO per 1 kg of explosive for

diesel fuel  $C_{13}H_{10}$  to 2.22 liters NO per 1 kg of explosive for diesel fuel  $C_{13}H_{23}$ , which is almost 5 times less. A quantitative estimation of the explosion energy transfer coefficient during rock destruction has been carried out. The coefficient of explosion energy transfer by an explosive substance is proposed to be used during the selecting an explosive substance in order to increase the efficiency of the explosive destruction process.

Approaches to the assessment of the impact of explosives on the environment and to the choice of explosives for blasting in quarries are proposed. The approach to assessing the impact of an explosive on the environment is different in that the assessment is carried out according to the concentration of harmful gases in the dust-gas cloud, taking into account gases adsorbed by the stemming.

An approach to choosing an explosive in combination with stemming material differs from known in the following respect. In the first stage the choice is made according to the energy transfer coefficient of the explosion. In the second stage, if it is possible, adjustments to the chemical composition of the explosive without changing the formulation are made. In the third stage the appropriate type of stemming material is selected. In the fourth stage if there are alternative explosives, their comparative assessment of the environmental impact taking into account the stemming material is carried out. In the fifth stage the assessment of economic indicators is carried out.

In order to improve economic performance of enterprises the approach to choosing an explosive substance based on the task of optimizing is proposed. As an optimization criterion the profit of an enterprise is taken. It is a function that depends on the company's income from the sale of gravel, the explosive cost, the adsorbent for stemming cost and the environmental tax.

The algorithm for the target evaluation of blockiness and fracturing of the rock massif, which, in addition to the blocks sizes and the measure of fracturing, takes into account shape and orientation of the blocks, the direction of the extension and fall of the cracks, has been developed. Using the algorithm for the

target evaluation of blockiness and fracturing of the rock massif allows establishing more objectively connection between defining and regulated parameters during explosive crushing of rocks in different ways and with indicators of estimation of explosion results. The algorithm makes it possible to evaluate the effectiveness of these methods and choose from them the most rational, including in terms of the maximum possible environmental safety.

An approach to determining rational distances between charges in a row and between rows has been further developed. It differs from the well-known ones in that it takes into account, apart from the efficiency of working of the ledge, the configuration of the crushing zone, which is typical for fractured rock massifs, its size, for cases of rectangular and chess nets of charge locations. It is shown that the distance between charges in the chess location network, in comparison with the rectangular, leads to the high efficiency of using the destruction area. It is possible to achieve the values of the fragmentary fracture area of the massif, which is 1.21 %, under condition of overlapping of crushing zones by 0.34 radius of the large axis of the crushing zone.

The developed measures are tested in the conditions of the Private Joint-Stock Company «Tovkachiv Mining Enrichment Plant». As criteria for evaluating the efficiency of the charge design were adopted: amount of crushed fraction, amount of commodity fraction, the amount of dust and gases emitted into the atmosphere.

The results of the tests showed that the size of the crushing zone decreased from 8 to 4 % during the using of the developed charge design. It was determined that the dust concentration decreased by 23 % in comparison with the traditional one at a distance of 50 m from the explosion epicenter and by 20 % on the border of the sanitary protection zone during using the proposed stemming design.

Measurements of the concentration of gases in the atmospheric air showed that the first series of explosion did not cause the presence of CO and NO<sub>2</sub>. After the second series of explosion their concentrations at a distance of 50 m from the explosion epicenter were 15 mg/m<sup>3</sup> and 1 mg/m<sup>3</sup>, respectively. On the border of

the sanitary protection zone the presence of NO<sub>2</sub> was not recorded, and the CO concentration was 9 mg/m<sup>3</sup>. The results of the measurements have been confirmed the effectiveness of the stemming which contains quicklime and zeolites.

The overall ecological and economic effect of the proposed solutions is 5 349 833 UAH per year. As a result of the implementation of the developed solutions, the mining industry will be able to get not only the ecological and economic effect, but also social, related to minimizing the risks to the health of workers and the population of the surrounding areas.

**Keywords:** ecological safety, resource saving, explosive destruction, harmful gases, mining complex, rock, gravel, stemming, dust suppression, chemisorption of gases.

### **List of publications**

*Scientific works, in which the main scientific results of the dissertation are published:*

1. Tkachuk K. N., Tkachuk K. K., Tverda O. Ya. Managing the destruction of rocks by an explosion in quarries: a monograph. Kiev: Osnova, 2015. 262 p.  
URL: <http://ecology.kpi.ua/wp-content/uploads/2016/05/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%8F.pdf> (last accessed: 04.06.2018).
2. Terentiev O. M., Kleshchov A. Yo., Gontar P. A., Tverda O. Ya. Resonance energy-saving destruction of rocks: monograph. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2018. Volume 1. 149 p.
3. Vorobiov V., Tverda O., Kosmin I. Influence of well spacing charge parameters on the relative distance between them in diagonal blasting circuit. *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry*. 2013. Issue 2/2013 (12). P. 68–74.
4. Vorobiov V., Kruchkov A., Tverda O. Evaluation of tamping speed during the hole charges explosion in conjunction with results of rocks crushing.

*Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry*. 2014. Issue 1/2014 (13). P. 11–19.

5. Vorobev V. D., Tverda O. Ya. Improving the technology of granite quarries zoning. *The Journal of Zhytomyr State Technological University. Series: Engineering*. 2014. No 4 (71). P. 139–146.

6. Tverdaia O. Ia., Vorobev V. D., Demeshchuk V. L. Estimation explosion energy transformation into breaking array with different strengths rocks by local cooking explosive charges. *Herald of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Series of «Mining»*. 2014. Issue 26. P. 84–91.

7. Tverda O., Vorobev V. Improving the quality of fractured rock crushing through optimal directions of hole charges breaking. *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry*. 2014. Issue 2/2014 (14). P. 13–24.

8. Tverda O. Y., Vorobiov V. D. Justification the rational dimensions and well network geometry by the factor of working out the sole of the ledge for cracked rocks. *The Journal of Zhytomyr State Technological University. Series: Engineering*. 2015. No 3 (74). P. 140–148.

9. Vorobiov V., Tverda O., Aznaurian I. Target evaluation of rock massif fracturing and blocking during blasting in quarry. *Management of Development of Complex Systems*. 2015. Issue 24. P. 147–153.

10. Tverda O., Tkachuk K., Davydenko Y. Comparative analysis of methods to minimize dust from granite mine dumps. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Volume 2, No 10 (80). P. 40–46.

11. Terentiev O., Tkachuk K., Tverda O., Kleshchov A. Electromagnetic focusing of impurities in water purification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Volume 4, No 10 (82). P. 10–15.

12. Tverda O., Merkulova A., Tkachuk K. Dynamics of radiation hygienic background changes during mining development in the granite quarries. *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry*. 2016. Issue 2/2016 (18). P. 57–64.

13. Tverda O., Kosyak I. The analysis of bio-indication methods of soils' ecological state in nearby territory of granite dumps. *Balanced nature using*. 2017. No 2/2017. P. 79–84.
14. Tverda O. Ya., Kosiak I. V. Rationale plant test systems for assess the toxicity of soil in nearby territory of granite dumps. *Herald of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Series of «Mining»*. 2017. Issue 33. P. 69–77.
15. Molodets Yu., Tverda O., Tkachuk K. Substantiation of the impact of granite quarries dumps on pH of surrounding areas soil. *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry*. 2017. Issue 1/2017 (19). P. 72–78.
16. Molodets Yu., Tverda O., Tkachuk K. Improvement of the risk calculation method for health of workers of granite quarries. *Herald of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Series of «Mining»*. 2017. Issue 34. P. 52–60.
17. Terentiev O., Tkachuk K., Tverda O., Kleshchov A. Mathematical model of the reverse water postpurification at mining enterprises when using electromagnetic focusing of contaminants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Volume 1, No 10 (91). P. 10–16.
18. Tverda O., Plyatsuk L., Repin M., Tkachuk K. Controlling the process of explosive destruction of rocks in order to minimize dust formation and improve quality of rock mass. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Volume 3, No 10 (93). P. 35–42.
19. Tverda O., Plyatsuk L. The design of borehole plug with a two-stage absorbing system for harmful gases. *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry*. 2018. Issue 1/2018 (21). P. 103–115.
20. Kraichuk S. A., Remez N. S., Tverda O. Ya., Dyniak S. V. Method of predicting the seismic-resistant of protected objects near blasting. *International Scientific Journal «Theoretical & Applied Science»*. 2014. No 9 (17). P. 68–73.

21. Tkachuk K. N., Tkachuk K. K., Tverda O. Ya., Dyniak S. V. Management of explosion energy. *International Scientific Journal «Theoretical & Applied Science»*. 2014. No 11 (19). P. 77–83.

22. Tverda O. Ya., Vorobiov V. D., Davydenko Yu. A. Estimate the concentration of dust during excavation of the rock mass and the formation of dumps on pits. *International Scientific Journal «Theoretical & Applied Science»*. 2015. No 11 (31). P. 1–7.

23. Tverda O. Ya., Molodets Yu. A., Tkachuk K. K., Shevchuk N. A. Determining pH level of soil surrounding areas to dumps of rocks. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. 2016. No 4 (12), Issue 110. C. 25–27.

24. Tverda O. Ya., Hrebeniuk T. V., Kosiak I. V. Bioindicative assessment of soils toxicity of territories adjacent to dumps of granite quarries. *East European Science Journal*. 2018. No 3 (31). P. 4–10.

25. Tverda O., Petrenko O., Tkachuk K. Influence of explosive composition on the quantities of harmful gases during the blasting in open pits. *Current research in the modern world*. 2018. Issue 3 (35), Part 7. P. 39–44.

26. Tverda O., Vorobyov V. Interrelation breakup parameters of rock mass with the direction breakage under explosive working off of high ledges in the quarries. *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry*. 2015. Issue 1/2015 (15). P. 63–73.

27. Tverda O. Ya., Vorobiov V. D., Davydenko Yu. A. Investigation the process of dust scattering from quarry heap in the working and surrounding areas. *Herald of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»*. Series of «Mining». 2015. Issue 29. P. 96–103.

28. Vorobiov V. D., Tverda O. Ya., Koliada Ya. S. Estimation of the poisonous gases influence on the state of the air in the area of the industrial explosion of Granemit. *Problems of labor protection in Ukraine*. 2016. Issue 31. P. 113–119.

29. Tverda O. Ya., Davydenko Yu. A. Justification the radius of pollination zone depending on dust weight that is blown away from the dump. *Herald of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»*. Series of «Mining». 2016. Issue 30. P. 214–220.

30. Vorobiov V. D., Tverda O. Ya., Molodets Yu. A. Environmental assessment process technologies production monolithic blocks in a quarry materials. *Herald of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Politechnic Institute»*. Series of «Mining». 2016. Issue 31. P. 36–48.

***Scientific works, testifying the approbation of dissertation materials:***

31. Vorobiov V. D., Tverda O. Ya. Improvement of the quality of rock mass preparation during blasting in the quarries. *Power engineering. Ecology. Man: Abstracts of the VII International Scientific and Technical Conference*, Kyiv, May 15–17, 2015. Kyiv, 2015. P. 31–33.

32. Davydenko Yu. A., Tverda O. Ya. Research and improvement of atmospheric air state in the areas of quarry dumps. *Prospects for the development of mining and the rational using of natural resources: Abstracts of the III All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists*, Zhytomyr, April 27–28, 2016. Zhytomyr, 2016. P. 165–168.

33. Vorobiov V. D., Tverda O. Ya., Sergienko M. I., Al-Karaguli O. Analysis of the development of scientific fundamentals of technological processes during the extraction of nonmetallic minerals. *Power engineering. Ecology. Man: Abstracts of the VIII International Scientific and Practical Conference*, Kyiv, April 28–29, 2016. Kyiv, 2016. P. 86–88.

34. Tverda O. Ya., Petrenko O. V. Estimation of the dust and gas cloud influence on the environment during mass explosions in granite quarries. *Resource Saving and Environmental Safety: Abstracts of the International Scientific and Technical Conference*, Kyiv, December 8, 2016. Kyiv, 2016. P. 79–81.

35. Tverda O. Ya., Petrenko O. V. Calculation the amount of harmful gases in products of the Granemit explosion taking into account the oxygen balance.



*Power engineering. Ecology. Man:* Abstracts of the IX International Scientific and Technical Conference, Kyiv, May 25–26, 2017. Kyiv, 2017. P. 120–122.

36. Tverda O. Ya. Increasing the level of ecological safety of mining complexes for the production of gravel. *Innovative development of the mining industry:* Materials of the II International Scientific and Technical Internet Conference, Kryvyi Rih, December 14, 2017. Kryvyi Rih, 2017. P. 226.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАК .....	30
ВСТУП .....	31
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГІРНИЧОПРОМИСЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ З ВИРОБНИЦТВА ЩЕБЕНЮ НА СТАН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .....	41
1.1 Актуальність дослідження .....	41
1.2 Аналіз досліджень забруднення навколишнього середовища внаслідок проведення підривних робіт в процесі відкритої розробки родовищ скельних порід .....	45
1.3 Аналіз досягнень з мінімізації впливу масових вибухів на навколишнє середовище за рахунок удосконалення конструкцій заряду та забійки .....	56
1.4 Аналіз досліджень щодо підвищення рівня ресурсозбереження та екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню за рахунок параметрів буровибухових робіт .....	67
1.5 Аналіз досліджень впливу вибухових речовин та засобів їх ініціювання на результати вибухового руйнування скельних порід та довкілля .....	75
1.6 Аналіз способів пилоподавлення та нейтралізації шкідливих газів без втручання у технологію ведення буропідривних робіт .....	86
1.7 Оцінка сучасного стану досліджень з питань екологізації гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню і постановка задач дослідження .....	92
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ .....	95
2.1 Визначення факторів впливу гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню на навколишнє середовище .....	95
2.2 Методи та методики теоретичних досліджень .....	100
2.3 Проведення промислових випробувань .....	106

	27
2.3.1 Планування проведення експерименту .....	106
2.3.2 Метод визначення фракційного складу гірської маси .....	108
2.3.3 Прилади та обладнання для замірів концентрації пилу і газів .....	111
2.4 Методологічна схема вирішення поставлених задач дослідження	116
Висновки до розділу 2 .....	118
<b>РОЗДІЛ 3 ВИВЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ НАВКОЛО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ З ВИРОБНИЦТВА ЩЕБЕНЮ .....</b>	<b>119</b>
3.1 Оцінка впливу отруйних газів та породного пилу, утворених внаслідок проведення масових вибухів, на стан навколишнього середовища прилеглих територій .....	119
3.2 Динаміка змін радіаційно-гігієнічного фону з розвитком гірничих робіт у гранітному кар'єрі .....	126
3.3 Дослідження стану навколишнього середовища в районах розміщення відвалів кар'єрів скельних порід .....	132
3.3.1 Оцінка стану атмосферного повітря в районах розміщення відвалів кар'єрів .....	132
3.3.2 Оцінка стану ґрунтів в районах розміщення відвалів кар'єрів .....	135
Висновки до розділу 3 .....	158
<b>РОЗДІЛ 4 ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВИБУХОВИХ РОБІТ НА КАР'ЄРАХ СКЕЛЬНИХ ПОРІД ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗАРЯДУ .....</b>	<b>161</b>
4.1 Математичне моделювання процесу вибухового руйнування скельних порід для управління пилоутворенням та якістю гірської маси....	161
4.2 Розробка ресурсозберігаючої конструкції забійки свердловини та дослідження її впливу на вихід шкідливих газів під час масового вибуху на кар'єрі.....	181

4.3 Оцінка швидкості руху забійки під час підривання свердловинних зарядів у взаємозв'язку з результатами дроблення гірських порід .....	188
Висновки до розділу 4 .....	196
<b>РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДУ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН НА ВИХІД ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ ТА ТЕХНІЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИБУХОВИХ РОБІТ НА КАР'ЄРАХ .....</b>	<b>199</b>
5.1 Вплив хімічного складу вибухової речовини на вихід шкідливих газів під час масових вибухів на кар'єрах .....	199
5.2 Оцінка трансформації енергії вибуху в масив скельних порід зарядами вибухової речовини .....	206
5.3 Розробка підходу щодо вибору типу вибухової речовини з позиції екологічної безпеки та ресурсозбереження .....	211
Висновки до розділу 5 .....	216
<b>РОЗДІЛ 6 НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ СВЕРДЛОВИНИХ ЗАРЯДІВ ТА НАПРЯМКУ ВІДБІЙКИ ПІД ЧАС ВИДОБУТКУ СКЕЛЬНИХ ПОРІД З МЕТОЮ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ .....</b>	<b>218</b>
6.1 Цільова оцінка тріщинуватості і блочності гірничого масиву скельних порід під час проведення вибухових робіт у кар'єрах .....	218
6.2 Удосконалення технології районування гранітних кар'єрів .....	225
6.3 Обґрунтування раціональних розмірів і геометрії мережі свердловин за чинником пропрацювання підшви уступу для тріщинуватих скельних порід .....	235
6.4 Мінімізація некондиційної фракції під час дроблення тріщинуватих скельних порід за рахунок оптимального напрямку відбійки свердловинними зарядами та відносної відстані між ними .....	246
6.5 Підвищення рівня екологічної безпеки процесу відбійки за рахунок управління параметрами розвалу гірської маси.....	261
Висновки до розділу 6 .....	266

РОЗДІЛ 7 ПРОМИСЛОВА АПРОБАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ, ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИЙ ЕФЕКТ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСІВ ВИБУХОВОГО РУЙНУВАННЯ .....	269
7.1 Умови проведення експерименту.....	269
7.2 Результати промислових випробувань .....	273
7.3 Еколого-економічна ефективність запропонованих рішень .....	278
7.4 Перспективи підвищення рівня екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню .....	281
Висновки до розділу 7 .....	288
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	290
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	294
ДОДАТОК А.....	339
ДОДАТОК Б .....	344
ДОДАТОК В.....	359
ДОДАТОК Г .....	361
ДОДАТОК Д.....	362
ДОДАТОК Е .....	363
ДОДАТОК Ж .....	364
ДОДАТОК И.....	365

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАК**

- БПР - буропідривні роботи;
- ВР - вибухова речовина;
- ГДК – гранично-допустима концентрація;
- ГПК – гірничопромисловий комплекс;
- ДШ – детонаційний шнур;
- ЕВР – емульсійна вибухова речовина;
- КБ – кисневий баланс;
- КСП – короткосповільнене підривання;
- МІ – мітотичний індекс;
- ПВ – продукти вибуху;
- ПД – продукти детонації;
- ПР - підривні роботи;
- СЗЗ – санітарно-захисна зона;
- УХ – ударна хвиля.

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** До основних антропогенних чинників забруднення навколишнього середовища та зниження екологічної безпеки довкілля належать передусім великі промислові комплекси. Зазвичай ці об'єкти сконцентровані навколо родовищ корисних копалин, великих міст і водних об'єктів.

Гірничопромисловий комплекс, у результаті своєї діяльності, здійснює значне техногенне навантаження на всі компоненти навколишнього природного середовища. Зокрема, відкритий спосіб розробки родовищ призводить до надходження забруднюючих речовин до водного та повітряного басейнів, зміни і порушення структури та погіршення якості родючого шару ґрунту, перетворення ландшафтів. Це викликає, у свою чергу, загибель або деградацію рослинного і тваринного світу, зумовлює зміну як абіотичних, так і біотичних складових екосистем. Окрім того, значні земельні ділянки займаються відвалами гірських порід, що унеможлиблює їх раціональне використання за цільовим призначенням. У цілому вилучення корисних копалин відкритим способом не відповідає принципам збалансованого природокористування.

Кожен процес технології виробництва щебеню здійснює негативний вплив на навколишнє середовище, найбільш суттєвим наслідком якого є викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря з подальшим перенесенням та осіданням на природних і техногенних об'єктах. Основними джерелами пилоутворення та емісії шкідливих газів при цьому виступають такі процеси: буріння, підривання, екскавація, транспортування, подрібнення у дробарках та відвалоутворення.

Під час проведення гірничих робіт у повітряне середовище надходить значна кількість шкідливих газів, підвищуючи рівень екологічного та техногенного ризику понад межу прийняттого показника. Концентрація шкідливих газів у робочій зоні кар'єру може у десятки разів перевищувати

гранично допустиме значення, що не відповідає нормативним вимогам екологічної безпеки. Про масштаби забруднень пилом свідчить рівень концентрацій пилу біля джерел утворення під час технологічних процесів від  $0,5 \text{ мг/м}^3$  до  $3000 \text{ мг/м}^3$  і вище. Найбільш масштабними джерелами забруднення пилом та шкідливими газами є масові вибухи, як невід'ємна та незамінна операція загального технологічного процесу видобутку скельних порід відкритим способом.

Безперервна інтенсифікація видобування мінеральної сировини відкритим способом, зумовлена використанням нової високопродуктивної техніки та технологій, призвела до посилення впливу гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню на навколишнє середовище. Тому гірничопромисловість України, зокрема відкрита розробка родовищ корисних копалин, як одна з базових галузей, які формують національний валовий дохід держави, потребує підвищення рівня екологічної безпеки гірничопромислових комплексів за рахунок розроблення нових ресурсозберігаючих технологій ведення буропідливних робіт.

У науково-технічній літературі вплив різноманітних природних і технологічних чинників на процес вибуху та його екологічні наслідки вивчено досить детально. Розроблено методики та рекомендації з розрахунку параметрів масових вибухів, конструкцій заряду, що використовуються у типових проектах проведення буропідливних робіт і забезпечують у процесі їх реалізації отримання гірської маси необхідного гранулометричного складу. Однак ці методики ґрунтуються на традиційних технологічних та технічних підходах і мають на меті збільшення продуктивності кар'єрів, та в меншій мірі – додержання вимог екологічної безпеки і принципів раціонального природокористування.

Тому розробка науково-теоретичних основ екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню є значною та актуальною проблемою. Вирішення її повинно ґрунтуватись на наукових засадах, обґрунтуванні еколого-економічних розрахунків, прийнятті



проектних та технічних рішень щодо параметрів підривних робіт та сучасних наукових досягненнях в екологічній безпеці.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямам розвитку науки і техніки в Україні на період до 2020 р. з розділу «Раціональне природокористування» і стратегічним пріоритетним напрямом інноваційної діяльності в Україні на 2011–2021 рр. «Широке застосування технологій більш чистого виробництва та охорони навколишнього природного середовища». Робота виконувалась відповідно до «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» (Закон України від 21 квітня 2011 року N 3268-VI), а також плану наукових досліджень кафедри прикладної екології Сумського державного університету та кафедри інженерної екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», і є складовою частиною НДР «Розроблення шляхів поліпшення екологічної ситуації міст і промислових зон» (№ ДР 0111U006335) та «Забезпечення збалансованого природокористування, зниження енергоємності виробництва та підвищення рівня екологічної безпеки підприємств на базі аналізу та синтезу оптимальних геотехнологічних процесів» (№ ДР 0111U010300), в яких автор брала участь як виконавець.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є обґрунтування та розроблення науково-теоретичних основ екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню західного регіону України шляхом удосконалення елементів технології вибухових робіт на кар'єрах скельних порід з урахуванням результатів дослідження екологічної обстановки навколо них.

Для досягнення зазначеної мети поставлено та вирішено такі задачі дослідження:

— провести аналіз сучасного стану досягнень з питань мінімізації впливу вибухового руйнування скельних порід на навколишнє середовище та

підвищення рівня ресурсозбереження під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом;

- провести вивчення екологічної обстановки навколо гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню;

- встановити закономірності проходження хвиль тиску в процесі вибуху залежно від характеристик заповнювача проміжку між зарядом і стінкою свердловини;

- встановити кількісно-якісні характеристики адсорбуючого складу в забійці свердловини залежно від типу вибухової речовини, кількості та типу шкідливих газів, утворюваних нею в процесі вибуху, та параметрів свердловини;

- розробити комплексний підхід з позиції екологічної безпеки щодо вибору вибухової речовини у поєднанні з забійковим матеріалом;

- встановити раціональні відстані між зарядами в ряду та між рядами для тріщинуватих скельних порід та визначити ефективний напрямок відбійки з урахуванням структурно-текстурних особливостей гірських порід з метою збереження невідновлюваних ресурсів;

- провести промислові випробування комплексу технологічних та технічних заходів з підвищення рівня екологічної безпеки та ресурсозбереження на кар'єрах скельних порід, розрахувати еколого-економічний ефект його впровадження у виробництво.

**Об'єкт дослідження** – процес забруднення навколишнього середовища внаслідок діяльності гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню.

**Предмет дослідження** – зниження рівня забруднення навколишнього середовища в процесі застосування удосконаленої технології вибухових робіт на гірничопромислових комплексах з виробництва щебеню.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених завдань у роботі використовувались сучасні методи наукових досліджень: аналізу – для узагальнення сучасних науково-технічних досягнень щодо зменшення

навантаження на навколишнє середовище та підвищення рівня ресурсозбереження в процесі вибухового руйнування скельних порід на кар'єрах; дисперсійного та кореляційно-регресійного аналізу – для встановлення закономірності зміни радіаційного фону з глибиною кар'єра; біоіндикаційні методи – для оцінки токсичності ґрунтів територій, прилеглих до гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню зі сторони відвалів; механіки суцільних середовищ – для встановлення закономірностей проходження хвиль тиску під час вибуху залежно від характеристик заповнювача проміжку між зарядом і стінкою свердловини; числовий метод на основі скінченно-різницевої схеми предиктор-коректор Мак-Кормака – для вирішення задачі про поведінку двошарового середовища в процесі навантаження циліндричної порожнини нестационарним навантаженням; фізико-хімічного аналізу – для встановлення кількісно-якісних характеристик адсорбуючого складу в забійці свердловини в залежності від типу вибухової речовини, кількості та типу шкідливих газів, утворюваних нею під час вибуху, та параметрів свердловини; оптимізації – для вибору вибухової речовини; математичного моделювання – для визначення раціональних відстаней між зарядами в процесі вибухового руйнування тріщинуватих скельних порід; графо-аналітичного – для визначення оптимального напрямку відбійки гірської маси; косокутної фотопланометрії – для визначення фракційного складу гірської маси під час проведення промислових випробувань; еколого-економічного аналізу – для розрахунку еколого-економічного ефекту впровадження результатів дослідження у виробництво.

### **Наукова новизна одержаних результатів:**

— уперше з метою раціонального використання природних ресурсів та додержання нормативів шкідливих впливів на довкілля розроблено науково-теоретичні засади екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню, що полягають у застосуванні запропонованої технології вибухових робіт, розробленні конструкції заряду, яка дозволяє

зменшити обсяг пилоутворення при вибуху, створенні забійки, яка забезпечує хемосорбцію утворених у результаті вибуху газів негашеним вапном і адсорбцію цеолітами, та встановленні раціональної мережі свердловин і напрямку відбійки;

— уперше обґрунтовано науковий підхід до оцінки рівня еколого-радіаційної безпеки у зоні впливу гранітних кар'єрів, що дозволило встановити залежність зміни радіаційного фону від висоти уступу кар'єра, яка носить лінійний характер, та виявлено збільшення гамма-фону відпрацьованого кар'єрного простору у міру заглиблення кар'єру за рахунок екранування радіаційного поля бортами і відкосами кар'єру та більшого вмісту стійких радіоактивних акцесорних мінералів у глибинних горизонтах гранітів;

— уперше для оцінки рівня екологічної безпеки довкілля у зоні впливу гранітних кар'єрів на підставі результатів цитогенотоксичних досліджень встановлено залежність кількості хромосомних патологій рослин-індикаторів від відстані до відвалів та виявлено головні типи аберацій у меристематичних клітинах корінців обраних тест-об'єктів такі, як делеції та транслокації;

— уперше з метою зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище розроблено науково-методологічні засади вибору типу заповнювача радіального проміжку між зарядом і стінкою свердловини та визначення його величини на підставі встановленої закономірності проходження хвиль тиску в процесі вибуху залежно від акустичної жорсткості заповнювача проміжку між зарядом та стінкою свердловини, що дозволило зменшити розміри зони переподрібнення та пилоутворення;

— уперше обґрунтовано науковий підхід до зниження обсягу пилоутворення шляхом підвищення акустичної жорсткості заповнювача радіального проміжку між зарядом і стінкою свердловини та збільшення величини проміжку за рахунок застосування зменшених діаметрів зарядів, що дозволяє зменшити пік тиску у ближній до заряду зоні на 15–20 %;

— уперше визначено кількісно-якісні характеристики адсорбуючого складу в забійці свердловини залежно від типу вибухової речовини, кількості і типу утворюваних у процесі її вибуху шкідливих газів, та параметрів свердловини, що дозволяє знизити рівень інгредієнтного забруднення навколишнього середовища;

— уперше для підвищення рівня екологічної безпеки атмосферного повітря обґрунтовано умови зниження емісії шкідливих забруднюючих газів на підставі встановленої закономірності зміни кількості утвореного під час вибуху Нітроген (II) оксиду від хімічного складу дизельного палива у вибуховій речовині;

— удосконалено науково-методичний підхід щодо вибору вибухової речовини на підставі рішення задачі оптимізації, для якої як критерій оптимізації прийнято прибуток підприємства – функцію, що залежить від витрат на закупівлю вибухової речовини, величини сплати екологічного податку, витрат на закупівлю адсорбента для забійки свердловин та доходу підприємства від продажу щебеню;

— набули подальшого розвитку технологічні рішення щодо визначення раціональних, з урахуванням вимог екологічної безпеки, відстаней між зарядами в ряду і між рядами, що враховують, окрім ефективності пропрацювання уступу, конфігурацію зони дроблення, характерну для тріщинуватих масивів скельних порід, та її розміри для випадків прямокутної і шахової мереж розташування зарядів.

#### **Практичне значення одержаних результатів полягає у:**

— розробленні алгоритму цільової оцінки блочності та тріщинуватості масиву, який, крім розмірів блоків та міри тріщинуватості масиву, враховує форму та орієнтацію блоків, а також напрямок простягання та падіння тріщин;

— удосконаленні конструкції заряду застосуванням радіального проміжку між зарядом і стінкою свердловини, який заповнюється інертною речовиною з високою акустичною жорсткістю;

– розробці конструкції забійки, яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів, утворених у процесі вибухового руйнування скельних порід, і базується на хемосорбції газів негашеним вапном або відходами виробництва, які його включають, та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами;

– розробці підходу щодо оцінки впливу вибухової речовини на навколишнє середовище, який відрізняється тим, що оцінка здійснюється за концентрацією шкідливих газів у пилогазовій хмарі, розрахованою з урахуванням газів, поглинутих забійкою;

– розробці комплексного підходу щодо вибору вибухової речовини у поєднанні з забійковим матеріалом, який відрізняється від відомих тим, що на першому етапі здійснюється вибір за коефіцієнтом передачі енергії вибуху в масив, на другому – відбувається за можливості коригування хімічного складу вибухової речовини без зміни рецептури, на третьому – підбирається відповідний тип забійкового матеріалу, на четвертому етапі – за наявності альтернативних вибухових речовин проводиться їх порівняльна оцінка за впливом на довкілля з урахуванням матеріалів забійки, на п'ятому – проводиться оцінка за економічними показниками.

Результати роботи пройшли апробацію та впроваджені в практичну діяльність ПрАТ «Товкачівський ГЗК» (акти впровадження від 04.04.2018 року та від 25.04.2018 року), прийняті до впровадження АТ «Коростенський кар'єр (акт впровадження від 18.05.2018 року). Окрім того, використані Науково-дослідним інститутом безпеки праці та екології в гірничорудній і металургійній промисловості (НДІБПГ КНУ) ДВНЗ «Криворізький національний університет» (акт впровадження від 03.05.2018 року), а також в процесі викладання дисциплін «Процеси та апарати природоохоронних технологій» та «Технології основних виробництв і промислова екологія» для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» Сумського державного університету (акт впровадження від 20.04.2018 року); «Руйнування гірських

порід та безпека вибухових робіт» для студентів спеціальності 184 «Гірництво» Житомирського державного технологічного університету (акт впровадження від 28.08.2018 року).

**Особистий внесок здобувача** полягає в аналізі стану проблеми, формуванні та розробленні ідеї та теми дисертації, розробленні наукових положень концепції проведення вибухових робіт на кар'єрах скельних порід, вивченні екологічної обстановки навколо гірничих підприємств з видобутку скельних порід, дослідженні теоретичних засад і способів реалізації технології вибухових робіт за рахунок нових ресурсозберігаючих конструкцій зарядів, раціональних параметрів розташування свердловин та напрямку відбійки, проведенні промислових випробувань комплексу технологічних та технічних заходів з підвищення рівня екологічної безпеки та ресурсозбереження на гірничопромислових комплексах з виробництва щебеню західного регіону України. Внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві, наведений у списку праць за темою дисертації.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційних досліджень доповідались на 10 наукових та науково-практичних конференціях різних рівнів: International Scientific Practical Conference «European Innovation», Martigues, France, 2014; International Scientific Practical Conference «European Science and Technology», Southampton, United Kingdom, 2014; VII Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина», м. Київ, 2015; III Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів», м. Житомир, 2016; VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Енергетика. Екологія. Людина», м. Київ, 2016; Міжнародній науково-технічній конференції «Ресурсозбереження і екологічна безпека», м. Київ, 2016; Scientific and Professional Conference «Natural, Mathematical and Technical science», Budapest, Hungary, 2016; IX Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія.

Людина», м. Київ, 2017; II Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі», м. Кривий Ріг, 2017; XXXV Міжнародній науковій конференції «Актуальні наукові дослідження в сучасному світі», м. Переяслав-Хмельницький, 2018.

**Публікації.** За результатами дисертаційної роботи було опубліковано 36 наукових праць, з яких: 2 монографії – у співавторстві, 28 статей, зокрема 17 статей – у наукових фахових виданнях з переліку МОН України, 6 статей – у виданнях, що індексуються наукометричними базами даних, та періодичних наукових виданнях інших держав, 5 – в інших виданнях, 6 тез доповідей у збірниках праць конференцій.

**Структура дисертації.** Дисертація складається із вступу, семи розділів, висновків, списку джерел літератури, який містить 380 найменувань на 45 сторінках, та 8 додатків на 27 сторінках. Повний обсяг дисертації становить 365 сторінок, робота містить 80 рисунків та 49 таблиць.



## **РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГІРНИЧОПРОМИСЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ З ВИРОБНИЦТВА ЩЕБЕНЮ НА СТАН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

### 1.1 Актуальність дослідження

До основних антропогенних чинників забруднення навколишнього середовища належать, передусім, великі промислові комплекси – споживачі сировини, енергії, води, повітря, земельних просторів і водночас найпотужніші джерела практично всіх видів забруднень (механічних, хімічних, фізичних, біохімічних) [1].

Гірничопромисловий комплекс (ГПК), як один із видів економічної діяльності, виступає серйозним забруднювачем навколишнього природного середовища. Відкритий спосіб розробки родовищ призводить до забруднення водного та повітряного басейнів забруднюючими речовинами, зміни, порушення структури та погіршення якості родючого шару ґрунту, до значних ландшафтних порушень. Це викликає, в свою чергу, загибель або деградацію рослинного та тваринного світу. Також значні земельні ділянки займаються хвостосховищами та відвалами гірських порід [2].

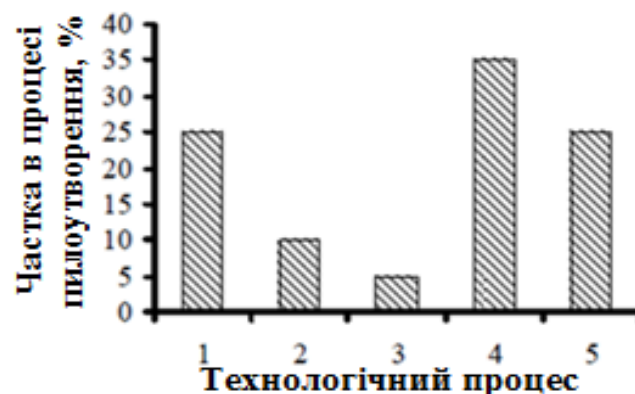
Кожен процес схеми видобування корисних копалин здійснює негативний вплив на навколишнє середовище (табл. 1.1, рис. 1.1) [3], [4]. Основними джерелами пилоутворення в процесі розробки родовищ відкритим способом є: буріння, підривання, первинне та вторинне подрібнення, виймально-навантажувальні роботи та операції, пов'язані з переміщенням гірської маси. Окрім того, на рівень забруднення атмосфери впливають процеси, безпосередньо пов'язані з веденням відкритих гірничих робіт (відвалоутворення) [4].

Під час проведення гірничих робіт у повітряне середовище надходить також значна кількість шкідливих газів. У викидах шкідливих речовин містяться як хімічні речовини, що входять до складу гірських порід, так і

речовини, які виділяються в процесі вибухового руйнування порід та під час роботи машин та механізмів, що застосовуються у технології виробництва щебеню. Емісія даних шкідливих речовин призводить до поступової деградації насаджень, зниження їх продуктивності та втрати стійкості. Під впливом «чужорідних» для живих організмів речовин порушується ультрамікроскопічна структура клітин рослинних організмів, сповільнюється інтенсивність ростових і продуктивних реакцій, знижується тривалість життя організмів, прискорюються процеси старіння [5].

Таблиця 1.1 – Основні джерела та види забруднення атмосфери в процесі ведення відкритих гірничих робіт [3]

Основні технологічні процеси та об'єкти	Джерела та види забруднення
Підготовка гірської породи до виймання	Пил і гази в процесі буріння свердловин і шпурів. Пил та отруйні гази під час проведення вибухових робіт.
Виймально-навантажувальні роботи	Пил в процесі виймання та навантаження гірської маси у транспортні засоби та розвантаження у відвал.
Транспортування кар'єрних вантажів	Пил на кар'єрних автошляхах. Здування пилу з транспортних засобів під час переміщення гірської маси. Пил на пунктах перевантаження. Гази в процесі роботи технологічного автомобільного та залізничного транспорту.
Відвалоутворення та складування порід	Пил під час укладання гірської маси у відвали та склади. Пиління поверхонь відвалів.



1 – пил з поверхонь відвалів; 2 – буріння свердловин; 3 – транспортування гірської маси; 4 – екскавація; 5 – підривні роботи

Рисунок 1.1 – Пиловий баланс атмосфери в процесі руйнування гірських порід [4]

Про масштаби забруднень пилом свідчить те, що концентрація пилу біля джерел утворення може сягати від  $0,5 \text{ мг/м}^3$  до  $3000 \text{ мг/м}^3$  і вище (табл. 1.2) [6]. Концентрація шкідливих газів може перевищувати гранично-допустиму концентрацію (ГДК) у 10 та більше разів (табл. 1.3) [7]. Найбільш масштабним джерелом забруднення пилом та шкідливими газами є масові вибухи. Від результатів вибуху залежить ефективність наступних технологічних процесів та роботи гірничого підприємства в цілому.

Таблиця 1.2 – Характеристика джерел пиловиділення в процесі відкритої розробки родовищ корисних копалин [6]

Процес	Виділення пилу, $\text{мг/м}^3$
Виймально-навантажувальні роботи	2,9–100,4
Бурові роботи	0,5–2422
Підривні роботи	400–3100
Транспортування	0,9–100,4
Подрібнення	0,9–81,6
Відвалоутворення	0,8–33,7

Таблиця 1.3 – Викиди забруднюючих речовин під час масових вибухів [7]

Забруднююча речовина	Концентрація у пилогазовій хмарі, $\text{мг/м}^3$	Гранично-допустима концентрація (максимально разова), $\text{мг/м}^3$	Річний викид шкідливих речовин, т/рік
Зважені речовини	2562,4	0,15	7715
Карбон (II) оксид	564,41	5	1699,4
Нітроген (IV) оксид	37,4	0,2	112,58

У сучасних умовах безперервна інтенсифікація видобування мінеральної сировини відкритим способом, яка зумовлена використанням нової високопродуктивної техніки та технології, призвела до посилення

впливу ГПК з виробництва щебеню на навколишнє середовище. Тому гірничо-промисловість України, зокрема відкрита розробка родовищ корисних копалин, як одна з базових галузей, які формують національний валовий дохід держави, потребує підвищення рівня екологічної безпеки ГПК за рахунок розробки нових ресурсозберігаючих технологій ведення буропідричних робіт (БПР).

Сучасні технології розробки родовищ корисних копалин відкритим способом базуються на використанні методу свердловинних зарядів і, як наслідок цього, характеризуються значними викидами у повітря шкідливих газів і пилу. Окрім цього, використання високоенергетичних вибухових речовин (ВР) викликає суттєве переподрібнення природної сировини у ближній зоні контакту «вибухова речовина – гірська порода», що зумовлює втрати невідновлюваних ресурсів. Таким чином, проведення БПР має негативні наслідки з точки зору екологічної безпеки, здоров'я людини та ресурсозбереження. Отримання гірської маси необхідного фракційного складу забезпечується технологічними параметрами БПР та конструкцією заряду, оптимізація яких дозволить знизити екологічний тиск на довкілля та уникнути технологічних втрат сировини. Це в кінцевому результаті сприятиме підвищенню техніко-економічних показників гірничих підприємств України. При цьому слід зазначити, що і значний негативний вплив на довкілля від цієї галузі також буде значно знижено.

У науково-технічній літературі вплив різноманітних природних і технологічних чинників на процес вибуху та його екологічні наслідки вивчено досить детально. Розроблено методики та рекомендації з розрахунку параметрів масових вибухів, конструкцій заряду, що використовуються у типових проектах проведення БПР і забезпечують, в процесі їх реалізації, отримання гірської маси необхідного гранулометричного складу. Однак дані методики базуються на традиційних технологічних та технічних підходах, маючи на меті збільшення продуктивності кар'єрів, та в меншій мірі – збереження довкілля та природної сировини.

Тому розроблення науково-теоретичних основ екологічної безпеки ГПК з виробництва щебеню є значною та актуальною науково-практичною проблемою. Вирішення її повинно базуватись на наукових засадах, обґрунтуванні еколого-економічних розрахунків, прийнятті проектних та технічних рішень щодо параметрів підривних робіт (ПР) та сучасних наукових досягненнях в екологічній безпеці.

1.2 Аналіз досліджень забруднення навколишнього середовища внаслідок проведення підривних робіт в процесі відкритої розробки родовищ скельних порід

Маючи на меті забезпечення сировинними ресурсами різних сфер господарської діяльності, гірниче виробництво, зокрема відкрита розробка родовищ корисних копалин, чинить вплив на навколишнє середовище. Основними видами негативного впливу в процесі розробки скельних порід є: забруднення атмосфери викидами газоподібних і зважених речовин; шумовий вплив; вилучення природних ресурсів (земельних, водних); зміна ландшафту; зміна гідрогеологічних умов; забруднення навколишнього середовища стічними водами та відходами; вплив на тваринний і рослинний світ; зміна соціальних умов життя населення [8].

Збільшення масштабів розробки корисних копалин відкритим способом, широке застосування ВР і дизельної техніки, в поєднанні з особливостями технологічних процесів і властивостями гірських порід, погіршує санітарно-гігієнічні умови не тільки у виробленому просторі, але і у навколишньому середовищі. Навіть у періоди, коли в кар'єрі спостерігаються сприятливі для провітрювання робочих зон температурні та вітрові умови, пилогазові викиди безперешкодно надходять з кар'єрів у навколишнє середовище, набуваючи залпового характеру після припинення штилів та інверсій. Все це призводить до підвищеного рівня забруднення прикордонного шару атмосфери та поверхні ґрунту в гірничопромислових

районах [9]. Окрім того, у міру збільшення глибини розробки інтенсивність пилогазових викидів і розміри зони їх поширення в навколишньому середовищі зростають, а природне надходження у вироблений простір свіжого повітря ускладнюється. У зв'язку з цим виникає проблема підвищення рівня екологічної безпеки ГПК з виробництва щебеню, зокрема управління пилогазовим режимом кар'єрів, яке в даний час здійснюється, в основному, шляхом зміни організації гірничотранспортних робіт, що виражається в їх частковому або повному припиненні [9], [10].

Надходження пилу та газів в атмосферу кар'єрів і навколишнє середовище тісно взаємопов'язані між собою і визначаються одним і тим же комплексом некерованих (абіотичних) і керованих (техногенних) факторів (рис.1.2) [10].

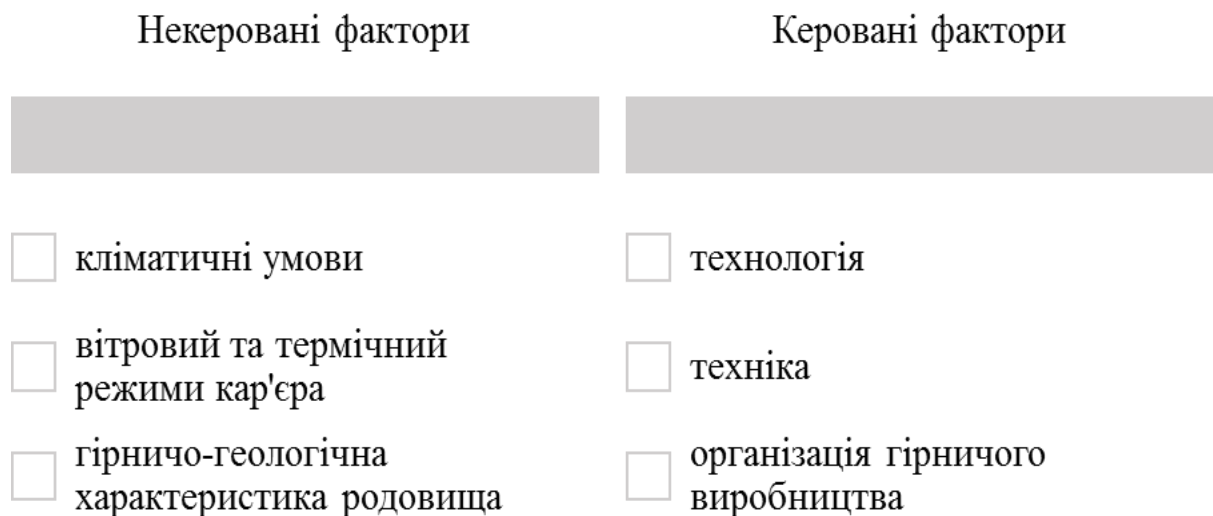
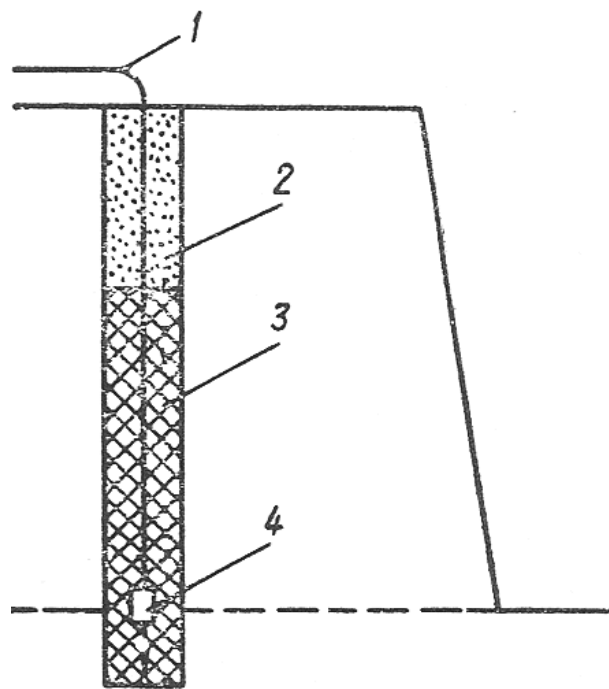


Рисунок 1.2 – Перелік факторів, що впливають на надходження пилу і газів в атмосферу в процесі роботи гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню

Кліматичні умови району розташування кар'єру впливають на забруднення його атмосфери та навколишнього середовища через вологість повітря та ґрунту, кількість опадів, що випадають, швидкість вітрових

потоків, кількість та тривалість штильових періодів і приповерхневих інверсій. Їх врахування дозволяє правильно обирати методи зниження рівня забруднення атмосфери кар'єра та пилогазового навантаження на навколишнє середовище [10]–[12]. Швидкість вітру в кар'єрі не залишається постійною і, в цілому, відповідає її зміні на поверхні, здійснюючи значний вплив на рівень забруднення атмосфери у виробленому просторі та винесення домішок в навколишнє середовище.

Найбільша частка забруднення атмосферного повітря припадає на проведення масових вибухів – невід'ємного технологічного процесу, пов'язаного з використанням ВР різного хімічного складу. Для руйнування гірських порід з метою отримання щебеню використовують метод свердловинних зарядів (рис. 1.3) [13].



1 – детонаційний шнур; 2 – забивка; 3 – заряд вибухової речовини;  
4 – бойовик

Рисунок 1.3 – Свердловина з зарядженою у неї вибуховою речовиною [13]

Склад продуктів вибуху (ПВ) визначається, в основному, складом ВР (рецептурою ВР) і умовами підривання. Одним з найважливіших параметрів

є кисневий баланс (КБ). Чим більше він відхиляється від нуля, тим менша потенційна енергія ВР у порівнянні з тим рівнем її, що був при його нульовому значенні, і тим більше утворюється отруйних газів (табл. 1.4). За надлишку кисню виділяється деяка кількість Нітроген (II) оксиду та Нітроген (IV) оксиду, а за нестачі кисню виділяється Карбон (II) оксиду [14].

Кількість та склад газоподібних ПВ визначаються: величиною КБ; кількістю та складом гідроізоляційного матеріалу (окремо патронів, шашок); дисперсністю часток; ступенем вологості ВР; ступенем злежаності ВР; щільністю ВР; величиною коефіцієнта використання свердловини; місцем розташування патрона-боевика або електродетонатора; засобами ініціювання; матеріалом забійки; умовами підривання; властивостями гірських порід та ін. [15].

Таблиця 1.4 – Кількість шкідливих газів, що виділяються в процесі вибуху різних вибухових речовин, за нормальних умов [7]

Вибухова речовина	Кисневий баланс, %	Значення показника питомого виділення шкідливих газів, л/кг			
		СО	СО <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
Гранеміт И-30	+0,1	27,0	78	215	0,21
Гранеміт И-50	+0,3	38,8	89,2	236	0,12
Гранулотол	(-74)–(-76,2)	274,6	37,6	147,8	-
Грамоніт 79/21	0–(+0,3)	48,2	65,2	229	5,6

Рецептури ВР складаються з таким розрахунком, щоб під час вибуху утворилися, в основному, пари води, азот і вуглекислий газ, тобто газоподібні продукти, найменш небезпечні для людини. Загальноприйнятою точкою зору щодо процесу формування ПВ є забезпечення максимального виділення теплової енергії під час протікання хімічних реакцій [16].

Окрім ВР на результати вибуху та стан забруднення навколишнього середовища суттєвий вплив чинить конструкція заряду, зокрема конструкція забійки, параметри розташування свердловин, напрямок відбійки та схеми комутації зарядів.



Під час вибору відстаней між свердловинами враховують параметри конструкції заряду та особливості масиву. Чим слабкіша порода, тим більша відстань між свердловинами може бути прийнята [17]. Зі збільшенням міцності порід відстань між свердловинами закономірно зменшується. У процесі удосконалення вибухових робіт на кар'єрах мережа розташування свердловин розширилась з 4–5 м до 8–9 м, а прийняті інтервали уповільнень за цей період майже не змінились. Однак такий підхід є абсолютно недоречним з позиції екологічної безпеки, так як спричинює збільшення розмірів зони переподрібнення, а таким чином і об'єму пилоутворення, за рахунок збільшення піку хвилі тиску на межі «ВР – гірська порода».

Особливу загрозу навколишньому середовищу та людям становить розповсюдження пилогазової хмари (ПГХ), в якій пил присутній у кількості від  $0,027 \text{ кг/м}^3$  до  $0,17 \text{ кг/м}^3$  гірської маси. Загальна кількість утвореного Карбон (II) оксиду досягає від 60 л/кг до 93 л/кг ВР, а Нітроген (II) оксиду та Нітроген (IV) оксиду – від 3,5 л/кг до 7 л/кг [18]. Під час масових вибухів у кар'єрах в атмосферу надходить до 100 т пилу та до 30 тис.  $\text{м}^3$  СО (при вибуху до 600 т ВР). У процесі детонації від 600 т до 800 т ВР на відстані 1 км від кар'єру концентрація пилу досягає від 1200·ГДК до 2800·ГДК, а на відстані 10 км – 90·ГДК [19]. ПГХ підіймається на висоту до 800 м, розповсюджується за напрямком вітру та осідає на земну поверхню, у тому числі в житлових районах і на сільськогосподарських угіддях, що створює відчутні негативні ефекти в радіусі до 20 км від кар'єру [20].

Питанням забруднення атмосфери пилом та шкідливими газами внаслідок роботи кар'єрів займалось багато провідних вчених, серед них: Бересневич П. В., Єфремов Е. І., Зберовський О. В., Колесник В. Є., Лучко І. А., Тищук В. Ю., Шувалов Ю. В., Юрченко А. А. та ін. [19]–[26].

Прогнозування розсіювання пилу з кар'єру зазвичай враховує характеристику кар'єру, метеорологічні дані регіону, рельєф місцевості та інше. Серебреніковим Є. В. встановлено закономірності розсіювання пилу за наявності вихрової повітряної зони для рециркуляційної схеми

провітрювання ділянок робочих зон кар'єрів під час перевантаження гірської маси [27].

У роботі [28] наведено результати експериментальних досліджень розсіювання пилу в робочих зонах гранітного кар'єру під час буріння підричних свердловин. Розраховано коефіцієнти горизонтальної  $\sigma_y$  та вертикальної  $\sigma_z$  дисперсій. Визначено зони розсіювання пилу для різних метеорологічних умов.

Авторами [29] виконано порівняльний аналіз відомих методик оцінки викидів пилу під час проведення вибухових робіт на гірничих підприємствах та проаналізовано математичні моделі, які можуть бути використані для розрахунку приземної концентрації пилу після залпових викидів. Окрім того, запропоновано способи оцінки ефективності заходів щодо зниження викидів пилу після масових вибухів у кар'єрах і рівнів екологічної небезпеки цих викидів за пиловим чинником.

Аналіз літературних джерел показав, що розгляд проблеми дифузії домішок в атмосфері з точки зору прикладних розрахунків зазвичай обмежений Гаусовою моделлю дифузії, яка базується на концепції точкового джерела викиду. Однак на сьогодні різними дослідниками і науковими колективами запропоновано і інші моделі атмосферної дифузії. Існуючий прогрес у цьому напрямку пов'язаний з відмовою від концепції точкового джерела і з більш повним врахуванням моделлю основних чинників, що впливають на процес розсіювання домішок (об'ємність джерела, струменева і дифузійна ділянки розповсюдження викидів, нестационарність метеорологічних умов, ймовірнісний характер стану атмосфери, дрібно- і крупномасштабна турбулентність) [30], [31].

У роботах [32], [33] на базі моделі потенціальної течії та моделі переносу домішки запропоновано 2D чисельну модель для прогнозування забруднення атмосфери з урахуванням рельєфу.

На противагу розрахунковому способу визначення концентрацій шкідливих речовин у кар'єрі Мірошніченко Н. С. запропонувала

застосування відеозйомки для визначення концентрації Нітроген (IV) оксиду в ПГХ під час вибухів. У роботі [34] розглянула особливості проведення відеозйомки ПГХ і обмеження, пов'язані з метеорологічними умовами. Визначила критерії вибору зображень для оцінки концентрації Нітроген (IV) оксиду в ПГХ.

Параметри ПГХ під час масових вибухів у залізорудних кар'єрах досліджувались у роботі [35]. Також проаналізовано характер розсіювання ПГХ під час масових вибухів у кар'єрах за пиловим чинником. Встановлено площу та дальність розсіювання пилу в процесі вибухового руйнування порід.

Юрченко А. А. наведено результати теоретичних досліджень параметрів ПГХ під час проведення вибухових робіт у кар'єрах: температури суміші газів, об'єму, закономірності руху газів та пилу в процесі їх підняття, кількості теплоти, яка віддається в атмосферу під час охолодження [36].

Авторами [7] досліджено джерела утворення пилу і ядовитих газів в атмосфері кар'єру і розглянуто якісний і кількісний склад пилегазових викидів під час проведення вибухових робіт. Проведений розрахунок концентрацій шкідливих речовин на момент вибухового руйнування порід дозволив зробити висновок, що концентрація Карбон (II) оксиду, Нітроген (II) оксиду, Нітроген (IV) оксиду та пилу в атмосфері кар'єрів багатократно перевищують ГДК. Це створює критичну ситуацію щодо забруднення атмосферного повітря. Для вирішення цієї проблеми автори запропонували ряд заходів по боротьбі зі шкідливими викидами (табл. 1.5).

Козловська Т. Ф. та Чебенко В. М. проаналізували технологічні умови і екологічні особливості видобутку корисних копалин відкритим способом, визначили шляхи та умови зниження техногенної і екологічної небезпеки на об'єктах гірничовидобувної промисловості. Прийшли до висновку, що зниження рівня екологічної небезпеки на підприємствах відкритих гірничих розробок може бути досягнуто шляхом застосування нейтралізаторів і каталітично активних речовин як добавок до ВР неорганічної та органічної

природи, переходом на безтритолові та низькоселітряні за складом ВР, зміною конструкцій свердловинних зарядів, створенням спеціальних пристроїв, які будуть зменшувати сейсмічне навантаження на території, прилеглі до кар'єру [15].

Таблиця 1.5 – Основні технологічні та інженерно-технічні заходи, направлені на скорочення пилегазових викидів під час масових вибухів [7]

Заходи	Ефективність
Підривання високих уступів	Сприяє зменшенню ПГХ у 1,3 рази
Підривання на неприбрану гірську масу	Скорочується або взагалі не утворюється вторинна ПГХ (відсутність пиловиділення зі сторони розвалу)
Застосування гідрозабійки свердловин	Скорочення пилу в ПГХ на 30–80 % і зменшення кількості Нітроген (II) оксиду та Нітроген (IV) оксиду в 1,5–2 рази
Використання сніжно-льодяної забійки у зимовий час	Пиловиділення скорочується в 5–10 разів
Нанесення шару штучного снігу на блок, що підривається, і прилеглу територію	Дозволяє в 3–5 разів знизити надходження пилу в атмосферу
Створення водяного туману	Подавлення пилу на 30 %
Застосування гідрогелю	Ефективність гідрогелевої забійки за її висоти від 2 м до 4 м сягає 35–54 %
Додавання в заряди ВР гашеного вапна, соди або крейди	Знижує концентрацію ядовитих окислів у 10–50 разів
Зрошування підірваного блоку за допомогою водно-повітряних струменів, створюваних реактивною установкою	Подавлення пилу в атмосфері кар'єру під час вибуху досягає 70–80 %, запобігає здійманню пилу з уступів на 25–40 %
Застосування водних розчинів ПАР	Ефект пилоподавлення досягає 80–99 %

У роботі [37] наведено результати дослідження утворення й підняття ПГХ, що утворюється під час вибухів заводських і нових промислових сумішевих ВР місцевого приготування. Твердим В. В. [38] визначено кількості шкідливих газів у ПВ з урахуванням міцності гірських порід. У

роботі [39] аналітично визначено висоту підняття ПГХ під час вибухових робіт у кар'єрах. Встановлено, що вона залежить, в основному, від початкової швидкості виходу газів із вибухових свердловин. Розглянуто вплив довжини забійки на початкову швидкість ПГХ.

У роботі [6] встановлено залежності межі розсіювання пилу від глибини кар'єру та швидкості вітру після проведення вибуху на гранітному кар'єрі. Показано, що розсіювання пилу після масового вибуху у кар'єрі може сягати відстані 17 км від місця вибуху. Варто відзначити, що проблема поширення забруднюючих речовин із перевищенням ГДК за межі санітарно-захисної зони (СЗЗ) кар'єру є актуальною, адже більшість гірничих підприємств не дотримується цих нормативів, що призводить до збільшення потенційного ризику не лише для працівників, а і для населення прилеглих територій.

Знаючи територію розсіювання пилу, можна зробити висновок про ризик захворювання працюючих та населення прилеглих територій, викликаний додатковим вмістом пилу у повітрі. Із присутніх у повітрі домішок лише пил має виражений кумулятивний вплив на організм людини. Пил володіє здатністю накопичуватись в організмі з поступовим накладенням спочатку незначних змін. Пилові ураження легень відносяться до поширеної форми патології і займають значне місце в загальній структурі захворюваності, що призводить до значних соціально-економічних втрат [40]. Провідне місце у структурі захворюваності населення України, що проживає біля кар'єрів, посідають хронічні бронхіти, рідше пневмоконіози [41]. Пил вражає не лише легені, але і проникає в кров, зумовлюючи ураження інших органів. Окрім того, встановлено, що силікоз викликає функціональні порушення і зміни нервової і судинної системи, кровообігу, структури білків і білкового обміну [42].

У роботі [43] наведено дані щодо захворюваності працівників, що ведуть ПР на відкритих гірничих розробках, за даними поглиблених медичних оглядів. Встановлено, що рівні поширеності хвороб ока та

придаткового апарату, органів травлення, сечостатевої системи в працівників достовірно вищі у порівнянні з контрольною групою. Виявлено залежність рівнів захворюваності працюючих від умов праці, віку та стажу роботи в шкідливих умовах.

Для зменшення потенційних ризиків захворювань населення та працівників необхідно мінімізувати концентрацію забруднюючих речовин. Тому постає необхідність розробки нових та удосконалення відомих організаційних, технологічних та інженерно-технічних заходів з відповідним науковим обґрунтуванням. Класифікацію відомих заходів зі зменшення шкідливих викидів внаслідок роботи ГПК з виробництва щебеню наведено на рис. 1.4 [22].

Аналіз проведених досліджень показав, що проблема мінімізації обсягів шкідливих викидів, утворених внаслідок роботи кар'єрів скельних порід, має не лише екологічний, а й соціальний характер. Даних про чинники, що зумовлюють запиленість та загазованість повітря у кар'єрах та на прилеглих територіях, недостатньо, що не дає змоги в повній мірі оцінити ситуацію щодо забруднення атмосферного повітря та зробити відповідні прогнози.

Дослідження показують, що технологічні процеси на кар'єрах супроводжуються перевищенням концентрацій пилу та газів норм ГДК, завищені концентрації спостерігаються і за межами СЗЗ, що призводить до підвищення ризику захворювання дихальних шляхів працівників та населення прилеглих територій. Відомі заходи зменшення навантаження на навколишнє середовище є трудоємкими і не враховують вимоги до якості гірської маси.

Окрім того, слід зазначити, що рівень використання відходів гірничодобувної галузі України вкрай низький – не більше 12 %, в той час, як у передових країнах світу він сягає 80 % і не опускається нижче 65 % [44]. Це призводить до збільшення об'ємів відвалів пустих порід та, як наслідок, їх пиління.



Рисунок 1.4 – Класифікація способів боротьби зі шкідливими викидами під час масових вибухів на кар'єрах [22]

1.3 Аналіз досягнень з мінімізації впливу масових вибухів на навколишнє середовище за рахунок удосконалення конструкцій заряду та забійки

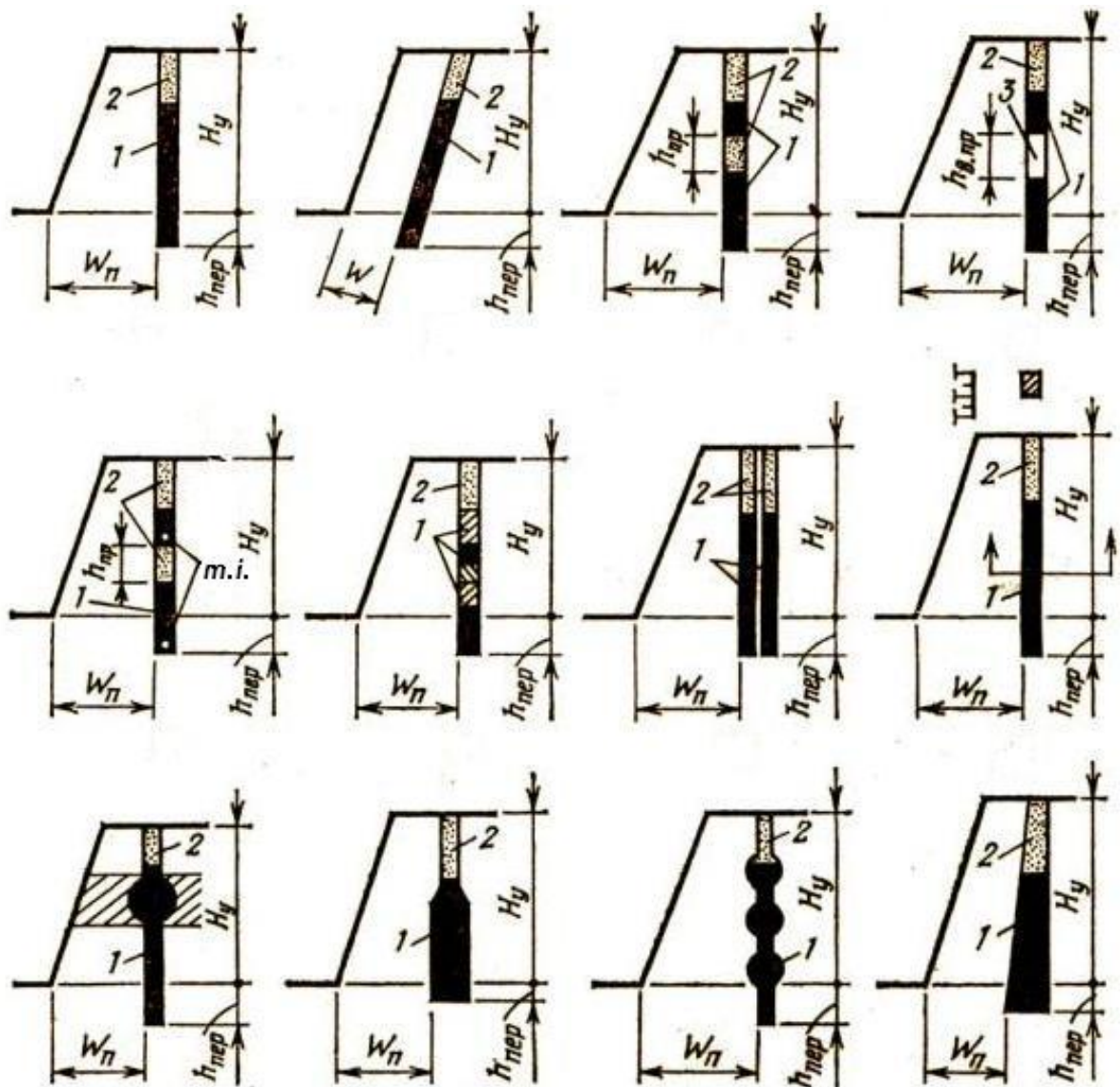
На сьогоднішній день скорочення пилогазовиділення під час масових вибухів досягається за рахунок технологічних, інженерно-технічних і організаційних заходів [7]. Найбільшого поширення набули технологічні заходи, які передбачають удосконалення конструкції заряду та забійки. Удосконалення конструкції заряду реалізується через додавання в заряди ВР гашеного вапна або соди, зменшення діаметру заряду, розділення колонки заряду повітряними та інертними проміжками, зменшення величини перебуру [45]. Застосовувані конструкції свердловинних зарядів наведено на рис. 1.5. Удосконалення конструкції забійки можливе через застосування гідрозабійки, забійки водним розчином поверхнево-активних речовин [7]. Однак такі заходи в процесі застосування їх по окремо не дають бажаного ефекту. Під час додавання в заряди ВР гашеного вапна або соди зменшується кількість шкідливих газів, які утворюються в процесі підривання. При цьому питання пилоутворення та якості гірської маси залишаються відкритими.

Результати досліджень впливу діаметра свердловинного заряду на площу контакту ВР з породою, яка руйнується, а також на вихід дрібних фракцій наведено у роботі [47]. Авторами доведено, що при незмінній питомій витраті ВР зменшення діаметру свердловин призводить до збільшення площі контакту ВР з породою. Це сприяє покращенню умов запирання продуктів детонації (ПД) у свердловинах і підвищенню коефіцієнта корисної дії вибуху. При цьому за рахунок розширення мережі свердловин і відповідного зменшення питомої витрати ВР створюються умови для зменшення виходу дрібних фракцій [47].

Зміна діаметру заряду впливає на інтенсивність пиловиділення під час вибуху. Таке заключення базується на результатах експериментів, наведених у роботі [45], які підтверджують, що зменшення діаметру заряду призводить



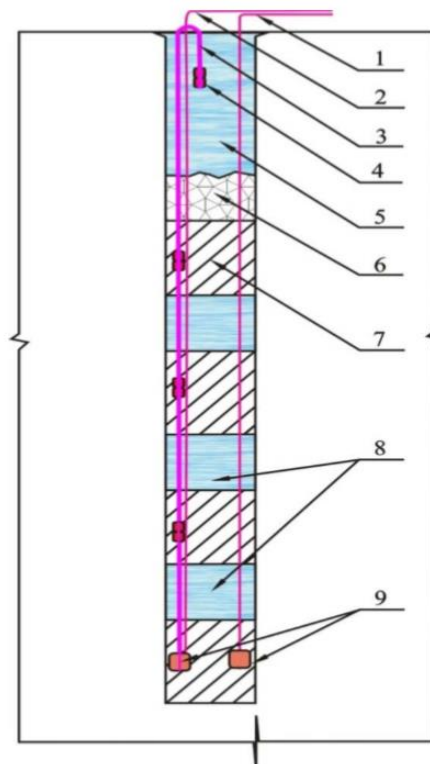
до зменшення виходу дрібнодисперсного пилу. Однак зменшення діаметру заряду сприяє зменшенню зони переподрібнення і не вирішує питання виходу шкідливих газів та однорідності фракційного складу, водночас за розширеної мережі свердловин зумовлює утворення негабаритних фракцій, які потребують додаткового подрібнення.



1 – заряд ВР; 2 – забійка; 3 – повітряний проміжок;  $W$  – лінія найменшого опору;  $W_n$  – лінія найменшого опору по підшві уступу;  $h_{пер}$  – висота перебуру; т. і. – точки ініціювання

Рисунок 1.5 – Основні конструкції свердловинних зарядів, що застосовуються на відкритих гірничих роботах [46]

Коллективом авторів [48] наведено розрахунок параметрів свердловинних зарядів залежно від необхідної інтенсивності подрібнення скельного масиву в умовах кар'єру вапняку Фердерштедт (Німеччина). В роботі запропоновано використовувати комбіновані свердловинні заряди з нижнім ініціюванням (рис. 1.6) та діагональною схемою комутації вибухової мережі.



- 1 – хвилевід з капсулем-детонатором основної мережі системи типу NONEL;  
 2 – хвилевід з капсулем-детонатором дублюючої мережі системи типу NONEL; 3 – детонуючий шнур (ДШ); 4 – проміжні детонатори на ДШ; 5 – гідронабійка в поліетиленовому рукаві; 6 – інертна набійка; 7 – заряд ВР; 8 – проміжок (інертний, водяний, повітряний); 9 – проміжні детонатори мережі неелектричної системи ініціювання типу NONEL

Рисунок 1.6 – Конструкція свердловинного заряду [48]

Автором [49] розроблено конструкцію свердловинного заряду з повітряною порожниною в донній частині свердловини. Її застосування дозволяє знизити питомі витрати ВР до  $0,513 \text{ кг/м}^3$  підірваної гірської маси.

Ларичьовим А. Ю. розглянуто можливість удосконалення конструкції заряду використанням повітряних проміжків. Доцільність широкого впровадження такого рішення підтверджується наведеними експериментальними дослідженнями, що свідчать про зменшення утворення пилу за використання зарядів з повітряними проміжками на 25–30 % [50].

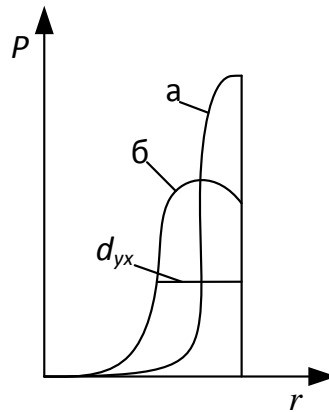
У роботах [51]–[53] узагальнено методи створення повітряних проміжків у свердловинних зарядах. У промислових умовах встановлена ефективність формування повітряного проміжку за допомогою розробленого авторами кумулятивного замикаючого пристрою. Під час проведення масових вибухів цей пристрій використовували в основних і контурних свердловинах. Як показали промислові дослідження, використання кумулятивного ефекту в розосередженому заряді дозволяє зменшити кількість ВР у свердловині в середньому на 15 % у порівнянні із звичайним розосередженим зарядом, і на 25 % – у порівнянні з суцільним.

Курінним В. П. [54] проведено теоретичне дослідження газодинамічних процесів, що протікають в зарядній порожнині під час детонації комбінованих зарядів, зарядів з інертними, повітряними і водними проміжками.

Варто відзначити, що розділення колонки заряду повітряними та інертними проміжками дозволяє лише більш ефективно використовувати енергію вибуху, а збільшення об'єму зони регульованого подрібнення в роботах науково не обґрунтовано.

Для зменшення зони переподрібнення та викиду пилу більш доцільними є розробки конструкцій заряду з повітряними або водними проміжками між зарядом і стінкою свердловини. Наявність повітряного радіального проміжку призводить до зменшення величини амплітуди ударної хвилі, зниження початкового пікового тиску та збільшення ширини амплітуди (рис. 1.7). Це дозволяє збільшити тривалість імпульсу ударної хвилі на оточуюче середовище і призводить до скорочення витрат енергії на дисипативні втрати. У результаті застосування таких конструкцій значно

збільшується коефіцієнт корисної дії енергії вибуху [55]. Проте, такий ефект потенційно може бути посилений за рахунок науково-обґрунтованого вибору заповнювача проміжку між зарядом і стінкою свердловини.



а – без повітряного радіального проміжку; б – за наявності повітряного радіального проміжку;  $d_{yx}$  – ширина амплітуди ударної хвилі (УХ)

Рисунок 1.7 – Амплітуди ударної хвилі [55]

Зменшення величини перебуру дозволяє зменшити обсяги пилоутворення за рахунок скорочення дії вибуху на зону перебуру, однак сприяє утворенню порогів по підшві уступу. В технології підривання, описаній в роботі [45], використано свердловинні заряди без перебуру, в нижній частині яких на рівні підшви уступу формуються повітряні «подушки», названі авторами «Power Deck». До заряджання в свердловину опускається «Power Deck», ємність якого попередньо заповнюється буровим дріб'язком для збільшення ваги конструкції і безперешкодного її падіння на дно свердловини [45]. На думку авторів, ефект повітряної подушки «Power Deck» полягає у сумарній дії енергії УХ та поршневої дії ПВ на забій свердловини. В результаті реалізації запропонованого рішення автори частково вирішили проблему порогів та переподібнених фракцій. Однак трудоємність та дороговизна процесу заряджання не дала можливості широкого застосування на кар'єрах скельних порід.

У роботі [56] проаналізовано відомі конструкції свердловинних зарядів, що використовуються або випробовуються на кар'єрах під час вибухового руйнування порід різного рівня обводненості. Аналізується механізм руйнування порід залежно від конструкції та умов підривання зарядів ВР. Наведено результати подрібнення порід за використання різних конструкцій зарядів.

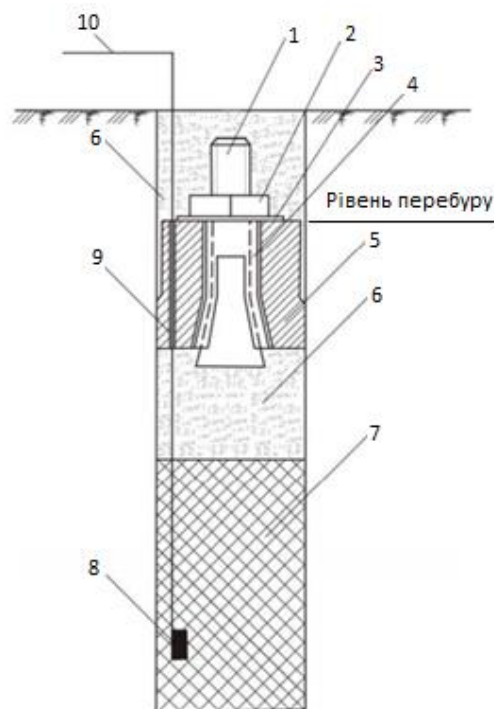
У запропонованій авторами [57] конструкції свердловинного заряду ВР, крім основного заряду з промислової ВР у нижній частині свердловини, розміщують активну забійку з аміачної селітри, флегматизованої 10–15 % водою, до гирла свердловини з проміжними детонаторами. Між активною забійкою і основним зарядом ВР розташовують додатковий пасивний заряд із суміші аміачної селітри та дизельного палива. Проміжні детонатори встановлюють на верхній і нижній межах пасивного заряду.

Вибору раціональної конструкції та матеріалу забійки присвячено багато праць [58]–[72]. Однак у них переважно розглядаються конструкції забійок, що створюють максимальний опір виштовхуванню ПВ. При цьому мало уваги приділяється питанням фільтрації ПД в атмосферу через матеріал забійки [59].

Зокрема, автори роботи [60] пропонують використовувати укорочену до 7–14 діаметрів заряду забійку з повітряним проміжком під нею, яка дозволяє якісно пропрацювати верхню частину уступу і підвищити ступінь дроблення порід в цілому. У роботі [58] відзначається, що підвищення інтенсивності дроблення гірських порід в процесі вибухової відбійки може бути досягнуто в результаті застосування конструкцій розосереджених забійок, які забезпечують не лише щільне запирання в зарядних порожнинах ПД, але і активізацію газодинамічних процесів у забійковому матеріалі за рахунок створення в ньому повітряних проміжків та формування інертних жорстких вставок.

Авторами [61] досліджено залежність ефективності забійки від форми її нижнього торця та величини повітряного проміжку між забійкою і зарядом

ВР. Юрченко А. А. у роботі [62] наведено результати розробки конструкції забійки свердловинних зарядів із використанням гумового корку з анкерним пристроєм (рис. 1.8). У роботі [63] розглянуто процес вибухового руйнування порід за використання забійки у вигляді капсули з криволінійною поверхнею, в яку засипаються сипучі матеріали. Воробйовим В. В. [59] наведено результати досліджень щодо обґрунтування ефективності застосування у свердловинних зарядах комбінованої забійки із розташуванням у ній S-подібної лінії ДШ.



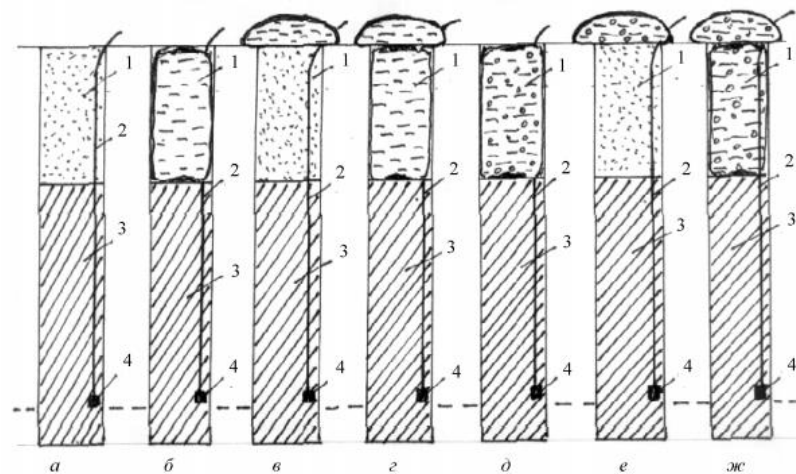
1 – анкерний болт з конусною головкою; 2 – гайка; 3 – шайба; 4 – трубка з прорізами; 5 – гумовий корок; 6 – штатна забійка; 7 – заряд ВР; 8 – бойовик;  
9 – товстостінна трубка; 10 – детонаційний шнур

Рисунок 1.8 – Свердловинний заряд з використанням гумового корку з анкерним пристроєм [62]

Однак відомі розробки конструкцій забійки направлені, у більшій мірі, на підвищення ефективності вибухових робіт. Такі забійки дають можливість зменшити частково викид пилу, однак не дозволяють нейтралізувати

шкідливі гази. Розроблені конструкції, основна увага в яких направлена на їх форму та розміри, і які не враховують якості матеріалу забійки щодо здатності адсорбувати шкідливі гази, не здатні зменшити навантаження на навколишнє середовище від масового вибуху. Спроби вирішити дану проблему були зроблені авторами робіт [64]–[72].

У роботі [64] нейтралізацію шкідливих газів запропоновано здійснювати використанням гашеного вапна безпосередньо у забійці над верхнім торцем заряду. Автори [65] наводять результати експериментів щодо зменшення рівня небезпечних викидів в атмосферу під час здійснення масових вибухів за рахунок застосування водної набивки з домішкою пропарювального розчину, що містить  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . За рахунок цієї домішки досягається коагуляція частинок пилу і часткова нейтралізація токсичних газоподібних речовин. Визначено оптимальні концентрації цього розчину у внутрішній, зовнішній і комбінованій набивках (рис. 1.9).

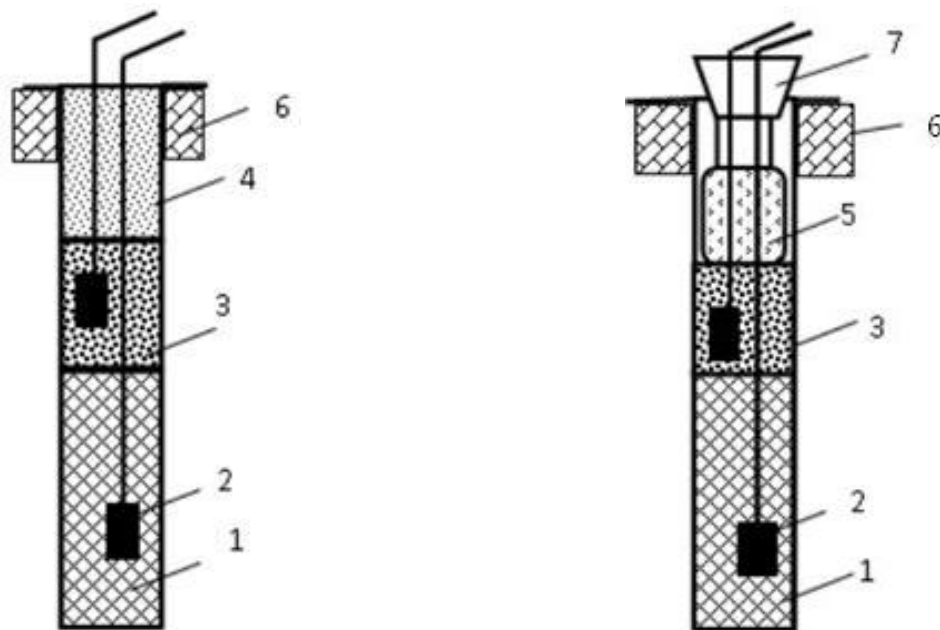


а – звичайна забійка (глиняна); б – водна в поліетиленовому рукаві (внутрішня); в – те ж, зовнішня; г – те ж, комбінована; д – водна з пропарочним розчином в поліетиленовому рукаві (внутрішня); е – те ж, зовнішня; ж – те ж, комбінована;

1 – забійка; 2 – детонаційний шнур; 3 – вибухова речовина; 4 – бойовик

Рисунок 1.9 – Конструкції свердловинних зарядів вибухових речовин із забійками [65]

ДП «НДІБПГ» [24] розроблено спосіб пилогазоподавлення під час масових вибухів із використанням твердої забійки, зволоженої водним розчином вуглелужного реагента концентрації 1–2 мас. %, і захисного екрану у вигляді зволоженого шару порід на поверхні блоку. Автори [66] пропонують вводити до складу забійкового матеріалу солі лужноземельного матеріалу. Введення до складу матеріалу забійки солей лужноземельного матеріалу дозволить знизити під час вибуху більш ніж в 3 рази вихід Нітроген (II) оксиду та Нітроген (IV) оксиду і більш ніж у 2 рази Карбон (II) оксиду. Наявність пластифікатора при цьому допускає формування різної форми самої забійки, що дає можливість істотно розширити межі її застосування. Катановим І. Б. і Скачіловим П. Г. [67] запропоновано в процесі заряджання свердловини простір над стовпцем заряду ВР заповнювати низькощільним складом (рис. 1.10).



а)

б)

а) – з буровим дріб'язком; б) – з піногелевою забійкою;

1 – заряд емуліта ППВ-В; 2 – шашка; 3 – заряд грануліта ПС-2; 4 – буровий дріб'язок; 5 – піногель у рукаві; 6 – зона інтенсивної тріщинуватості масиву;

7 – воронка з рукавом

Рисунок 1.10 – Конструкції свердловинних зарядів [67]



Авторами роботи [68] проведено широкі експериментальні дослідження різних типів забійок вибухових свердловин. Підтверджено більш високу якість замикання ПВ комбінованою забійкою з закладним елементом у порівнянні з засипною забійкою. Лещинським О. В. створено конструкцію універсальної комбінованої забійки, розпірним елементом якої є бетонний конус, що встановлюється у вибухову свердловину на засипну ділянку із бурового шламу [69]. У роботі [70] доведено, що під час формування комбінованої забійки пошарово, із чергуванням шарів бурового шламу і елементів кам'яного матеріалу, опір її викиду тиском ПВ різко зростає, що дозволяє скоротити довжину забійки вдвоє. Ученими Східного НДГРІ разом із спеціалістами Антоновського РУ [71] розроблено декілька типів забійок: забійка неповна (зі зменшеною масою забійкового матеріалу), ступенева забійка (забійковий матеріал розосереджено на секції повітряними проміжками), заряд, що замикає.

У роботі [72] запропоновано алгоритми розрахунків впливу допоміжних матеріалів забійки ВР на КБ системи «ВР – допоміжні матеріали». На прикладі Грамоніту 79/21 показано вплив допоміжних матеріалів на ентальпію процесу вибуху та склад ПВ.

У результаті проведеного аналізу технологічних і конструктивних рішень існуючих способів забійки свердловинних зарядів варто відзначити наступне. Забійки з удосконаленою їх формою або інертними проміжками по довжині або між забійкою і зарядом спрямовані на підвищення ефективності технологічного процесу і не враховують сучасні вимоги щодо стану атмосферного повітря робочої зони та прилеглих територій. Окрім того, є досить трудоємними щодо їх формування у заряді. Заливні забійки, окрім того, що є дорогими за компонентним складом, потребують виготовлення спеціальних ємностей та кріплень для формування їх у свердловинах. Забійки у вигляді замикаючого заряду застосовують у тих випадках, коли верхня частина уступу складена більш міцними і щільними породами у порівнянні з нижньою його частиною. Застосування таких забійок призводить до

дроблення, інколи виносу нижньої частини уступу і просідання верхньої щільної частини без будь-якого руйнування. Є небезпека виникнення повітряної УХ, властивої підриванню без забійки. Тому розробка універсальної забійки, яка б забезпечувала необхідний фракцій склад, з низькими трудовими та фінансовими затратами, є актуальним науково-практичним завданням.

Підводячи підсумок виконаному аналізу, варто відзначити, що на кар'єрах скельних порід розроблені заходи не отримали широкого застосування. Основними причинами є складність, трудоємність та дороговизна з однієї сторони, і низький їх вплив на результати вибуху (фракційний склад гірської маси та обсяг пилоутворення) з іншої. У зв'язку з цим на кар'єрах скельних порід до сьогодні існує проблема високого відсоткового вмісту некондиційних фракцій гірської маси у фракційному складі. Зокрема переподрібнених, котрі, на відміну від фракцій більших за кондицію, не можливо довести до кондиційного розміру. Саме переподрібнена фракція є джерелом пилоутворення на кар'єрі і займає основну долю у відходах гірничого виробництва. До цих пір не виявлено які саме параметри конструкції заряду можна змінювати без зниження ефективності дроблення і які, водночас, мають суттєвий вплив на розміри зони переподрібнення. Найбільш доцільним на даному етапі вважається застосування проміжку між зарядом і стінкою свердловини, заповненого водою. Доведено, що вода, виступаючи демпфером, зменшує розміри зони переподрібнення і має більший ефект ніж повітря. Однак до сьогодні не визначено вплив характеристик і властивостей заповнювача проміжку між зарядом і стінкою свердловини та його величини на результати руйнування порід вибухом. Процес руйнування скельних порід є, в більшій мірі, некерованим.

Проведення практичних експериментальних досліджень в обраній галузі ускладнюється трудомісткістю та великою вартістю. Неможливість постійного практичного підтвердження тих чи інших доробок зумовлює

необхідність більш глибокого та охоплюючого вивчення та доопрацювання теоретичних робіт за даним напрямком. Високий рівень антропогенного навантаження та жорсткі вимоги щодо використання природних ресурсів спонукають до пошуку нових та удосконалення вже існуючих заходів, спрямованих на екологізацію ГПК з виробництва щебеню.

1.4 Аналіз досліджень щодо підвищення рівня ресурсозбереження та екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню за рахунок параметрів буровибухових робіт

Одним із найважливіших етапів під час проектування ПР у масивах скельних порід, який визначає як ефективність процесу, так і рівень ресурсозбереження та екологічної безпеки, є визначення розмірів мережі свердловин та напрямку відбійки. Саме від геометрії та розмірів мережі розташування свердловин залежить розмір зони переподрібнення та розмір зони регульованого дроблення, а отже і обсяг пилоутворення. Розмір мережі свердловин визначає питому витрату ВР, а таким чином, і обсяг утворених під час вибуху шкідливих газів. Значний внесок у вирішення завдань за даним напрямком зробили такі відомі вчені як: Баум Ф. А., Вовк О. О., Воробйов В. В., Воробйов В. Д., Демидюк Г. П., Друкований М. Ф., Єфремов Е. І., Комір В. М., Кравець В. Г., Кривцов М. В., Кузнєцов В. М., Крисін Р. С., Кутузов Б. М., Кучерявий Ф. І., Михалюк А. В., Мосинець В. М., Петренко В. Д., Федоренко П. Й., Ханукаєв О. Н., Шапурін О. В., Лангефорс У., Кільстрем Б. та ін.

Зокрема, у роботі [73] обґрунтовано, що розрахунок маси зарядів ВР необхідно проводити з урахуванням властивостей гірських порід та характеристик ВР, запропоновано схеми з'єднання і послідовності підривання зарядів за багаторядного їх розміщення, наведено результати дослідження ефекту взаємодії зарядів під час вибуху, проведено оцінку ролі співударіння підірваної гірської породи, обґрунтовано підхід до визначення

часу сповільнення в процесі масового вибуху. Курінним В. П. [74] на основі коефіцієнту взаємного розміщення лінії дна й великої осі зони руйнування запропоновано визначення коефіцієнту зближення зарядів.

Методика оцінки частки механічної енергії, переданої в масив, і закономірності її просторового розподілу під час вибухового руйнування гірських порід наведені у роботі [75]. Зокрема, показано результати аналізу масових вибухів, які дозволяють зробити висновок щодо рівномірності розміщення зарядів ВР на уступі кар'єру.

Для підвищення ефективності вибухового руйнування тріщинуватого гірського масиву за різних гірничо-геологічних та гірничо-технічних умов, можливості врахування глибини буріння свердловин у масиві для конкретних умов, авторами [76] запропоновано два варіанти буріння масиву: з порядним розташуванням свердловин і з клиновим врубом. Обидва способи розроблено на основі теоретичних закономірностей утворення зон руйнування в процесі дії на масив енергії вибуху подовженого заряду та включають в себе визначення величини лінії найменшого опору, відстані між свердловинами, глибини буріння свердловин і величини заряду. Також, Андрієвським А. П. [77] розроблено методику визначення схем розташування свердловинних зарядів і розрахунку їх параметрів під час проектування ПР, що виключає необхідність перебування та забезпечує зниження питомих витрат на буріння та ВР на 15 %, а також зниження виходу негабариту до 1,7 %.

У роботі [78], виходячи із аналізу проведених масових вибухів та отриманих результатів, побудована номограма, яка дозволяє для конкретних умов визначати показники ПР та область економічно доцільного застосування розширеної мережі розташування свердловин.

Залежність площі мережі свердловин та величини питомої витрати ВР від числа рядів свердловин за підривання зарядів за порядною, клинвоюю та діагональною схемами визначено авторами [79]. Окрім того, встановлено залежності коефіцієнта, що характеризує зменшення виходу негабариту за умов переходу з однорядного на багаторядне підривання, від питомої витрати

ВР за підривання двох, трьох, чотирьох і п'яти рядів свердловинних зарядів ВР в породах з крупноблочною, середньоблочною та монолітною структурою масиву. А також коефіцієнта, що характеризує зменшення виходу негабариту за умов переходу з порядної на інші схеми підривання, від питомої витрати ВР за підривання зарядів за клинвоюю, трапецеподібною, хвилевою та діагональною схемами.

Авторами [80] розроблено метод оптимізації параметрів БПР за енергетичними затратами для технологічних потоків кар'єру, отримано комплекс аналітичних залежностей ефективності основних процесів гірничого виробництва від єдиного показника – якості буровибухового руйнування масиву, що оцінюється оптимальним розміром середнього шматка підірваної гірської маси. Встановлено залежність діаметра свердловини від межі міцності порід на стиснення для різної висоти уступу [81].

У роботі [82] встановлено залежність міри дроблення гірської маси від щільності заряджання ВР, розмірів мережі свердловин, їх діаметра та довжини заряду. Окрім того, обґрунтовано визначення лінії найменшого опору, відстаней між зарядами, параметрів заряду та питомої витрати ВР з урахуванням величини середнього шматка породи після вибуху, блочності масиву порід, їх щільності та міцності, роботоздатності ВР, висоти уступу та діаметра свердловини.

Виноградовим Ю. І. [83] запропоновано інваріантний метод розрахунку параметрів БПР на заданий гранулометричний склад підірваної гірської маси. Доведено, що з використанням такого методу можна з достатньою достовірністю визначати розміри шматків підірваної гірської маси, наведено залежності зміни показника ефективності вибухового дроблення від співвідношення лінії найменшого опору і маси заряду.

Паничшовим А. А. визначено особливості технології буровибухових робіт у шаруватих масивах гірських порід. Підбирались найбільш економічні ВР для конкретних умов, проводилось районування порід родовища за

вибуховістю, досліджувалась залежність питомої витрати ВР від властивостей гірських порід і обирались оптимальні параметри БПР для кожної ділянки блоку [84].

Робота [85] присвячена використанню сейсмічного методу для забезпечення проектування БПР необхідною інформацією про властивості гірських порід в умовах їх природнього залягання. Можливість сейсмометрії безперервно досліджувати комплекс характеристик неоднорідного масиву створює основу для прогнозу реакції геологічних об'єктів практично на будь-які впливи. Проведені дослідження і розрахунки показали, що витрати на БПР можуть бути знижені на 15–20 %.

Бруякіним А. В. [86] встановлено залежність величини лінії опору по підосві уступу від необхідного ступеня подрібнення, питомої витрати ВР, міцності та тріщинуватості породи, діаметра заряду та прийнятих розмірів габаритних шматків. Залежність лінії найменшого опору від діаметра заряду, щільності заряджання, швидкості детонації ВР, межі міцності на стиснення та на зріз, коефіцієнта структурного послаблення встановлено у роботі [76].

Вплив розподілу щільності енергії вибуху на ефективність відбійки гірських порід досліджено у роботі [87]. Автором на основі розрахунку та аналізу числових значень щільності енергії вибуху обрано раціональні параметри БПР, які дозволяють зменшити об'єм буріння та витрату ВР з одночасним збереженням якості дроблення гірської маси.

Слід відзначити, що значна кількість праць присвячена теоретичним дослідженням із визначення розмірів мережі свердловин, в яких автори виходять із припущення про раціональну величину перекриття радіусів зон руйнування від дії двох зарядів. При цьому величина перекриття не має достатнього наукового обґрунтування з точки зору екологічної безпеки.

У роботі [88] обґрунтовано та встановлено залежність якості проведення буровибухових робіт в умовах родовищ нерудної будівельної сировини від точності фактичного положення усть вибухових свердловин. Встановлено аналітичну залежність між помилкою розташування устя

вибухової свердловини та якістю підірваної гірської породи, на основі якої розраховано раціональні значення параметрів БПР.

Авторами [89] розглянуто й проаналізовано основні фактори, що впливають на ефективність видобування було-щебеневої сировини. Запропоновано й обґрунтовано оптимальні параметри і схеми розташування вибухових свердловин. Виконано порівняльний аналіз застосування квадратної і шахової схем розміщення вибухових свердловин.

У роботах [90]–[92] обґрунтовано раціональні відстані між зарядами з урахуванням анізотропії масиву, розроблено алгоритм проектування БПР. Зокрема, у роботі [90] встановлено аналітичні залежності показників якості пропрацювання підосви уступу від параметрів та геометрії мережі розташування зарядів на уступі кар'єру. Авторами [91] наведено розрахунок параметрів ПР із застосуванням наступного алгоритму: визначення характеристик масиву; вибір ВР на основі її працездатності з урахуванням фізико-механічних властивостей породи; розрахунок параметрів ПР залежно від властивостей породи та ВР. У статті [92] описано результати визначення найбільш ефективної величини зміщення свердловин в одному ряді відносно іншого під час формування мережі. Запропоновано раціональні розміри мережі підривання свердловинних зарядів, які враховують усереднений за довжиною заряду радіус зони дроблення, величину коефіцієнта анізотропії та кут між напрямком максимального руйнування і лінією забою.

Авторами [93] запропоновано здійснювати вибір раціональних параметрів БПР за показником енергоємності буріння. Встановлено залежності питомої витрати ВР та розмірів мережі свердловин від енергоємності буріння.

У роботі [94] показано, що під час підривання із застосуванням просторово орієнтованої системи свердловинних зарядів, а також підривання зарядів з зустрічним розвитком вибуху виникає суттєвий позитивний ефект. Встановлено, що за однакового напрямку ініціювання суміжних зарядів процес взаємодії полів напружень характеризується великою неоднорідністю

з переважанням стискаючих напружень. Водночас доведено можливість регулювання поля напружень за рахунок зміни напрямку ініціювання свердловинних зарядів.

Абдулкасимовим А. М. [95] розроблено методику визначення параметрів БПР, яка лягла в основу програми «Project». Розроблена програма «Project» передбачає вибір усіх основних параметрів БПР, що гарантують отримання необхідних за технічним завданням результатів вибухів і необхідну безпеку робіт. В процесі обґрунтування параметрів, застосовуваної техніки і технології відбійки враховано, встановлений автором, сукупний вплив природних і техногенних факторів на якість БПР та їх безпеку.

У роботі [96] розроблено математичну модель руйнування гірських порід вибухом свердловинного заряду ВР. Авторами [97] показано зміну величини середнього шматка дробленого продукту в залежності від орієнтації шаруватості в моделі масиву та напрямку відбійки.

Авторами [98] запропоновано методику розрахунку параметрів БПР, що включає всі основні показники якості вибухового руйнування: інтенсивність дроблення, параметри розвалу, міру пропрацювання підошви та порушеність тильної частини уступу.

Дослідженнями [73]–[120] досягнуто позитивних результатів щодо вивчення впливу різноманітних чинників на вибір параметрів масових вибухів і їх результати. Однак більшість досліджень направлені на підвищення економічних показників підприємства, пришвидшення темпів розробки, і не враховують під час обґрунтування параметрів розташування свердловин чи напрямку відбійки гірської маси екологічну складову. Розроблені на основі перелічених досягнень рекомендації та методики проектування параметрів БПР базуються, в основному, на емпіричних залежностях, які в достатній мірі не враховують вплив властивостей і структурно-текстурних особливостей породи у взаємозв'язку з характеристиками ВР на результати вибуху та стан навколишнього середовища.



Спробу вирішити питання підвищення рівня екологічної безпеки та ресурсозбереження під час роботи ГПК зроблено авторами у роботах [121]–[126]. Зокрема, у роботі [121] встановлено залежність об'єму переподрібнених фракцій, утворених у процесі буріння, від параметрів свердловини.

З метою підвищення оперативності проектування параметрів БПР розроблено та впроваджено у промисловість значну кількість автоматизованих програм [127]–[133]. В Україні знайшов застосування програмний комплекс K-MINE, зокрема для проектування БПР – модуль K-MINE для відкритих гірничих робіт [127] (рис. 1.11). Серед імпортованих інтегрованих гірничо-геологічних програмних пакетів відомі: Datamine, Великобританія; Techbase, США; Gemcom, Канада та ін. [129].



Рисунок 1.11 – Структурна схема роботи системи проектування і управління буровибуховими роботами із застосуванням K-MINE [128]

Ще одним поширеним продуктом є програмний комплекс Blast Maker, що орієнтований на збір інформації в процесі буріння свердловин та коригування параметрів мережі свердловин залежно від фізико-механічних властивостей порід даного блоку. За допомогою Blast Maker можна спрогнозувати результати вибуху у відповідності з обраними параметрами проекту. Прогноз вибуху подається у вигляді трьохвимірною зображення [130], [131]. HOLLSET – програмне забезпечення, що дозволяє автоматизувати процес створення паспорту буровибухових робіт. Результатом операцій є визначення об'єму підірваної маси за рахунок обробки введених параметрів мережі свердловин. Програмне забезпечення дає можливість варіювати параметрами мережі задля отримання потрібного кінцевого результату [130], [132].

Авторами [133] розроблено комп'ютерний метод районування кар'єрного поля за вибуховістю гірських порід з урахуванням застосовуваної на підприємстві ВР і розміру кондиційного шматка, який дозволяє оперативно, з використанням геологічної моделі родовища, отримувати карти вибуховості будь-якої ділянки кар'єрного поля. За картами вибуховості визначається розрахункова питома витрата ВР, що використовується під час вибухового руйнування порід.

Аналіз розробок програмного забезпечення для розрахунку параметрів БПР показав, що на базі таких програм розрахунок проводиться без урахування більшості фізико-механічних властивостей та структурно-текстурних особливостей гірських порід і у відповідності до готового паспорту, який вимагає у кожному окремому випадку коригування. Відсутня екологічна складова в процесі оцінки вибуху. Усе це призводить до утворення заколів, високого виходу переподрібнених фракцій, а отже і пилу, значного вмісту в атмосфері шкідливих газів.

1.5 Аналіз досліджень впливу вибухових речовин та засобів їх ініціювання на результати вибухового руйнування скельних порід та довкілля

Розвиток економіки України значною мірою визначається ефективністю гірничо-металургійного комплексу. Головним процесом видобутку скельних гірських порід є вибухові роботи, які вирішальним чином впливають на кінцеві результати виробництва щебеневої продукції та її собівартість, стан довкілля і здоров'я людей. Водночас тип ВР є визначальним не тільки для вибору мережі свердловин і якості подрібнення порід, але й для зниження втрат нерудних корисних копалин, пов'язаних з надмірним подрібненням породи під час вибуху [16].

Істотні відмінності мають критерії оцінки ефективності вибуху для гірничих підприємств, які виробляють високоякісний щебінь для дорожнього, промислового і житлового будівництва. Тут потрібно не тільки забезпечити під час вибуху відсутність негабаритів і досягнення заданого середнього розміру шматків, важливо не допустити переподрібнення породи – гранітів, діабазів, габро. Пилоподібна фракція, що утворюється в ближній зоні вибуху зарядів високобризантних ВР, і часто перевищує 20 % загальної гірської маси, є прямою втратою гірничого виробництва [134].

До останнього часу для руйнування гірських порід в кар'єрах України використовували тротиліві ВР, які супроводжуються серйозною небезпекою під час виготовлення, транспортування, зберігання та застосування. Як відомо, тротил є токсичною речовиною, що викликає понад 30 небезпечних захворювань людини, завдає шкоди навколишньому середовищу. Використання неводостійких тротилівих ВР призводить до забруднення нітратами водоносних горизонтів, а під час масових вибухів в кар'єрах – до утворення значної кількості продуктів з високою газовою та дисперсною токсичністю (чадний газ, високодисперсна сажа) [16].

Важливим напрямком підвищення ефективності і безпеки вибухових робіт у кар'єрах є розширення області застосування вибухових сумішей найпростішого складу типу AN – FO (АС – ДП) або аміачна селітра – дизельне паливо. Це продиктовано не лише необхідністю скорочення витрати дорогих, дефіцитних тротиловмісних ВР, що призводить до подорожчання вибухових робіт, а й підвищенням вимог до технологічної та екологічної безпеки ВР [135].

Виходячи з енергетичних та екологічних показників ВР, для руйнування порід середньої і нижче середньої міцності доцільно використовувати найпростіші ВР, ефективність яких значною мірою залежить від фізичної стабільності їх складів. Стабілізація вибухових сумішей типу АС – ДП досягається шляхом введення до їх складу порошків з високорозвиненою питомою поверхнею (подрібнені гранули аміачної селітри, алюмінієвий порошок, відходи продуктів збагачення гідрометалургійних заводів і т. д.), що дозволяє зменшити вміст рідкої горючої добавки [136].

Зокрема, ЗАТ «Техновибух» розроблено ряд типів промислових ВР для заряджання свердловин з формуванням зарядів у поліетиленові рукави, а саме: полімікси ГРІ, комполайти ГС, комполайти ПС та ін. [137]. У роботі [138] наведено результати аналізу термодинамічних характеристик тетрамонів (підвид комполайтів), у [139] – їх технічна ефективність. У роботі Прокопенка В. С. та Лотоуса К. В. [140] наведено рецептури поліміксів і комполайтів.

Підвищення ефективності ВР найпростішого складу і розширення області їх застосування у процесі відбійки гірських порід різної міцності і обводненості можливе шляхом збільшення потужності вибухових сумішей і діаметра заряду. Однак для підприємств нерудної промисловості такий підхід може виявитися неприйнятним. По-перше, на цих підприємствах в останні роки активно впроваджуються бурові верстати малого діаметру, що для ВР, які мають великі критичні діаметри, нераціонально. По-друге, підвищення

щільності заряду веде до збільшення швидкості детонації, що позначиться на збільшенні обсягу переподрібненої гірської маси. Тому потрібні компромісні рішення, засновані на створенні технологічно надійних способів формування зарядів у свердловинах. У всіх випадках визначальними є економічні та екологічні показники [135].

На гранітних кар'єрах доля ВР найпростішого складу коливається в межах 8–10 %. Однак в останні роки для відбійки гірських порід на гранітних кар'єрах почали активно застосовувати емульсійні ВР (ЕВР), частка яких складає більше 40 % уже близько 10 років [141].

Експериментальними вимірами встановлено, що під час підривання ЕВР відбувається значне зменшення забруднення навколишнього середовища у порівнянні з процесом підривання промислових ВР, які містять тротил (під час вибуху 1 кг Гранулотолу в атмосферу кар'єру виділяється 240 л, 1 кг Грамоніту – 140 л, 1 кг ЕВР – 50 л отруйних газів в перерахунку на умовний Карбон (II) оксид) [142]. Максимальний об'єм токсичних газів під час вибуху ВР (л/кг) за даними [143] показано на рис. 1.12.

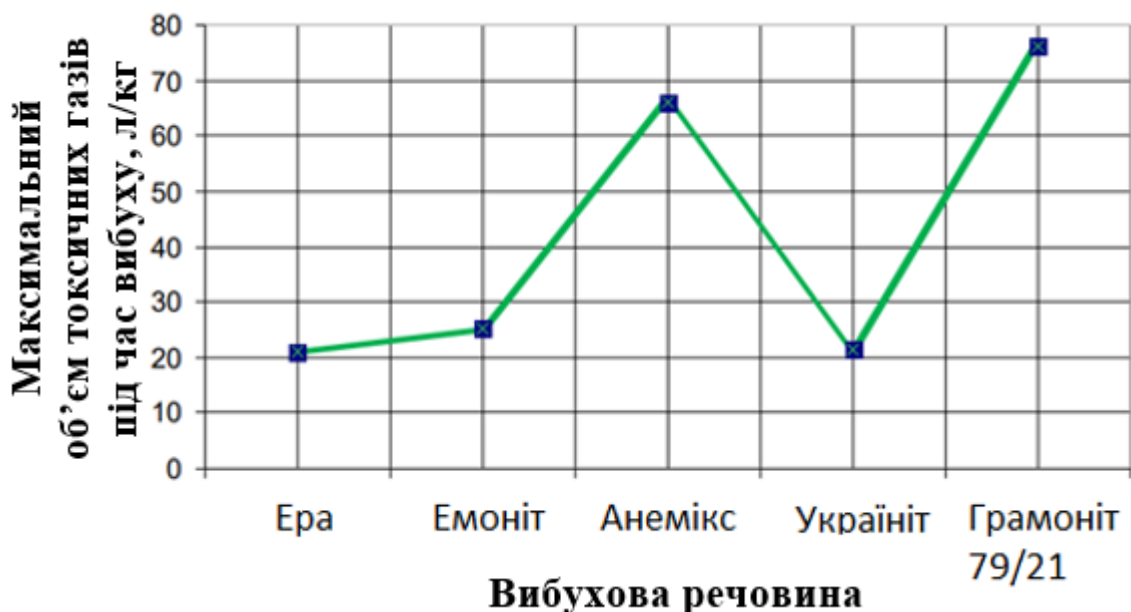


Рисунок 1.12 – Максимальний обсяг токсичних газів під час підривання вибухових речовин за нормальних умов

Виготовлення ЕВР відбувається на місці вибуху: компоненти змішуються в зарядних машинах безпосередньо перед зарядженням в свердловину [144]. До складу ЕВР не належать вихідні матеріали, що класифікуються як ВР. ЕВР набувають вибухових властивостей лише на кінцевій стадії приготування та практично не чутливі до випадкового ініціювання від тертя, механічних впливів або вогню і є безпечнішими у виробництві ніж інші промислові ВР. Крім того, ці речовини не містять у своєму складі високотоксичні речовини [145].

На даний час в Україні проводиться виробництво для застосування на відкритих гірничих роботах декількох різних видів промислових ЕВР, що випускаються під марками «Україніт», «Анемікс», «Емоніт» і «Гранеміт», «ЕРА» та ін. [146].

Анемікс-70 і Анемікс-80 виготовляють за технологією компанії «Orica» і відрізняються вони масовою долею емульсійної частини. У своєму складі Анемікс містить гранульовану або пористу аміачну селітру, воду, розчин газогенеруючих добавок і нафтопродукти. Для виготовлення емульсійної речовини необхідні компоненти, до яких, у рамках прийнятої технології, висувають досить високі вимоги за хімічною чистотою [143].

Емульсійні ВР марки «Ера» ДП «НВО «Павлоградський хімічний завод» складаються з водо-масляної емульсії, наповненої аміачною селітрою і, за необхідності, енергетичними технологічними добавками. Вони вигідно відрізняються від тротиловмісних ВР і мають певні переваги порівняно з аналогічними ЕВР (Україніт, Анемікс, Емоніт) (рис. 1.13) [143], [147].

ЕВР Емоніт є сумішшю невибухових компонентів – емульсії емоніта, водного розчину нітриту натрія і гранульованої аміачної селітри (марки А і Н) або без неї (марки А100, Н100) [148].

Гранеміти це сумішеві ВР на основі пореміта (емульсії) і гранульованої аміачної селітри або ігданіта. Щільність зарядження від 1200 кг/м<sup>3</sup> до 1400 кг/м<sup>3</sup>, за потужністю дещо перевершують Гранулотол, тому їх ефективно можна використовувати під час підривних робіт замість

Гранулотолу. За швидкістю детонації Гранеміти знаходяться на рівні Гранулотолу, але мають порівняно з ним значно менший питомий об'єм шкідливих газових викидів [16]. У роботі [149] представлено результати практичного досвіду виготовлення Гранеміту в промислових умовах та застосування його на гранітних кар'єрах України. Наведено компонентний склад Гранеміту та його основні фізико-хімічні й вибухові характеристики.

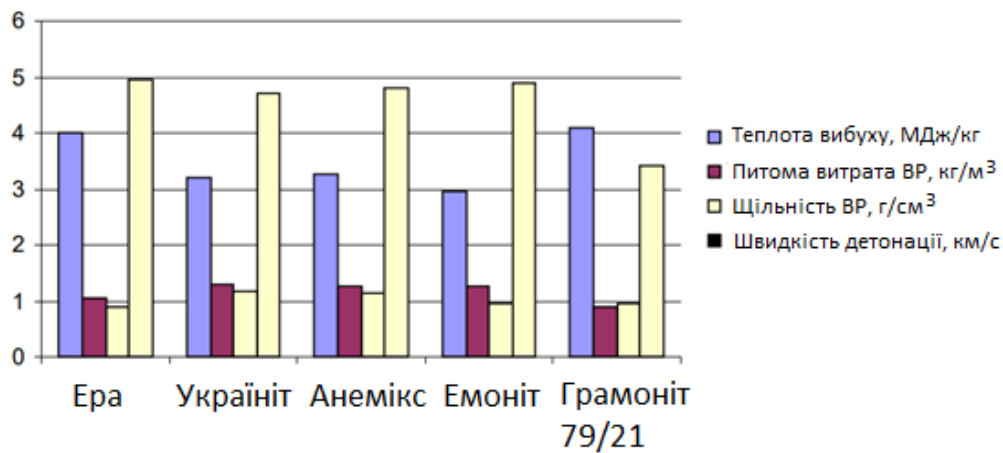


Рисунок 1.13 – Порівняльна характеристика вибухових речовин за усередненими показниками [143]

Україніт ПП-1 – ЕВР підвищеної потужності (розробники – Національний гірничий університет, Український державний хіміко-технологічний університет і ТОВ «Екком»). Україніт ПП-1 створений як водостійка ЕВР для дроблення міцних і дуже міцних порід методом свердловинних зарядів на кар'єрах [150].

Популярними в Росії є ЕВР типу Сібірїт, розроблені ЗАТ «Нітро Сибір» [134], за кордоном широко застосовують ЕВР типу: Apex, Power AN, Iregel, Iremex, Tovex E, Toven E (США), Emulit, Emulan (Швеція), Tovex, Tovan (Канада), Emulgite (Німеччина), ВМЕ (Китай), Kimit (Фінляндія), Chita-Mite (Японія) [151].

Аналіз досвіду України, США, Росії, Швеції та інших країн у сфері створення, виробництва і застосування ЕВР дозволив зробити наступні

висновки. Компоненти ЕВР є безпечними і не належать до вибухових матеріалів. ЕВР мають низьку чутливість до механічних і теплових впливів і підвищену водостійкість. Зазвичай не містять дорогих і дефіцитних компонентів, але водночас є досить потужними. На відміну від тротиловмісних дають можливість використовувати механізоване зарядження свердловин, а вибухові властивості з'являються у невибухових компонентів через нетривалий час. Здійснюють менше навантаження на навколишнє середовище, однак його не виключають. Незважаючи на схожість компонентного складу різних ЕВР, відмінності в технологіях і способах їх виготовлення впливають на результати вибухового руйнування скельних порід в умовах підвищення вимог до отримання гірської маси необхідного гранулометричного складу та до екологічної безпеки.

Окрім аналізу ринку ВР та їх характеристик варто проаналізувати дослідження науковців у сфері їх застосування.

У роботі [152] теоретично обґрунтована і практично доведена можливість отримати ЕВР з регульованими енергетичними характеристиками залежно від фізико-хімічних властивостей сенсibilізаторів на базі однієї матриці для подрібнення гірської породи будь-якої міцності і обводненості, а також доведена можливість виготовлення і застосування ЕВР без газогенеруючих і аеруючих добавок.

Ромашком А. М. [153] наведено дані про вплив типу ВР на вихід дрібних фракцій в процесі проведення ПР на гранітному кар'єрі. Використання ЕВР під час відбійки нерудних корисних копалин в силу високої щільності і швидкості детонації призводить до збільшення обсягу переподрібнених фракцій (втрат корисних копалин).

Авторами [154] розглянуто залежність пористості та щільності ЕВР Анемікс від часу протікання процесу газогенерації. Наведено залежність гранулометричного складу зруйнованого масиву від швидкості детонації ЕВР.



У роботі [155] показано, що ЕВР на базі бінарного розчину аміачної та кальцієвої селітр у діапазоні пористості, що становить найбільший практичний інтерес, мають працездатність не нижче ніж ЕВР на основі монорозчину аміачної селітри та на основі бінарного розчину аміачної та натрієвої селітр. Водночас ЕВР на базі бінарного розчину аміачної та кальцієвої селітр мають суттєво менші значення критичного діаметру.

Авторами [156] проведено дослідження властивостей ЕВР на прикладі марки «ЕРА» для визначення фізичних параметрів, які характеризують безпеку застосування ЕВР під час ПР. Визначено, що такими параметрами можуть бути еквівалентний час стабільного стану емульсії ВР, який характеризує міжфазну молекулярну стабільність ВР, а також ефективний діапазон щільності ЕВР, що характеризує наявність у ВР заданих вибухових властивостей.

Колективом авторів [157] проведено оцінку умов збудження детонації в ЕВР, сенсibiliзованих газовими порами, під дією ковзної детонаційної хвилі, спричиненої вибухом лінійного проміжного детонатора. Досліджено вплив хімічного складу ЕВР на характер розвитку детонаційних процесів.

У роботі [158] встановлено багатофакторну залежність вибухових і експлуатаційних характеристик ВР на основі зворотних емульсій від їх компонентного складу, яка дозволяє отримати ВР з необхідними енергетичними та детонаційними характеристиками, що забезпечують необхідну якість підготовки гірської маси для виймання та транспортування в конкретних гірничотехнічних умовах.

Авторами [147] отримано результати, які доводять, що енергія вибуху ЕВР марки «ЕРА», виготовлених з використанням змішувально-зарядних машин типу SMS, UMS, дозволяє ефективно руйнувати масиви порід з міцністю більше 18 за шкалою Протод'яконова і з високим рівнем обводнення.

Лучком А. І. [159] отримано для п'яти нових промислових сумішевих ВР місцевого приготування та двох еталонних (Грамоніт 79/21 та Ігданіт):

рівняння реакції вибухового перетворення, значення термодинамічних і детонаційних параметрів вибуху, а також двочленні рівняння стану газоподібних ПВ. Уперше для досліджуваних ВР визначено теплоту та температуру вибуху, коефіцієнти адіабати та політропи, кількість газоподібних і твердих ПВ та інші параметри, розраховано рівняння стану газоподібних ПВ у вигляді двочленної функції від щільності. У роботах [23], [37] наведено результати дослідження утворення й підняття ПГХ, що формується під час вибухів заводських і нових промислових сумішевих ВР місцевого приготування.

Авторами [160] викладено теоретичні основи та наведено практичні результати детонації гранульованих ВР. Встановлено оптимальні параметри щільності заряджання заряду із гранульованих ВР. Показано ефективність дії гранульованих ВР в осадових породах під час застосування нестационарних режимів детонації.

У роботі [161] представлено математичну модель розрахунку параметрів руйнування скельного блочного масиву конверсійними октоген- та гексогенвмісними вибуховими матеріалами. Показано, що характер руйнування гірських порід за умов використання потужних бризантних ВР пов'язаний з розміром окремоностей. Для дрібноблочних масивів, в яких розмір окремоностей не перевищує 0,5 м, застосування даних вибухових матеріалів призводить до переподрібнення гірської маси.

Калякіним С. О. та Лабінським К. М. [162] наведено теоретичні аспекти дії динамічно-імпульсної фази вибуху заряду ВР на гірські породи. Викладено результати експериментальних досліджень на доломітному кар'єрі в потужних шарах вапняку зосереджених зарядів із промислових і бризантних ВР. Отримано емпіричну залежність, яка дозволяє за параметрами детонації ВР і акустичною жорсткістю гірських порід визначати максимальний радіус руйнування зосередженим зарядом ВР.

Авторами [163] запропоновано критерій оцінки ефективності ВР, який дозволяє оцінювати ефективність ВР за різних ступенів розширення ПВ або в

перерахунку за різної тривалості відбору енергії від ПВ в процесі здійснення ними механічної роботи.

Воробйовим В. В. та Долударьовим В. М. [164] наведено результати теоретичних досліджень впливу енергоактивного газоутворюючого компонента в заряді ВР на зміну тиску ПД залежно від часу. У процесі підбору оптимальних параметрів заряду необхідно домагатися того, щоб газоутворююча добавка повністю згорала до закінчення процесу руйнування середовища або розвитку камуфлетної порожнини. Це підтверджується лабораторними і полігонними експериментами, які показали, що наявність в заряді 15–25 % газоутворюючої добавки, рівномірно змішаної з ВР або розташованої у вигляді зовнішньої оболонки, дозволяє домогтися підвищення ефективності вибухового навантаження середовища на 20–30 %.

У роботі [165] встановлено, що швидкість хімічної реакції вибухового перетворення ВР залежить від типу хімічного зв'язку у ВР, кристалічної структури та швидкості детонації. За змінами початкової щільності ВР можна визначити ступінь переходу енергії ПД в механічну енергію дроблення гірських порід.

Виноградовим Ю. І. [166] оцінено ефективність застосування ВР за величиною витрат енергії на дроблення, шляхом розробки програми з визначення ККД вибуху.

Авторами [167] розглянуто методики визначення теплоти вибуху ВР з ідеальним та неідеальним процесами вибухового розкладання. Показано, що теплота вибуху має суттєве значення для оцінки ефективності промислових ВР та входить в енергетичне визначення працездатності ВР.

Аналіз досліджень [152]–[176] показав, що питанням визначення ефективності ВР за різними технічними характеристиками та залежно від їх хімічного складу присвячено значну кількість праць. Основним критерієм вибору ВР для проведення ПР вважається ефективність вибухового руйнування або якість підірваної гірської маси (гранулометричний склад).

Екологічні показники ВР або їх вплив на навколишнє середовище в процесі вибору ВР, у більшості випадків, не враховується взагалі.

У роботі [177] запропоновано здійснювати вибір ВР за комплексним коефіцієнтом ефективності ВР, який враховує її технічну, економічну та екологічну ефективності. Однак на практиці реалізувати такий вибір не завжди є можливим і економічно доцільним. Твердим В. В. [178] запропоновано використовувати концентрацію шкідливих газів на момент формування ПГХ під час проведення масового вибуху для характеристики ВР з точки зору екологічної безпеки і співставлення отриманих результатів для виділення менш та більш екологічно безпечних складів ВР. Однак такий підхід не є коректним, оскільки не враховує матеріал забійки та його здатність адсорбувати утворені внаслідок вибуху газу. Більш доцільним та раціональним може бути комплексний підхід щодо вибору ВР у поєднанні з забійковим матеріалом. Тому питання вибору ВР для вибухового руйнування скельних порід з метою виробництва щебеню, яка б забезпечувала одночасно необхідний гранулометричний склад та високі показники екологічної безпеки залишається відкритим.

Протягом багатьох років для ініціювання й висадження шашок-детонаторів і патронів-бойовиків в свердловинних і шпурових зарядах промислових ВР з метою проведення ПР на гірничодобувних підприємствах використовувались такі традиційні ініціюючі засоби, як ДШ і електродетонатори. Однак у зв'язку з жорсткістю вимог до забезпечення безпечного виконання ПР, впровадженням нових технологій ПР з використанням безтритилових ВР, водомістких ЕВР, проявилися недоліки традиційних засобів ініціювання. Уникнути цих негативних ефектів дозволяють низькоенергетичні неелектричні системи ініціювання (Нонель, Прімадет, Пріма-Ера (рис. 1.14), Імпульс та ін.) [143].

Усі сучасні неелектричні системи ініціювання повністю безпечні, дозволяють створювати схеми підривання зарядів із необмеженими можливостями управління процесами руйнування масивів гірських порід з

мінімальним впливом на довкілля. Впровадження неелектричних систем ініціювання дозволяє використовувати різні варіанти схем монтажу підривної мережі, що покращує якість дроблення гірської маси, а також знизити питому витрату ВР, тобто, підвищити безпеку поводження з нею та скоротити викиди в робочий простір пилу та отруйних ПВ [145].



Рисунок 1.14 – Елемент неелектричної системи ініціювання  
«Пріма-Ера»-СД [179]

Питанням ініціювання вибухових зарядів, зокрема впливу засобів ініціювання на результати вибуху, присвячена значна кількість праць [143], [145], [179]–[185].

Кратковським І. Л. [180] виконано аналіз способів підвищення надійності ініціювання ВР найпростішого складу, заснованих на виборі геометричних параметрів проміжного ініціатора.

У роботі [181] розглянуто комплекс питань щодо технології виготовлення неелектричних систем ініціювання. Наведено відомості про первинні ініціюючі ВР і засоби ініціювання промислових ВР, умови їх використання. Розглянуто фізичні процеси ініціювання, детонації, кристалізації, що протікають у засобах ініціювання та їх компонентах. Наведено питання безпеки технологічних процесів і охорони праці під час виробництва та експлуатації засобів ініціювання, а також методика та приклади розрахунку розповсюдження детонаційної хвилі в хвилеводах.

Аналіз засобів ініціювання вибухових зарядів показав, що на сьогодні існує широкий асортимент засобів ініціювання, які є простими у використанні, забезпечують безвідмовне підривання у будь-яких гірничо-геологічних умовах. Такі засоби дозволяють здійснювати короткосповільнене підривання (КСП) з широким діапазоном уповільнень, ефективно знижують сейсмічну і повітряно-ударну дію вибуху, сприяють поліпшенню якості пропрацювання масиву гірських порід та збільшенню можливостей управління формою розвалу гірської маси, скороченню викидів в атмосферу пилу і отруйних газів. Окрім того, характеризуються більш високою надійністю і безпекою. Тому для підвищення ефективності ПР та рівня екологічної безпеки ГПК з виробництва щебеню використання ВР повинно супроводжуватись застосуванням сучасних, надійних і менш екологічно небезпечних неелектричних систем ініціювання.

#### 1.6 Аналіз способів пилоподавлення та нейтралізації шкідливих газів без втручання у технологію ведення буропідривних робіт

З метою скорочення викидів забруднюючих речовин під час проведення ПР у кар'єрах передбачаються і заходи, які не пов'язані з технологією. Зокрема, зрошення підготовлених до вибуху ділянок та зони випадання пилу, зрошення підірваної гірської маси після вибухів; зрошення ПГХ, проведення вибухів у години максимальної вітрової активності. Для поливання та зрошення найчастіше застосовується вода та піна.

У роботі [26] удосконалено спосіб знепилювання шляхом зрошування ПГХ, обґрунтовано необхідні розміри крапель та об'єми води. Для транспортування та розбризкування води над ПГХ обґрунтовано використання спеціальним чином обладнаних вертольотів. Впровадження запропонованих технічних рішень підвищує ступінь екологічної безпеки масових вибухів за пиловим чинником до рівня «безпечний».

Авторами [29] запропоновано способи оцінки ефективності заходів щодо зниження викидів пилу після масових вибухів у кар'єрах і рівнів екологічної небезпеки цих викидів за пиловим чинником, які орієнтовані на використання різних критеріїв, зокрема: висоти підйому ПГХ, а також відносних змін приземної концентрації пилу і можливих збитків від його впливу.

Юрченко А. А. наведено результати теоретичних досліджень параметрів зрошування ПГХ під час масових вибухів у кар'єрах. Встановлено їх значення, за яких концентрація пилу у хмарі знизиться до санітарних норм у межах СЗЗ кар'єру [186]. У роботі [187] автором наведено результати теоретичних досліджень коефіцієнта захоплення часток пилу краплями води під час зрошування ПГХ. Окрім того, колективом авторів на чолі з Юрченко А. А. розроблено спосіб пригнічення ПГХ в кар'єрі, що включає зрошення ПГХ шляхом викиду пилогазопригнічувального рідкого агента, який відрізняється тим, що попередньо визначають площу блока кар'єра, де ведуться ПР, об'єм ПГХ та передбачену висоту розбризкування, з урахуванням яких встановлюють кількість рідкого агента, який потім розбризкують на площу блока кар'єра до вибуху та на ПГХ після вибуху із ємності вертольота [188].

Тищуком В. Ю. розроблено метод техніко-економічної оцінки ефективності способів та засобів пилогазопридушення під час масових вибухів у кар'єрах, який враховує масу вловлених забруднюючих речовин, витрати на їх вловлювання і економічний збиток, який наносять викиди навколишньому середовищу [189]. Окрім того, атором розроблено експериментальний зразок нового засобу для боротьби з пилом під час масових вибухів у кар'єрах – водний розчин «Еком». Промислові дослідження у кар'єрі показали, що водні розчини «Еком» сприяють коагуляції пилу, що утворюється в процесі дроблення порід вибухом. Лише 17 % пилу розміром від 4,2 мкм до 15 мкм із загальної маси утворених пилових коагуляційних структур здатні виноситись з кар'єрного простору і

поширюватись у приземному шарі атмосфери [190]. Розроблено також склад для пилогазоподавлення, що включає вуглелужний реагент і воду. Відрізняється він тим, що додатково містить лігносульфонати [191]. Тищуком В. Ю. розроблено спосіб пилогазозаглушення під час масових вибухів у кар'єрах, що включає операції формування двофазного середовища у вигляді зовнішньої і внутрішньої забивок зі щебеню фракції 0–20 мм і подальшого зволоження пилогазозаглушуючим розчином до максимальної молекулярної вологоємності. Спосіб відрізняється тим, що у свердловину на висоту 0,5 довжини забивки засипають щебінь і здійснюють його зволоження пилогазозаглушуючим розчином. Після чого решту частини свердловини довжиною 0,5 забійної частини свердловини заповнюють глиною і заливають пилогазозаглушуючим розчином. Після усадки глини в свердловині вона додатково заповнюється глиною. Над устям свердловини в зоні пластичних деформацій, в радіусі 1 м від свердловини, додатково формують конус з глини, яку зволожують пилогазозаглушуючим розчином до максимальної молекулярної вологоємності глин [192].

Окрім води з метою пилогазоподавлення під час проведення масових вибухів на кар'єрах використовують поверхнево-активні речовини, піни, пасти, емульсії, біодобавки та порошки.

У роботі [193] досліджено фізико-хімічні властивості розчинів поверхнево-активних речовин (поверхневий натяг і крайовий кут змочування), а також визначено оптимальну концентрацію поверхнево-активних речовин для поліпшення процесів змочування і злипаємості пилових частинок, виявлено доцільність застосування поверхнево-активних речовин для знепилення атмосферного повітря і поліпшення екологічного стану навколишнього середовища в цілому.

Каменскім А. А. запропоновано аеропінний спосіб боротьби з пилом, заснований на коагуляції пилової фракції у повітряному потоці під час застосування аеропіни. Спосіб характеризується тим, що зв'язування і коагуляція пилу здійснюється в повітряному потоці аерозолі, який включає



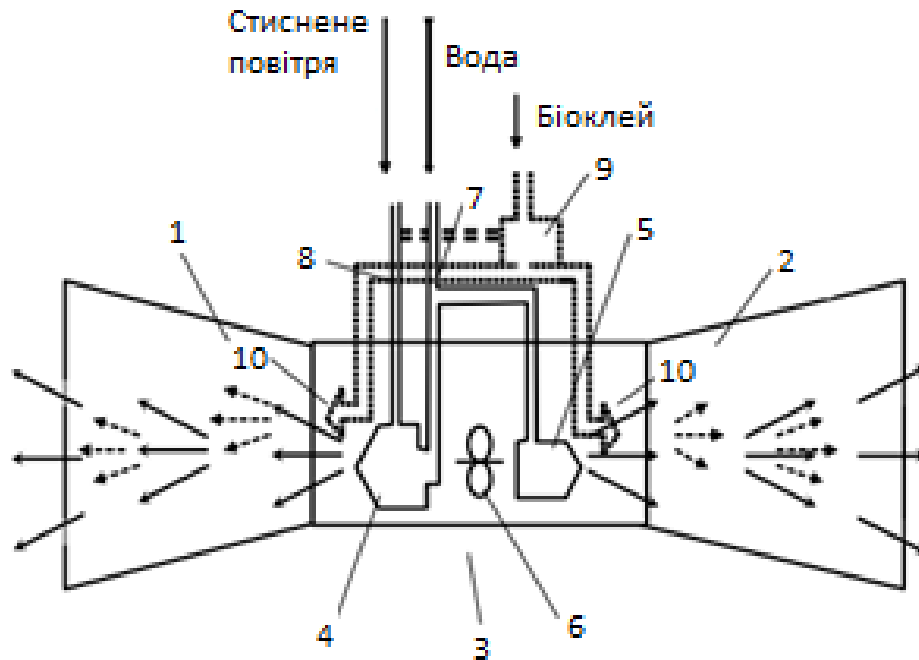
повітрянаповнені водні (98 %) піни високої кратності, до складу яких входять олеїнова кислота (0,8–1,2 %) і сода каустична (0,4–0,6 %), а в якості стабілізатора використовується гліцерин (0,2–0,4 %). Пилеподавлення здійснюється видуванням розчину через сопла форсунки на запилені поверхні [194].

Для боротьби з пилом успішно застосовуються і піноутворювачі. Перевага використання пінного способу знепилювання повітря на підприємствах будівельної галузі у порівнянні зі зрошенням полягає в тому, що за незначних витрат рідини створюється велика поверхня взаємодії між рідиною і пилом. Збільшення поверхні і часу взаємодії дозволяє підвищити ефективність способу і знизити витрату зрошувальної рідини на одиницю сировини. Перевагою пінного способу є й те, що його застосовують в умовах від'ємних температур повітря [195].

У роботі [196] запропоновано використовувати круглорічну систему пилеподавлення, що базується на зв'язуванні пилу, який утворюється в процесі видобутку і транспортування (переміщення) гірських порід, диспергованими водними розчинами. Водночас для підвищення ефективності процесу в умовах додатньої та від'ємної температури атмосферного повітря можуть бути використані фазові переходи води (пара – рідина – тверда речовина), тобто конденсація та снігоутворення. Для підвищення ефективності процесу рекомендовано також використовувати біопродуктивні добавки до води, наприклад, сапропель, який наділений клеючими та біопродуктивними властивостями. Реалізація запропонованого способу пилеподавлення можлива за рахунок пристрою, зображеного на рис. 1.15.

Авторами [197] розроблено спосіб пилеподавлення під час підривання блоку уступу, що включає оббурювання його декількома рядами свердловин, їхнє зарядження зарядами ВР, забивання неактивної частини свердловин інертним сипучим матеріалом, монтаж вибухової мережі, що з'єднує свердловинні заряди ВР, та ініціювання цих зарядів ВР на блоці уступу за допомогою мінної станції. Спосіб відрізняється тим, що інертний сипучий

матеріал неактивної частини свердловини змочується водою безпосередньо у свердловині з розрахунку 7,8 л на 5–7 % об'єму забивки, а потенційно запилені ділянки на поверхні блоку уступу змочуються насиченим водним розчином товарного природного бішофіту ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) з густиною від  $1,25 \text{ т/м}^3$  до  $1,27 \text{ т/м}^3$  та витратою від  $4,5 \text{ л/м}^2$  до  $5,0 \text{ л/м}^2$  оброблюваної площі.



1, 2 – конусоподібні розтруби; 3 – циліндричний кожух; 4 – пневмогідролічна форсунка; 5 – пневмогідролічна форсунка – туманоутворювач; 6 – вентилятор; 7 – канал для подачі води; 8 – канал для стисненого повітря; 9 – ємність для зберігання біоклеючого розчину; 10 – форсунки для біоклею

Рисунок 1.15 – Пристрій для зв'язування пилу  
(у літній і зимовий періоди) [196]

У роботі [198] наведено спосіб захисту довкілля від ПГХ під час масових вибухів у кар'єрах, що дозволяє здійснювати локалізацію епіцентру ПГХ за температурним та динамічним чинниками у момент її зародження, формування і поширення у атмосфері, що забезпечує ефективну

нейтралізацію шкідливого впливу пилогазових викидів на довкілля. Запропоновано технічний комплекс засобів захисту довкілля від ПГХ під час масових вибухів у кар'єрах з використанням конверсійної військової техніки.

Авторами [199] розроблено порошкову композицію для нейтралізації отруйних газів під час вибуху, що містить солі металів та органічний компонент. Композиція відрізняється тим, що як солі металів вона містить відходи, що вміщують карбонати лужних і/або лужноземельних металів з вмістом основної речовини не менше 40 мас. %, відходи, що вміщують хлориди лужних і/або лужноземельних металів із вмістом основної речовини не менше 35 мас. %, та відходи, що вміщують сульфати лужних і/або лужноземельних металів з вмістом основної речовини не менше 35 мас. %, як органічний компонент – відходи гідролізного і/або целюлознопаперового виробництва, модифіковані сірчанокислотними відпрацьованими розчинами, і додатково відходи виробництва марганцевої руди, модифіковані пилом плавильних електродугових печей.

Аналіз робіт [26], [29], [186]–[203] показує, що розроблено значну кількість засобів для пилопридушення та нейтралізації шкідливих газів під час проведення масових вибухів у кар'єрах, які не передбачають втручання у технологію. Це робить їх достатньо універсальними. Результати досліджень показують їх високу ефективність. Однак поряд з перевагами вони характеризуються і суттєвими недоліками. Зазвичай вони є трудомісткими і потребують значних додаткових фінансових витрат. Маючи на меті пилопридушення або нейтралізацію шкідливих газів, такі засоби не вирішують проблему ресурсозбереження, яка для ГПК з виробництва щебеню є, на відміну від залізрудних кар'єрів, надзвичайно важливою. Для кар'єрів скельних порід мінімізація обсягу пилоутворення повинна супроводжуватись зменшенням зони переподрібнення, тим самим забезпечувати не лише підвищення рівня екологічної безпеки ГПК з виробництва щебеню, а й рівень ресурсозбереження. Розглянуті засоби пилопридушення та нейтралізації шкідливих газів можуть служити лише як

підсилювачі ефекту зменшення навантаження на навколишнє середовище, зумовленого розробкою нових або удосконаленням існуючих технологічних рішень щодо проведення БПР на кар'єрах скельних порід.

1.7 Оцінка сучасного стану досліджень з питань екологізації гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню і постановка задач дослідження

У результаті аналізу теоретичних і експериментальних досліджень, виконаних вітчизняними та зарубіжними вченими, із питань підвищення рівня екологічної безпеки ГПК з виробництва щебеню можна зробити наступні висновки:

- досить детально вивчено вплив різноманітних природних і технологічних чинників на процес вибуху та його екологічні наслідки;
- розроблено значну кількість різноманітних конструкцій зарядів та забійок, які дозволяють, в певній мірі, регулювати вплив на навколишнє середовище та рівень ресурсозбереження;
- розроблено методики та рекомендації з розрахунку параметрів масових вибухів, що використовуються у типових проектах проведення БПР і враховують фізико-механічні властивості та структурно-текстурні особливості масивів гірських порід, підвищуючи тим самим рівень ресурсозбереження;
- впроваджено нові високоефективні та безпечні ВР, засоби ініціювання зарядів із застосуванням систем неелектричного ініціювання;
- розроблено значну кількість способів пилоподавлення та нейтралізації шкідливих газів, які не передбачають втручання у технологію ведення БПР.

Однак, не дивлячись на досягнуті результати щодо підвищення рівня екологічної безпеки ГПК з виробництва щебеню, проблема екологізації

технологічних процесів, які їх супроводжують, вимагає свого подальшого вирішення. Варто відзначити наступне.

Даних про фактори та їх комбінації, зокрема про інтенсивність впливу ГПК з виробництва щебеню на забруднення повітря та рівень ресурсозбереження на кар'єрах скельних порід, недостатньо, що не дає змоги в повній мірі оцінити ситуацію щодо забруднення атмосферного повітря та зробити відповідні прогнози.

Дослідження показують, що технологічні процеси на кар'єрах супроводжуються перевищенням концентрації пилу норм ГДК, завищені концентрації спостерігаються і за межами СЗЗ, що призводить до підвищення ризику захворювання дихальних шляхів працівників та населення прилеглих територій. Відомі заходи зменшення навантаження на навколишнє середовище є трудоємкими і не враховують вимоги до якості гірської маси.

Розроблені конструкції зарядів не отримали широкого застосування. Основними причинами є складність, трудоємність та дороговизна. До цих пір не виявлено які саме параметри конструкції заряду можна змінювати без зниження ефективності подрібнення і які водночас мають суттєвий вплив на розміри зони переподрібнення.

Розроблені конструкції забійок направлені на збільшення опору виштовхуванню ПВ. Водночас мало уваги приділяється питанням фільтрації ПД через матеріал забійки. Такий важливий нюанс не враховується і під час вибору типу ВР для проведення ПР. Існуючі розробки конструкцій забійок, направлені на зменшення викидів шкідливих газів, є або дорогими, або трудоємними, через що не знайшли широкого застосування на кар'єрах скельних порід України.

Більшість досліджень направлені на підвищення економічних показників підприємств і не враховують в процесі обґрунтування параметрів розташування свердловин чи напрямку відбійки гірської маси екологічну складову.

Основним критерієм вибору ВР для проведення ПР вважається ефективність вибухового руйнування або якість підірваної гірської маси (гранулометричний склад). Екологічні показники ВР або їх вплив на навколишнє середовище в процесі вибору ВР, у більшості випадків, не враховується взагалі.

Способи пилоподавлення та нейтралізації шкідливих газів без втручання у технологію ведення ПР є трудоємкими і потребують значних додаткових фінансових витрат. Маючи на меті пилопридушення або нейтралізацію шкідливих газів, такі способи не вирішують проблему ресурсозбереження, яка для ГПК з виробництва щебеню є, на відміну від залізорудних кар'єрів, надзвичайно важливою.

Виходячи з проведеного аналізу наукових та практичних досягнень і виявлених в процесі аналізу недоліків за даним напрямом, сформульовані наведені вище мета та задачі досліджень.

Результати аналізу теорії та практики з питань впливу ГПК з виробництва щебеню на стан навколишнього середовища, наведеного у даному розділі, опубліковані в роботах [204]–[214].

## РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Визначення факторів впливу гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню на навколишнє середовище

Загальна технологія виробництва щебеню на гірничопромислових комплексах включає видобування сировини із застосуванням БПР в кар'єрі, екскавацію гірської маси, транспортування її від кар'єру до бункерів дробильно-сортувальних заводів, дроблення та грохочення, відвалоутворення. Щебінь використовується у будівництві як наповнювач бетону, складова покриття автомобільних доріг, для баластування залізничних колій тощо [215].

Сировиною для виробництва щебеню є скельні гірські породи з об'ємною вагою від  $1,8 \text{ г/см}^3$  до  $2,8 \text{ г/см}^3$ . Родовища різноманітних гірських порід, які використовують для виробництва будового каменю і щебеню, відомі в усіх геоструктурних регіонах України, зокрема західному. Переважно їх розвідані запаси представлені виверженими і метаморфічними породами: гранітами, гранодіоритами, андезитами, габро, кристалічними сланцями, кварцитами та ін. Найбільш якісною сировиною для виробництва щебеню є граніти. Вони містять порівняно невелику кількість темно-кольорових мінералів, які легко вивільнюються під час дроблення і сортування, характеризуються високою міцністю, морозостійкістю, крихкі, тому в процесі дроблення легко подрібнюються і дають невелику кількість відходів, стійкі до вивітрювання [215], [216].

Основним забрудником навколишнього середовища під час роботи ГПК з виробництва щебеню є масові вибухи [15], як базовий процес, від якого залежить ефективність наступних технологічних процесів та ступінь їх впливу на довкілля (рис. 2.1). У процесі вибухового руйнування порід у кар'єрах в атмосферу викидається кількість пилу та газів, що дорівнює, а іноді і більше сумарної кількості під час інших технологічних процесів

гірничого виробництва. ПГХ, яка утворюється під час вибуху, забруднює атмосферу не тільки кар'єрів і будмайданчиків, а й прилеглих до них житлових районів [217]. Саме результати масового вибуху визначають ефективність процесів екскавації та транспортування, необхідність подрібнення гірської маси у дробарках [215] та обсяг відвалоутворення, спричинюючи тим самим, окрім прямого, неопосередкований вплив на довкілля (рис. 2.1). Для ефективного управління екологічною безпекою під час роботи ГПК з виробництва щебеню першочерговим є визначення факторів [218], які зумовлюють результати вибуху, його вплив на навколишнє середовище та подальші технологічні процеси.

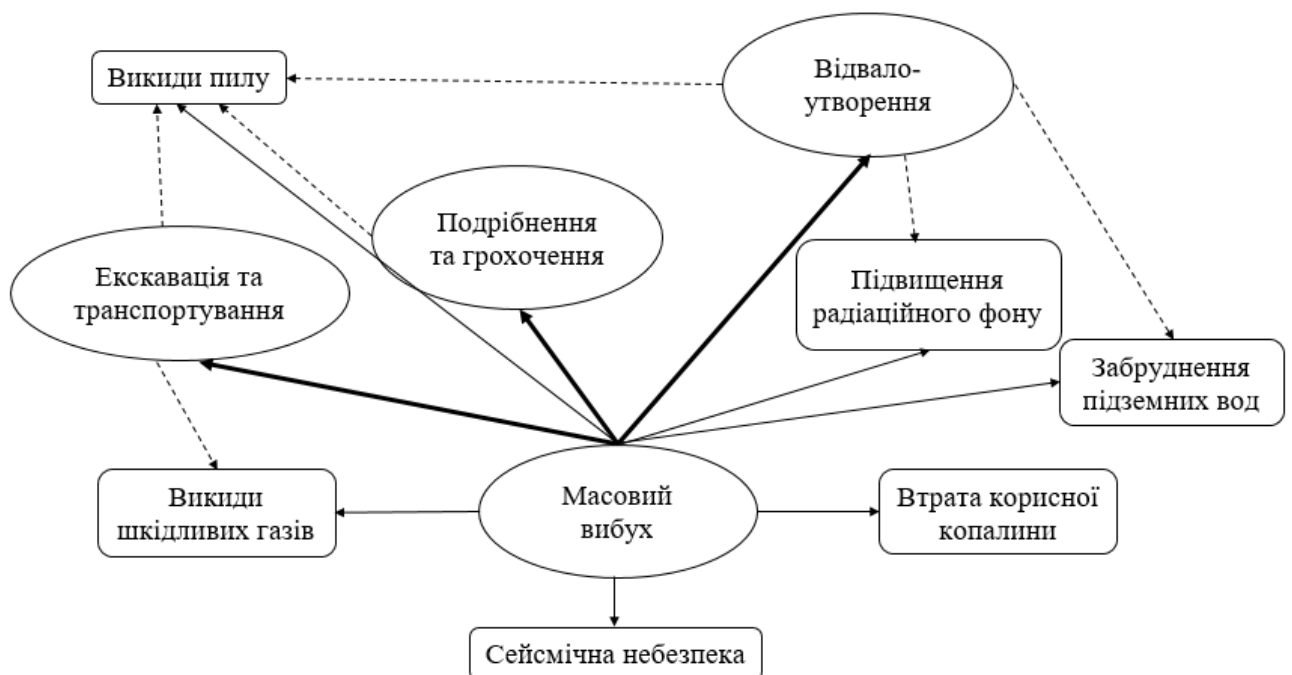


Рисунок 2.1 – Вплив технології виробництва щебеню на довкілля

Усі фактори відповідно до можливості управління ними умовно можна розділити на керовані та некеровані. Відповідно до керованих варто віднести технологічні, інженерно-технічні та організаційні фактори. До некерованих – кліматичні умови та гірничо-геологічну характеристику родовища (рис. 2.2).

Технологічними є фактори, пов'язані з технологією ведення ПР, зокрема конструкція заряду, забійки та їх параметри, параметри



розташування свердловин, напрямок відбійки, характеристики ВР. До інженерно-технічних варто віднести заходи щодо пилоподавлення та нейтралізації газів, які не є складовими технологічного процесу (зрошення, полив, створення гідрозавіс і т. п.). Організаційні фактори пов'язані з організацією (планом) проведення ПР у кар'єрах (час проведення, періодичність, тривалість).

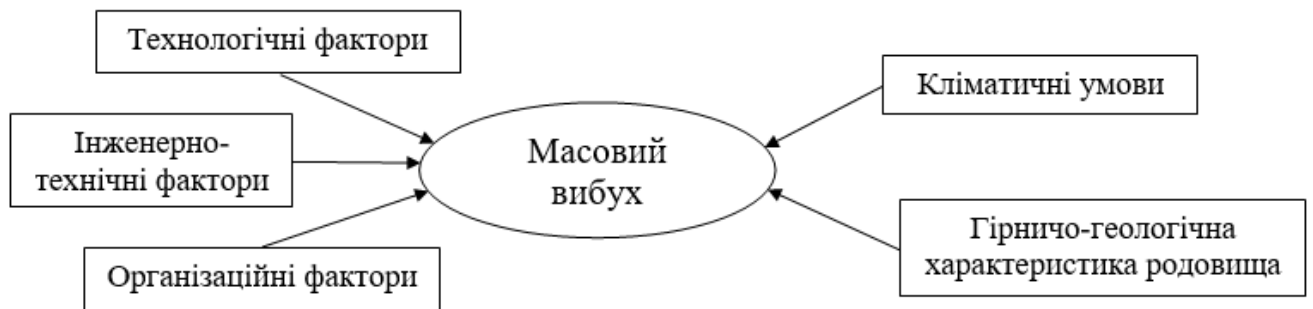


Рисунок 2.2 – Групи факторів впливу гірничопромислових комплексів на навколишнє середовище через масовий вибух

До кліматичних умов, які чинять вплив на результати роботи ГПК з виробництва щебеню, належать температура повітря, вологість, швидкість та напрямок вітру, опади. Гірничо-геологічна характеристика родовища включає склад та властивості розроблюваних гірських порід, структурно-текстурні особливості масиву, наявність водоносних горизонтів.

Результати досліджень, наведені у першому розділі, показують, що найбільший вплив на результати роботи ГПК чинять технологічні фактори. За допомогою правильного управління ними можна ліквідувати або мінімізувати вплив на довкілля процесу видобутку корисних копалин відкритим способом. Переважна більшість інженерно-технічних та організаційні заходи лише зменшують відчутність навантаження на навколишнє середовище, залишаючи осторонь проблему ресурсозбереження. Однак варто відзначити, що згідно закону сукупної дії природних факторів (закону Мітчерліха-Бауле) усі вище зазначені фактори здійснюють вплив

один на одного і на роботу ГПК в цілому, незважаючи на величину впливу кожного окремо. Тому під час проектування ПР необхідною умовою є врахування усіх факторів, а в процесі розробки науково-теоретичних основ екологічної безпеки ГПК з виробництва щебеню варто розглядати, в першу чергу, технологічні фактори (рис. 2.3).

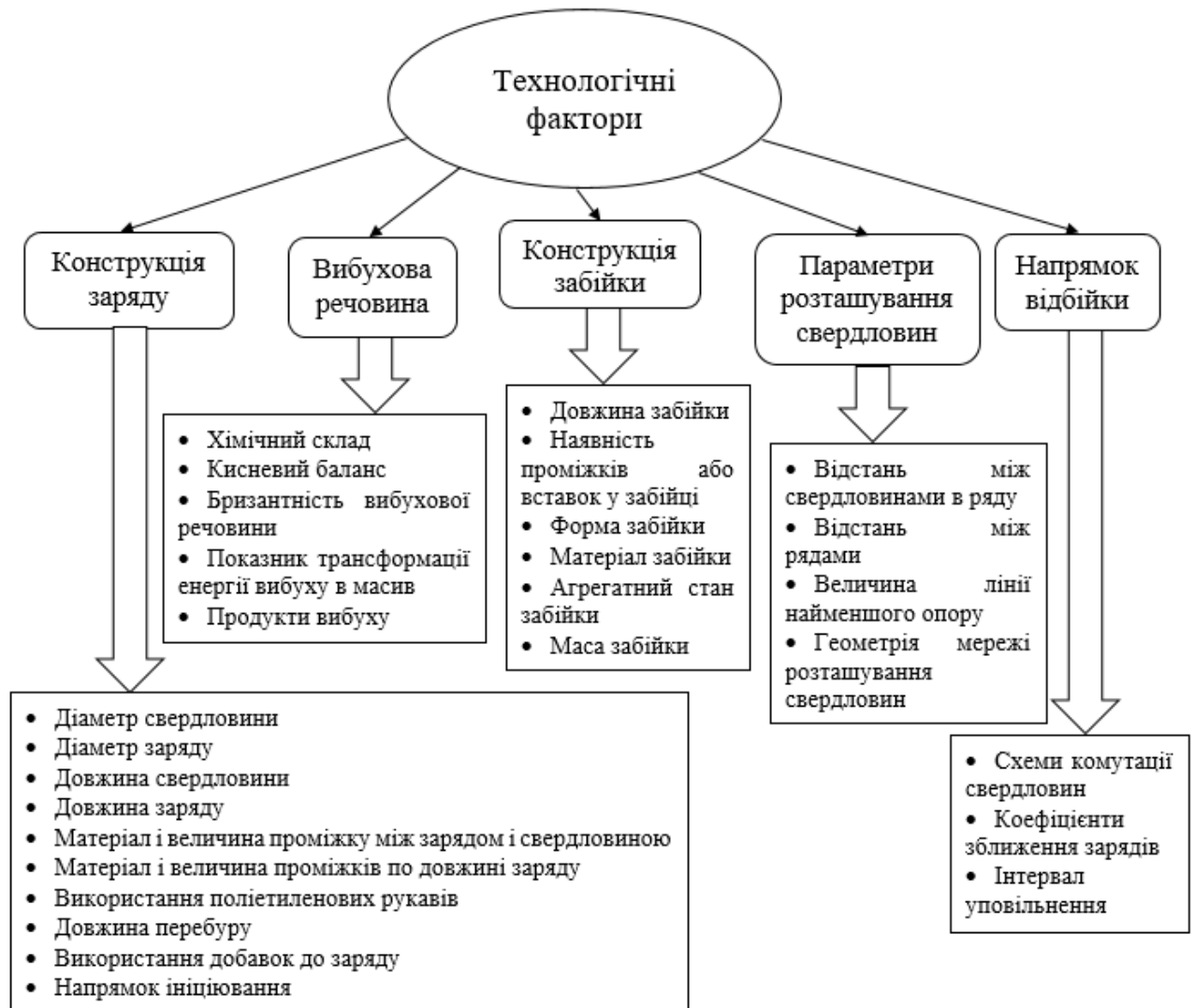


Рисунок 2.3 – Технологічні фактори впливу масових вибухів на гірничопромислових комплексах з виробництва щебеню

Зображені на рис. 2.3 фактори можуть спричинювати викиди в атмосферу пилу та шкідливих газів, значні втрати корисної копалини, сейсмічну небезпеку, забруднення шкідливими речовинами підземних вод,

збільшення обсягу відвалоутворення та підвищення радіаційного фону робочої зони кар'єру та прилеглих територій. Перших три є причиною основної долі забруднень навколишнього середовища під час видобутку скельних порід з метою виробництва щебеню. Основною причиною значного пилоутворення є неправильно підібрана конструкція заряду та параметри розташування свердловин. Причиною утворення шкідливих газів є необгрунтований вибір ВР [219] та конструкції забійки, а втрати корисної копалини – необгрунтована конструкція заряду, параметри розташування свердловин та напрямок відбійки (рис. 2.4).

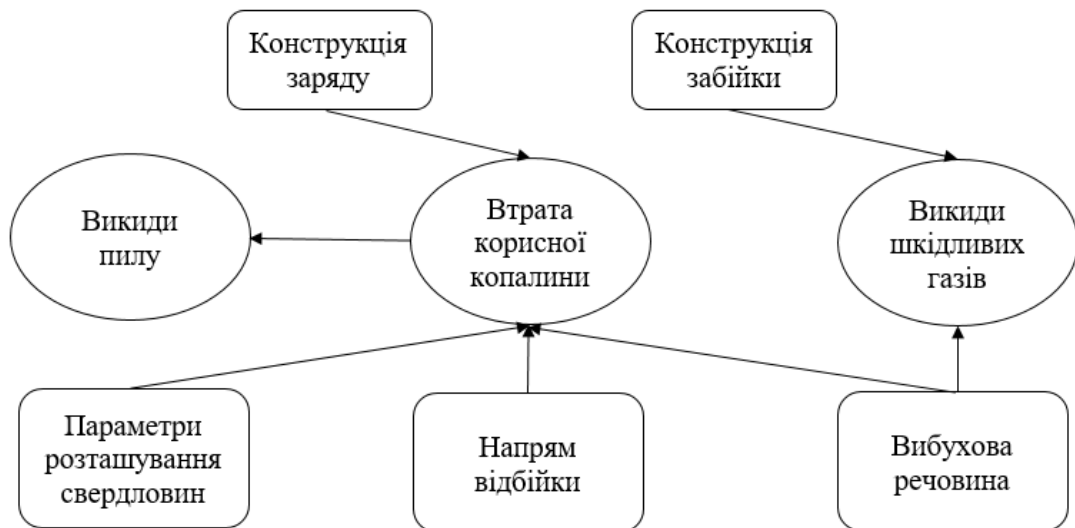


Рисунок 2.4 – Екологічні наслідки вибухів на гірничопромислових комплексах з виробництва щебеню та фактори, що їх зумовлюють

Дослідження наведених на рис. 2.3 технологічних факторів впливу на якість щебеневої продукції та навколишнє середовище під час проведення ПР, розроблення на їх основі науково-теоретичних основ екологічної безпеки ГПК з виробництва щебеню дасть змогу визначати раціональні та найбільш ефективні, як з технологічної, так і екологічної позиції, параметри ПР для конкретних гірничо-геологічних умов.

## 2.2 Методи та методики теоретичних досліджень

З метою дослідження екологічної ситуації навколо ГПК з виробництва щебеню:

– визначено масу шкідливих газів та пилу, що викидаються в атмосферне повітря на момент утворення ПГХ, – на основі методики розрахунку шкідливих викидів (скидів) для комплексу обладнання відкритих гірничих робіт (на основі питомих показників) [220];

– встановлено концентрації шкідливих газів на різних відстанях від джерела їх утворення – на основі моделі Брюяцького Є. В. [30];

– розраховано ризик для здоров'я населення внаслідок забруднення атмосферного повітря під час масових вибухів у кар'єрах – на основі методики оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря [221];

– встановлено закономірність зміни радіаційного фону з глибиною кар'єра – на основі обробки результатів заміру гамма-фону на різних висотних позначках у кар'єрі методами дисперсійного та кореляційно-регресійного аналізу [222];

– здійснено оцінку забруднення атмосферного повітря внаслідок пиління під час відвалоутворення – на основі результатів розрахунку розсіювання пилу за моделлю Гауса та за методикою ВНДБПГ [223], [224];

– розраховано ризик для здоров'я населення внаслідок забруднення атмосферного повітря пилінням відвалів – на основі методики оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря [221];

– проведено оцінку токсичності ґрунтів, прилеглих до ГПК з виробництва щебеню зі сторони відвалів, – застосуванням біоіндикаційних методів, зокрема «Ростового тесту», тестів «Аберантність хромосом» та «Величина мітотичного індексу» [225]–[227], обґрунтовано вплив відвалів гранітних кар'єрів на рівень рН ґрунтів прилеглих територій.

Для дослідження впливу конструкції заряду на результати вибуху та навколишнє середовище пропонується використовувати методи механіки суцільних середовищ [228], [229]. Зокрема встановлення закономірностей проходження хвиль тиску під час вибуху залежно від характеристик заповнювача проміжку між зарядом і стінкою свердловини проводити на основі адаптованої моделі Ляхова Г. М., а для вирішення задачі про поведінку двошарового середовища в процесі навантаження циліндричної порожнини нестационарним навантаженням застосувати числовий метод на основі скінченно-різницевої схеми предиктор-коректор Мак-Кормака. Перевагою цієї моделі є її простота, можливість представлення залежності швидкості звукової хвилі від тиску у вигляді простих співвідношень. У даному випадку модель адаптована для двокомпонентного середовища, через яке проходять хвилі тиску під час вибуху. Модель пройшла широку апробацію на практиці і показала високу збіжність теоретичних та експериментальних результатів.

Для визначення раціональних відстаней між зарядами (параметрів розташування свердловин) з метою вибухового руйнування тріщинуватих скельних порід запропоновано метод математичного моделювання (геометричний метод). Такий метод дозволить візуалізувати зони дроблення за допомогою геометричних фігур, описати математичними виразами їх форми, на основі цього розрахувати за допомогою параметрів побудованих геометричних фігур площі та об'єми ефективно пропрацьованих ділянок гірничого масиву.

Для визначення оптимального напрямку відбійки гірської маси пропонується використати графоаналітичний метод. Реалізується він через наступні етапи:

– вивчається характер залягання в масиві системних тріщин і природних окремоностей зі встановленням їх кількісних показників;

– розробляється класифікація і графічно зображається карта районування за тріщинуватістю і блочністю з виділенням однорідних зон і меж між ними, можливе виділення включень;

– на основі проаналізованих даних обґрунтовується оптимальний напрямок відбійки, що реалізує ефект напрямку найбільш легкого розколу гірничого масиву (зазвичай перпендикулярно основній системі тріщин) (рис. 2.5);

– обираються схеми короткосповільненого підривання (КСП) з оптимальним напрямком фронту відбійки;

– обирається геометрія мережі розташування свердловин;

– розраховуються відстані між зарядами в ряду та між рядами з урахуванням структурно-текстурних особливостей масиву та фізико-механічних властивостей гірських порід.

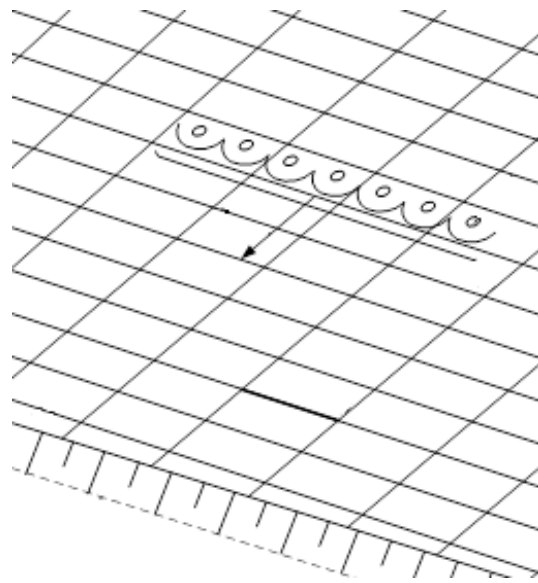


Рисунок 2.5 – Принцип вибору ефективного напрямку відбійки скельних порід

Для встановлення кількісно-якісних характеристик адсорбуючого складу в забійці свердловини залежно від типу ВР, кількості та типу шкідливих газів, утворюваних нею під час вибуху, та параметрів свердловини запропоновано використовувати метод фізико-хімічного аналізу

[231]. Зв'язок аналітичного сигналу з природою речовини встановлюється суто теоретично. У кількісному аналізі використовують залежність інтенсивності сигналу від концентрації речовини. Найчастіше вона має такий вигляд (рівняння зв'язку):

$$I=a+bc,$$

де  $I$  – інтенсивність сигналу (маса адсорбуючого складу в забійці свердловини, кг);

$c$  – концентрація (об'єм шкідливого газу з 1 кг ВР, л/кг);

$a$  і  $b$  – константи, причому  $a = 0$ .

Для знаходження констант рівняння зв'язку використано метод молярної властивості [232]. Вимірюють аналітичний сигнал у кількох стандартних зразках або розчинах і розраховують  $b=I_{cm}/c_{cm}$ , якщо  $c_{cm}$  вимірюється в моль/л, то  $b$  – молярна властивість. За тих же умов вимірюють інтенсивність сигналу в аналізованій пробі  $I_x$  і за співвідношенням  $c_x=I_x/b$  або  $c_x=c_{cm}I_x/I_{cm}$  розраховують концентрацію.

Для вирішення задачі вибору раціонального типу ВР запропоновано використовувати метод математичної оптимізації – лінійне програмування [233]–[235].

Умови практичних задач оптимізації включають досягнення певної конкретної мети, наприклад знаходження мінімального рішення, за існування певних обмежень вихідних даних. Специфіка таких задач полягає в тому, що створена математична модель досліджуваного процесу, але невідоме значення параметра, за якого можна досягти поставленої мети.

Постановка задачі оптимізації у загальному вигляді передбачає наступне.

1 Цільова функція (критерій оптимізації) показує в якому сенсі рішення повинно бути оптимальним, тобто найкращим. Можливі три типи цільової функції: максимізація, мінімізація, досягнення заданого значення.

2 Обмеження встановлюють залежності між змінними. Можуть бути односторонніми та двосторонніми. Під час вирішення задачі двостороннє обмеження записується у вигляді двох односторонніх.

3 Граничні умови показують у яких межах можуть знаходитись значення шуканих змінних у оптимальному рішенні.

Рішення задачі, що задовольняє всім обмеженням і граничним умовам, називається допустимим. Задача має оптимальне рішення, якщо вона задовольняє двом умовам:

- має більш ніж одне рішення, тобто існують допустимі рішення;
- є критерій, що показує, у якому сенсі шукане рішення повинне бути оптимальним, тобто найкращим з можливих.

Робота щодо вирішення певної оптимізаційної задачі починається з побудови математичної моделі, яка передбачає визначення величин, для яких будується модель (змінні моделі). Далі визначається мета, для досягнення якої з множини всіх допустимих значень змінних обираються оптимальні (цільове значення функції). На останньому етапі визначаються обмеження, яким повинні задовольняти невідомі. В процесі максимізації цільової функції область допустимих значень повинна бути обмежена згори, мінімізації – знизу.

Загальною задачею лінійного програмування, представленою в довільній формі запису, називається задача, у якій необхідно визначити оптимум (максимум або мінімум) цільової функції:

$$F = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \rightarrow opt. \quad (2.1)$$

За наступних обмежень:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq \{\geq\} b_i, \quad i = \overline{1, s}, \quad (2.2)$$



$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, \quad i = \overline{s+1, m}, \quad (2.3)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2.4)$$

де  $a_{ij}, b_i, c_j$  – деякі коефіцієнти.

Функція (2.1) називається функцією цілі (цільовою функцією) або лінійною формою. Співвідношення (2.2)–(2.4) є обмеженнями задачі. Умови (2.4) називаються умовами незаперечності (невід’ємності), що накладають на змінні.

Для розв’язку задачі лінійного програмування запропоновано використовувати симплексний метод як найбільш універсальний. Він базується на переході від одного опорного плану до іншого, де значення цільової функції є більш оптимальним ніж у попередньому опорному плані. З погляду геометрії симплексні процедури можна трактувати як послідовний, цілеспрямований перехід по ребрах опуклого багатогранника припустимих планів, від однієї його вершини до іншої (сусідньої), де значення цільової функції більш оптимальне ніж у попередній вершині (рис. 2.6).

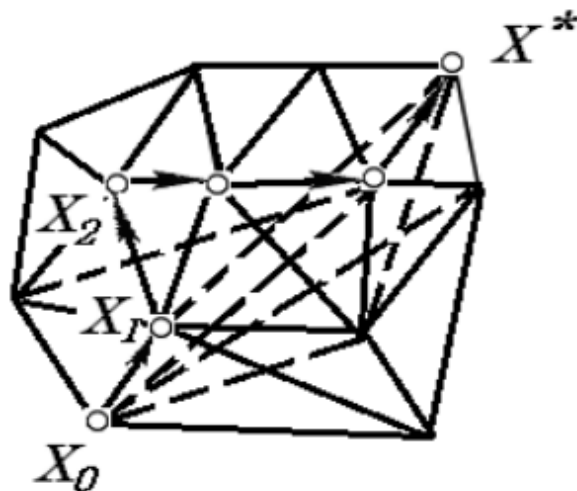


Рисунок 2.6 – Опуклий багатогранник з вершинами  $X_0, X_1, X_2 \dots X^*$

Симплексний метод розв’язання складається із двох головних етапів: визначається який-небудь первісний опорний план  $\overline{X_0}$ , за спеціальними

правилами здійснюється перехід  $\overline{X_0} \rightarrow \overline{X_1} \rightarrow \overline{X_2} \rightarrow \dots \rightarrow \overline{X_n}^*$  поки не буде знайдене оптимальне (opt) значення лінійної форми.

Щоб розв'язати задачу лінійного програмування за допомогою симплекс-методу, необхідно визначити початковий опорний план задачі, побудувати симплексну таблицю, перевірити опорний план на оптимальність за допомогою оцінок. Якщо план не є оптимальним, то перейти до нового опорного плану або встановити, що оптимального плану не існує.

## 2.3 Проведення промислових випробувань

### 2.3.1 Планування проведення експерименту

План підготовки та проведення промислових випробувань передбачає наступні взаємопов'язані етапи.

*Визначення мети та завдань промислового випробування.* У даному випадку метою є дослідження впливу конструкції заряду та забійки на показники екологічної безпеки ГПК з виробництва щебеню.

Завдання промислового випробування:

- визначити концентрацію пилу, шкідливих газів та вихід переподрібненої фракції гірської маси після застосування розробленої конструкції заряду та забійки;
- визначити концентрацію пилу, шкідливих газів та вихід переподрібненої фракції гірської маси після застосування традиційної конструкції заряду та забійки;
- порівняти отримані результати та зробити відповідні висновки.

*Вибір об'єкта дослідження.* Об'єктом дослідження є процес вибухового руйнування скельних порід. Параметри процесу в експерименті подаються в натуральному вигляді. Зокрема вхідними параметрами є: довжина свердловини, довжина заряду, діаметр свердловини, діаметр заряду, довжина перебуру, відстані між свердловинами в ряду та між рядами, величина лінії найменшого опору, напрямок ініціювання, характеристики

ініціаторів, характеристики ВР, характеристики забійки, рівень обводненості свердловин, характеристики заповнювача радіального проміжку між зарядом та стінкою свердловини. Вихідними параметрами є: вихід переподрібненої фракції гірської маси, концентрація пилу та шкідливих газів через 1 годину після вибуху на відстані 50 м від епіцентру вибуху та на межі СЗЗ. Параметрами, які змінюються в процесі експерименту є: довжина заряду, діаметр заряду, характеристики забійки, характеристики заповнювача радіального проміжку між зарядом та стінкою свердловини. Сталими параметрами є: довжина свердловини, діаметр свердловини, довжина перебуру, відстані між свердловинами в ряду та між рядами, величина лінії найменшого опору, напрямок ініціювання, характеристики ініціаторів, характеристики ВР, рівень обводненості свердловин.

*Теоретична підготовка експерименту.* Теоретична підготовка експерименту передбачає встановлення закономірностей та залежностей, які можна перевірити в процесі експерименту з мінімальними затратами часу і за допомогою мінімальної кількості апаратури.

*Приладне оснащення експерименту.* Цей етап включає в себе вибір вимірювальної апаратури та умов проведення промислового випробування. Концентрацію пилу доцільно вимірювати аерометром, а шкідливих газів – газоаналізатором ОКСІ-5М. Промислові випробування розроблених заходів пропонується провести в умовах ПрАТ «Товкачівський ГЗК», розташованого на території Першотравневої селищної Ради Овруцького району Житомирської області України.

*Проведення експерименту.* Проведення промислових випробувань повинно проводитись за розробленим алгоритмом відповідно до умов ПрАТ «Товкачівський ГЗК» (рис. 2.7).

*Обробку результатів промислового випробування* пропонується здійснити шляхом порівняння результатів замірів концентрацій пилу та шкідливих газів, утворених внаслідок 1 та 2 серії вибуху, через 1 годину на відстані 50 м від епіцентру вибуху та на межі СЗЗ, визначення виходу

переподрібнених фракцій після 1 та окремо 2 серії вибуху – здійснити за допомогою методу косокутної фотопланіметрії та порівняти результати.

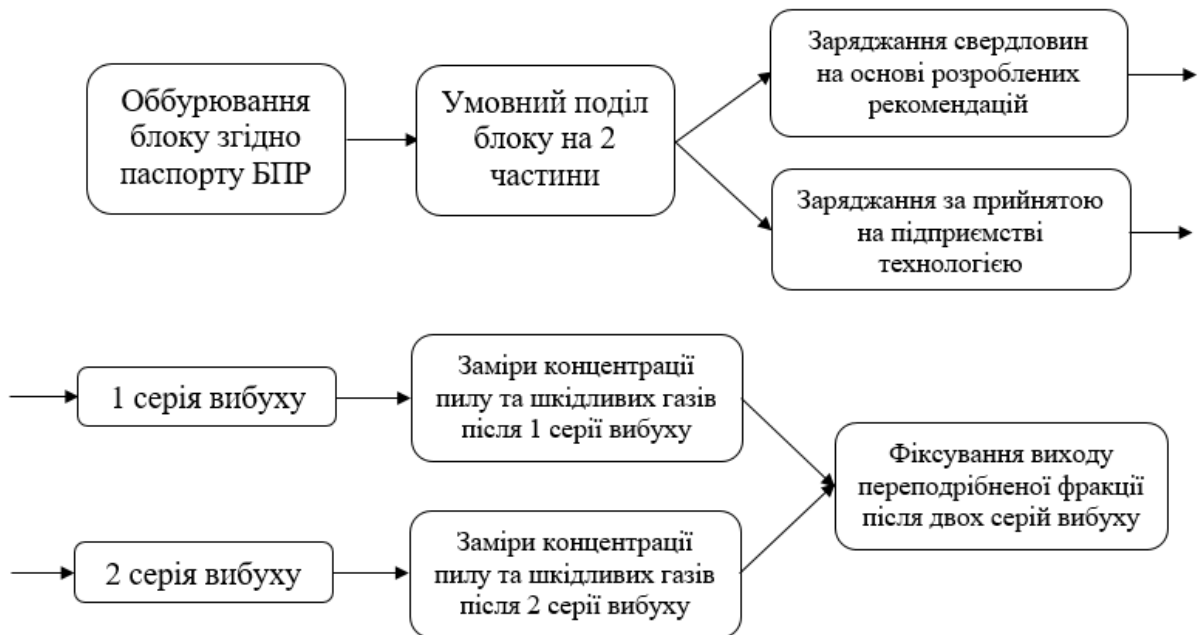


Рисунок 2.7 – Послідовність проведення промислового випробування

### 2.3.2 Метод визначення фракційного складу гірської маси

Одним із найважливіших критеріїв за яким оцінюють ефективність масового вибуху під час розробки родовищ скельних порід з метою отримання щебеню є вихід переподрібненої фракції. Зона переподрібнення, утворена внаслідок пікових значень хвилі тиску на межі контакту заряду з гірничим масивом, – серйозний недолік, притаманний вибуховим роботам. Така зона зумовлює не лише безворотну втрату корисної копалини, але й спричинює значні обсяги пилоутворення. Тому велике значення має відсоток дріб'язку у відбитій масі.

Науково-виробничим підприємством «Кривбасакадемінвест» створено програмний продукт «Геоінформаційну систему K-MINE» [127]. K-MINE: Granules дозволяє виконувати обробку фотознімків підготовлених скельних порід з метою визначення їх гранулометричного складу, середнього розміру шматка, якості дроблення і подрібнення. Модуль визначення

гранулометричного складу підірваної гірської маси K-Granules має ряд функцій і задач, які дозволяють виконати розпізнавання і статистичну обробку для визначення величини шматків підірваних порід за фотографічним знімком. Фотографічні знімки готуються в кар'єрі в області вибою, в якому необхідно провести опробування. Роботи виконуються за допомогою цифрового фотоапарату. За умов виконання польової зйомки необхідно враховувати перспективу. Для цього в області зйомки встановлюють дві мірні лінійки, розміщені на довільній відстані одна від одної (рис. 2.8). Отже, на плоскому знімку за допомогою спеціальних методів можна розраховувати просторові коефіцієнти перерахунку проєкцій шматків гірської маси на істинний розмір [236].

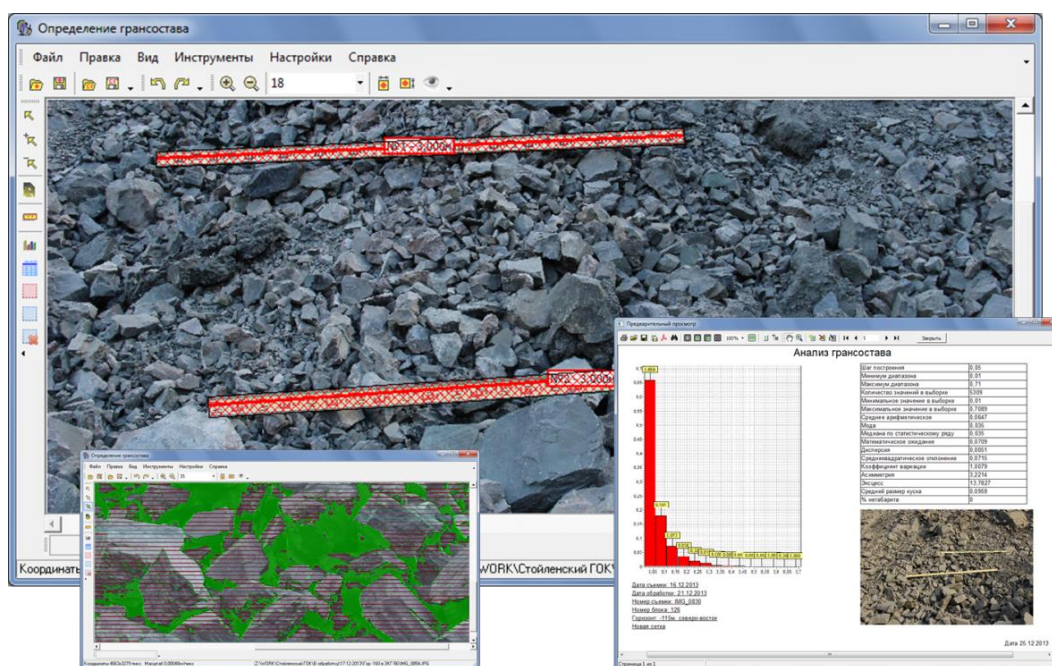


Рисунок 2.8 – Підготовка до зйомки з метою проведення фотопланіметрії [127]

Функції, що включені до складу модуля можна умовно розбити на кілька категорій, а саме: завантаження вихідних знімків; налаштування параметрів кольорових фільтрів і визначення контурів шматків; формування

перспективи; розпізнавання графічних елементів і розрахунок параметрів шматків підірваної гірської маси; занесення інформації в базу даних; формування статистичної звітності. Після завантаження в програму знімка автоматично проводиться накладення на область фільтрів. За допомогою фільтрів проводиться визначення меж шматків.

Обробка проводиться з використанням фотопланіметричного методу. Суть методу полягає у проведенні по всій висоті знімка паралельних ліній з заданим кроком (в пікселях зображення). Для кожної лінії визначається масштабний коефіцієнт, що визначає перспективу віддалення зображення від точки вигляду. Одиниці вимірів масштабних коефіцієнтів мм/піксель. Отже, існує можливість визначення реальної довжини кожного розпізнаного сегмента зображення (шматка) в міліметрах з урахуванням його віддаленості від точки вигляду. Даний метод досить точно визначає вид перспективи для знімків підірваної гірської маси на відкосах уступів. У програмі реалізована можливість створення звітів по розпізаному зображенню чи групі зображень для визначення складу гірської маси. Даний метод є ефективним і простим, не потрібно проводити жодних вимірювань на розвалі гірської маси, лише сфотографувати її. Програмне забезпечення повністю автоматизоване і не вимагає поглиблених знань комп'ютера. Після проведених практичних досліджень, порівнюючи цей метод із зважуванням, можна оцінити точність визначення як дуже високу (похибка не більше 5–7 %) [236].

Перевагами застосування фотопланіметричного методу, що лежить в основі модуля контролю якості гранулометричного складу гірської маси K-MINE: Granules є [127]:

- використання цифрових фотоапаратів будь-якого типу;
- робота з цифровими зображеннями з високою роздільною здатністю в різних форматах;
- використання фотопланіметричного методу, що враховує перспективу зображення;

- можливість групової обробки знімків;
- використання бази даних для накопичення та групового аналізу результатів обробки знімків;
- груповий аналіз знімків з метою отримання узагальненої статистики гранулометричного складу за блоками;
- можливість реконструкції об'ємної структури розвалу за плоским знімком з метою точного визначення розмірів шматків;
- налаштування і використання користувальницьких фільтрів для адаптації системи під різні погодні умови і різні типи порід.

### 2.3.3 Прилади та обладнання для замірів концентрації пилу і газів

Обрання методу відбору проб атмосферного повітря залежить від агрегатного стану забруднюючої речовини, кількість якої в повітрі потрібно оцінити. Найбільш поширений у гігієнічній практиці аспіраційний метод, придатний для відбору проб повітря, що містить речовини у твердому (пил), рідкому (пара) та газоподібному (газ) станах [237]. Аспіраційний метод базується на проходженні повітря, що аналізується, через поглинальне середовище, здатне затримувати забруднюючу речовину. Як поглинальні середовища використовують тверді сорбенти – активоване вугілля і селікагель, полімерні сорбенти, а також поглинальні розчини [238]. Для проходження повітря через поглинальні середовища і фільтри застосовують різні аспіраційні пристрої – електричний, водяний, ежекторний аспіратори [239].

Для відбору проб повітря з метою визначення вмісту в ньому пилу зазвичай використовують електричні аспіратори. Однак за відсутності електричного струму, а також на вибухонебезпечних виробництвах, зокрема гірничопромислових комплексах з виробництва щебеню, для відбору проб повітря може бути використано ежекторний аспіратор АЕРА [240].

Аспіратор ежекторний АЕРА (табл. 2.1, рис. 2.9) призначений для відбору проб повітря на запиленість вугільним та породним пилом. Робота

аспіратора АЕРА заснована на протягуванні необхідного об'єму повітря із заданою швидкістю через фільтр алонжа за допомогою інжекційного пристрою, який приводиться в дію стисненим повітрям, що знаходиться в сталевому балоні. Потік повітря змінюється автоматичним регулятором витрати повітря.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики аспіратора АЕРА

Технічні характеристики	
Місткість балону, л	2
Тиск в балоні, МПа	20
Об'ємна витрата повітря через фільтр, л/хв	20
Коефіцієнт ежекції	5
Маса, кг	7,7

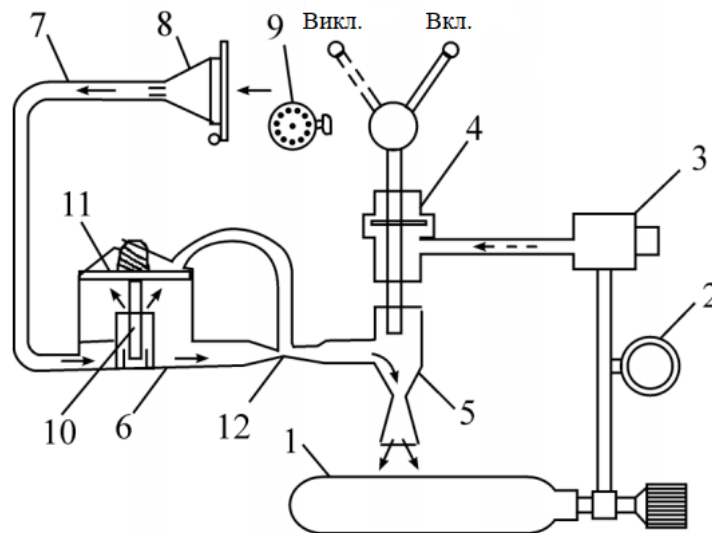


Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд аспіратора АЕРА [241]

Під час використання одного балону стиснутого до 20 МПа повітря можна відібрати проби загальним обсягом 2000 л. За умови, що вентиль балону 1 (рис. 2.10) відкритий і встановлено положення «Вкл.» рукоятки крану 4 стиснуте повітря проходить через редуктор 3, де тиск його знижується до величини 0,7 МПа, і поступає до ежектора 5. Під дією розрідження, що створюється ежектором, запилене повітря протягується через алонж з фільтром 8. Останній з'єднується з приладом шлангом 7, довжиною до 1,5 м. Час відбору проби визначається секундоміром 9, а тиск



повітря в балоні манометром 2. Прилад має автоматичний регулятор 6 для підтримання постійної кількості повітря, що протягується через фільтр. Автоматичний регулятор містить трубку Вентурі 12, за допомогою якої змінюється положення мембранного клапана 10. За умови зменшення витрати повітря (швидкості потоку) в трубці Вентурі (наприклад, внаслідок запилення фільтру) статичний тиск у звуженій її частині, а також над мембраною 11 зростає. Водночас клапан 10 переміщується вниз, прохідний отвір для потоку, а отже і витрата повітря, збільшується. І навпаки, якщо швидкість потоку в трубці Вентурі збільшується, то спостерігається зворотне явище.



1 – балон із стиснутим повітрям; 2 – манометр; 3 – редуктор; 4 – кран; 5 – ежектор; 6 – автоматичний регулятор; 7 – шланг; 8 – алонж з фільтром; 9 – секундомір; 10 – клапан регулятора; 11 – мембрана; 12 – трубка Вентурі

Рисунок 2.10 – Схема аспіратора АЕРА [242]

На території кар'єру в межах СЗЗ та на прилеглих територіях вимірювання концентрації пилу, згідно норм, наведених в [243], здійснюється на висоті від 1,5 м до 2 м від рівня поверхні землі. Одночасно з відбором необхідно виміряти об'єм взятої проби повітря, атмосферний тиск, швидкість вітру, температуру та вологість повітря.

Місце для відбору проб вибирається так, щоб у безпосередній близькості до нього не було будь-яких дерев або стін будівель. Не проводиться відбір проби під час дощу або снігопаду.

В аспіраторі АЕРА шляхом прокачування певного обсягу атмосферного повітря через аерозольний фільтр пилові та аерозольні частинки концентруються на фільтрі. Фільтри зважують до і після вимірювань на лабораторних вагах з точністю до 0,1 мг.

Концентрація пилу в повітрі ( $C$ , мг/м<sup>3</sup>) визначається за формулою:

$$C = 2,76 \cdot 10^6 \cdot G \cdot \frac{(273 + T_c)}{V \cdot t \cdot P_\delta},$$

де  $G$  – маса пилу на фільтрі, мг;

$T_c$  – температура повітря за сухим термометром, °С;

$V$  – витрата повітря через прилад, л/хв;

$t$  – тривалість відбору повітря, хв;

$P_\delta$  – барометричний тиск, Па.

Узагальнення матеріалів спостережень виконується окремо для кожної точки вимірювань. Результати узагальнення подаються у вигляді таблиць, графіків або діаграм.

Для визначення концентрацій шкідливих газів, утворених внаслідок масового вибуху, доцільно використовувати газоаналізатор серії ОКСІ-5М (рис. 2.11, табл. 2.2) [244]–[246].

Газоаналізатори серії ОКСІ-5М відносять до газоаналітичних приладів, які призначені для еколого-теплотехнічних вимірювань об'ємної концентрації  $O_2$ ,  $CO$ ,  $NO$ ,  $NO_2$  і  $SO_2$  в димових газах і у повітрі, температури димових газів ( $T$ ), а також для отримання розрахунковим шляхом концентрації  $CO_2$ , коефіцієнта надлишку повітря і к.к.д. з попередньою установкою  $CO_{2max}$  для обраного виду палива, з буквенною і цифровою індикацією величини вимірюваних параметрів на рідкокристалічному індикаторі, з можливістю

запам'ятовування до 250 результатів вимірювань. Зв'язок з комп'ютером по RS 232. Газоаналізатори є переносними автоматичними мікропроцесорними приладами безперервної дії і виготовляються для потреб народного господарства [244].



Рисунок 2.11 – Газоаналізатор ОКЦИ-5М [245]

Таблиця 2.2 – Діапазони вимірювань і межі абсолютної та відносної похибок газоаналізатора ОКЦИ-5М [244]

Вимірювана величина	Діапазон вимірювань	Інтервал діапазону вимірювань	Межа допустимих похибок	
			абсолютної	відносної
O <sub>2</sub>	0–21 %	-	± 0,2 %	-
CO	0–5000 млн <sup>-1</sup>	0–200 млн <sup>-1</sup>	± 10 млн <sup>-1</sup>	-
		200–5000 млн <sup>-1</sup>	-	± 5 %
NO	0–2000 млн <sup>-1</sup>	0–200 млн <sup>-1</sup>	± 20 млн <sup>-1</sup>	-
		200–2000 млн <sup>-1</sup>	-	± 10 %
NO <sub>2</sub>	0–300 млн <sup>-1</sup>	-	± 10 млн <sup>-1</sup>	-
SO <sub>2</sub>	0–5000 млн <sup>-1</sup>	0–200 млн <sup>-1</sup>	± 10 млн <sup>-1</sup>	-
		200–5000 млн <sup>-1</sup>	-	± 5 %
Температура газу	0–1000 °C	0–100 °C	± 1 °C	-
		100–1000 °C	-	± 0,5 %
Тиск газу р*)	-1000–7000 Па	шкала – 1 Па	-	0,5 % (привед.)

\*)Можливе вимірювання диференціального тиску.

Умови експлуатації приладу [246]:

- температура оточуючого середовища від 5 °C до 40 °C;

- відносна вологість повітря до 80 % за температури 35 °С;
- атмосферний тиск від 84,0 кПа до 106,7 кПа;
- живлення газоаналізатора здійснюється від джерела постійного струму (акумулятора) напругою від 5 В до 6 В, або від мережі змінного струму напругою від 187 В до 242 В, частотою  $(50 \pm 1)$  Гц (через блок живлення).

Газозабірна система складається з газозабірного зонду з датчиком температури, гнучкого газопроводу і конденсатовловлювача з фільтром грубого очищення. Блок живлення призначений для живлення газоаналізатора і зарядки акумуляторів. Газоаналізатор складається з мікрокомпресора, газопроводу, датчиків  $O_2$ ,  $CO$ ,  $SO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $P$ ,  $T$  (кількість датчиків може змінюватись в залежності від модифікації газоаналізатора), графічного рідкокристалічного індикатора з роздільною здатністю  $320 \times 240$  і яскравим люмінесцентним підсвічуванням, розміщених у корпусі з міцного матеріалу [244].

#### 2.4 Методологічна схема вирішення поставлених задач дослідження

Виходячи з теми дисертації, мети та поставлених у роботі задач, розроблена методологія наукових досліджень, яка включає два основних етапи: теоретичні дослідження та експериментальні – промислові випробування. Розроблена методологія базується на визначенні факторів впливу роботи гірничих підприємств з виробництва щебеню на довкілля, встановленні теоретичних закономірностей та залежностей впливу найбільш значущих факторів на результати роботи ГПК з позиції екологічної безпеки із використанням сучасних методів та методик теоретичних досліджень. Достовірність результатів теоретичних досліджень пропонується перевірити у промислових умовах. Структура методології досліджень впливу підприємств відкритої розробки родовищ скельних порід на навколишнє середовище з метою формування науково-теоретичних основ екологічної

безпеки ГПК з виробництва щебеню західного регіону України шляхом удосконалення елементів технології ПР зображена на рис. 2.12.



Рисунок 2.12 – Структура методології досліджень

## Висновки до розділу 2

1. Визначено фактори впливу ГПК з виробництва щебеню на навколишнє середовище. Встановлено, що зі всього технологічного ланцюга виробництва щебеню найбільший вплив на довкілля чинять масові вибухи. Зокрема такий вплив має як прямий (викиди пилу, шкідливих газів, втрата корисної кпалини, сейсмічна небезпека, забруднення підземних вод), так і опосередкований вплив через подальші технологічні процеси (екскавація і транспортування, подрібнення і грохочення, відвалоутворення).

2. Запропоновано комплекс методів та методик для проведення теоретичних досліджень з метою вирішення поставлених у роботі задач. Розроблено алгоритм проведення промислових випробувань з використанням відповідних вимірювальних приладів та методів обробки результатів.

3. Розроблено методологію наукових досліджень, яка базується на визначенні факторів впливу роботи гірничих підприємств з виробництва щебеню на довкілля, встановленні теоретичних закономірностей та залежностей впливу найбільш значущих факторів на результати роботи ГПК з позиції екологічної безпеки із використанням сучасних методів та методик теоретичних досліджень та перевіркою результатів досліджень у промислових умовах.

Основні положення розділу опубліковані у роботах [218], [227], [247].

### РОЗДІЛ 3 ВИВЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ НАВКОЛО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ З ВИРОБНИЦТВА ЩЕБЕНЮ

3.1 Оцінка впливу отруйних газів та породного пилу, утворених внаслідок проведення масових вибухів, на стан навколишнього середовища прилеглих територій

Основним джерелом виділення отруйних газів в процесі відкритої розробки корисних копалин є підривання ВР. У більшості випадків під час проведення ПР на кар'єрах фіксується перевищення ГДК отруйних газів.

Існують кар'єри, на яких ПР проводять за допомогою небезпечних ВР, таких як Грамоніт 79/21, Амоніт № 6ЖВ, Грамоніт 50/50, Гранулотол, Анемікс 70 та інших. Однак шкідливі гази в більшій чи меншій кількості утворюються під час підривання усіх промислових ВР, у тому числі емульсійних. Їх кількість залежить від хімічного складу ВР, їх детонаційної здатності та інших чинників, які визначають повноту хімічних реакцій [248].

Вищенаведені речовини є застарілими, а їх використання недоцільним з екологічної точки зору, так як більшість з них містить у своєму складі тротил. Сучасною та екологічно безпечною ВР, яка набула широкого розповсюдження в Україні, є Гранеміт [249]. Компонентний склад Гранеміту наведено в табл. 3.1.

За методикою розрахунку шкідливих викидів для комплексу обладнання відкритих гірничих робіт (на основі питомих показників) [220] розраховано масу викиду шкідливих газів під час підривання 50 свердловин діаметром 160 мм та довжиною 16 м. Довжину забійки прийнято 3 м. Необхідна маса Гранеміту з урахуванням його щільності згідно табл. 3.1 становить 17 634,24 кг.

Таблиця 3.1 – Компонентний склад та характеристики Гранеміту [149]

Найменування характеристики	Значення
Зовнішній вигляд	Пластична речовина від світло-жовтого до темно-коричневого кольору з включенням гранул білого або світло-жовтого кольору
Масова доля компонентів, %	
селітра аміачна	25–35
паливо дизельне	0–1,65
емульсія пореміту марки АН-У	70 ± 5
ГГД (поверх 100 %)	0,5–2,0
<i>Розрахункові</i>	
Теплота вибуху, МДж/кг (ккал/кг)	3,35 (800)
Питомий об'єм газоподібних продуктів вибуху, л/кг	930
Кисневий баланс, %	- 0,6
Тротиловий еквівалент за теплою вибуху	0,8
Концентрація енергії за щільності 1,3 г/см <sup>3</sup> , МДж/дм <sup>3</sup> (ккал/дм <sup>3</sup> )	4,36 (1040)
Об'єм отруйних газів, які виділяються під час вибуху (в перерахунку на умовний Карбон (II) оксид), л/кг	35–40
<i>Експериментальні</i>	
Водостійкість: маса аміачної і натрієвої селітр, які перейшли у розчин з площі поверхні контакту вибухової речовини з водою, кг/м <sup>2</sup> , не більше ніж за 24 год.	0,01
Щільність заряджання Гранеміту, г/см <sup>3</sup>	1,15–1,35
Швидкість детонації в сталевій трубі 57×3 (ГОСТ 8732) за щільності 1,15–1,25 г/см <sup>3</sup> та ініціювання заряду від проміжного детонатора масою не менше ніж 100 г, м/с	4400–4600
Критичний діаметр детонації в поліетиленовій оболонці, мм	60
Чутливість до удару за ГОСТ 4545: нижня межа, мм	більше 500
частота вибухів, %	4
Чутливість до тертя на приладі К-44-3: нижня межа, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	900 (9000)

Маса шкідливих газів, що викидаються в атмосферу і є складовими ПГХ, розраховувалась за формулою (3.1) [220]:

$$m_{z1} = q_{num} \cdot K \cdot A \cdot 10^{-6}, \quad (3.1)$$



де  $q_{num}$  – питомий вміст шкідливих газів у ПГХ (з 1 кг ВР), л/кг;

$K$  – перевідний коефіцієнт, що залежить від виду газу (для CO:  $K=1,25$  г/л, для NO<sub>x</sub>:  $K=1,4$  г/л);

$A$  – кількість ВР, яку підриватимуть, кг.

З урахуванням того, що під час підривання Грамоніту И-30 утворюється, згідно [7], л/кг: NO<sub>2</sub> – 0,21; CO – 27; CO<sub>2</sub> – 78; N<sub>2</sub> – 215, маса викиду шкідливих нормованих газів, зокрема CO та NO<sub>2</sub>, становитиме відповідно:

$$m_{(CO)I} = 27 \cdot 1,25 \cdot 17634,24 \cdot 10^{-6} = 0,6 \text{ т,}$$

$$m_{(NO_2)I} = 0,21 \cdot 1,4 \cdot 17634,24 \cdot 10^{-6} = 0,005 \text{ т.}$$

За умови проведення масових вибухів один раз на місяць маса CO за рік становитиме 7,2 т, а NO<sub>2</sub> – 0,06 т.

Окрім газів, які відразу формують ПГХ, присутні шкідливі гази, які залишились у гірській масі, що підірвали, та поступово виділяються в атмосферу [220]. Їх кількість розраховувалась за (3.2) з урахуванням (3.3):

$$m_{22} = C_{2M} \cdot Q_{2M} \cdot 10^{-9}, \quad (3.2)$$

де  $m_{22}$  – маса газу, що залишилась в гірській масі, т;

$C_{2M}$  – концентрація шкідливого газу в підірваній гірській масі, мг/м<sup>3</sup>:

$$C_{2M} = q_{2M} \cdot K \cdot A \cdot \frac{10^3}{Q_{2M}(K_p - 1)}, \quad (3.3)$$

$q_{2M}$  – питомий вміст шкідливого газу у відбитій гірській масі (залежно від міцності породи і рецептури ВР), л/кг;

$Q_{2M}$  – об'єм підірваної гірської маси, м<sup>3</sup>;

$K_p$  – коефіцієнт розпушення гірської маси.

Прийнявши  $K_p=1,6$ , об'єм підірваної гірської маси  $12\ 000\ \text{м}^3$  ( $15\ \text{м} \times 50\ \text{м} \times 16\ \text{м}$ ),  $q_{zm}$  для CO рівним 1,4, а для  $\text{NO}_2 - 0,4$ , отримаємо:

$$m_{(\text{CO})2}=0,051\ \text{т},$$

$$m_{(\text{NO}_2)2}=0,016\ \text{т}.$$

Розрахунок маси пилу, що викидається з ПГХ за межі кар'єру, проводився за (3.4) [250]:

$$m_{\text{в}}^{m\text{в}} = K \cdot q_{\text{пил}}^{\text{в}} \cdot A \cdot (1 - \eta), \quad (3.4)$$

де  $K$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує гравітаційне осідання твердих частинок (приймається рівним 0,16);

$q_{\text{пил}}^{\text{в}}$  – виділення пилу під час підривання 1 т ВР, т/т (табличні дані);

$\eta$  – ефективність засобів пилоподавлення, частка одиниці (якщо пилоподавлення відсутнє, дорівнює 0).

Для визначення значень  $q_{\text{пил}}^{\text{в}}$  попередньо розраховується питома витрата ВР на  $1\ \text{м}^3$  гірської маси за формулою (3.5):

$$\Delta = 1000 \cdot \frac{A}{V_{zm}}, \quad (3.5)$$

де  $V_{zm}$  – об'єм підірваної гірської маси,  $\text{м}^3$ .

Для розрахунку маси пилу кількість ВР ( $A$ ) підставляється в тоннах. В результаті отримано масу пилу, що дорівнює 0,5 т.

Найповніше розсіювання шкідливих газів від вибуху ВР визначається за формулою (3.6) [30]:

$$C = \frac{Q}{(4\pi kt)^{3/2}} e^{-\frac{(x-Wt)^2}{4kt}}, \quad (3.6)$$

де  $C$  – концентрація шкідливого газу, мг/м<sup>3</sup>;

$Q$  – інтенсивність миттєвого викиду шкідливої речовини, мг;

$k$  – коефіцієнт турбулентної дифузії, м<sup>2</sup>/с ( $k=3,95$  м<sup>2</sup>/с);

$t$  – час після вибуху, с;

$x$  – відстань від центру вибуху, м;

$W$  – середня швидкість повітряного потоку, м/с.

Інтенсивність миттєвого викиду шкідливої речовини ( $Q$ ) розраховується за формулою (3.7):

$$Q = m \cdot V \cdot \frac{M}{V_m} \cdot 1000, \quad (3.7)$$

де  $m$  – маса ВР, що підривається, кг;

$V$  – об'єм шкідливого газу, що утворюється внаслідок підривання 1 кг ВР, л/кг;

$M$  – молярна маса шкідливого газу, г/моль;

$V_m$  – молярний об'єм газів за нормальних умов (22,413), л/моль.

У табл. 3.2 наведено результати розрахунку концентрацій СО та NO<sub>2</sub> на відстані розміщення найближчого населеного пункту від місця вибуху (на прикладі Пинязевицького родовища Житомирської області), а графік розсіювання газів представлено на рис. 3.1. Промислові дослідження показали, що через 55–65 с ПГХ починає втрачати свої чіткі контури і через декілька хвилин швидкість розвитку стає мінімальна і рівна швидкості вітру біля поверхні кар'єра [22], сам же процес вибуху триває менше 1 с [251]. Зважаючи на це, інтенсивність викиду прийнята з урахуванням часу формування ПГХ та початку її руху зі швидкістю вітру ( $W=2$  м/с).

Таблиця 3.2 – Значення концентрацій забруднюючих речовин після вибуху Гранеміту на різних відстанях (500 с після вибуху)

Відстань, м	Концентрація CO, мг/м <sup>3</sup>	Концентрація NO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Концентрація пилу, мг/м <sup>3</sup>
800	0,018	0,00015	0,015
900	0,84	0,007	0,7
1000	3	0,025	2,5
1100	0,84	0,007	0,7
1200	0,018	0,00015	0,015

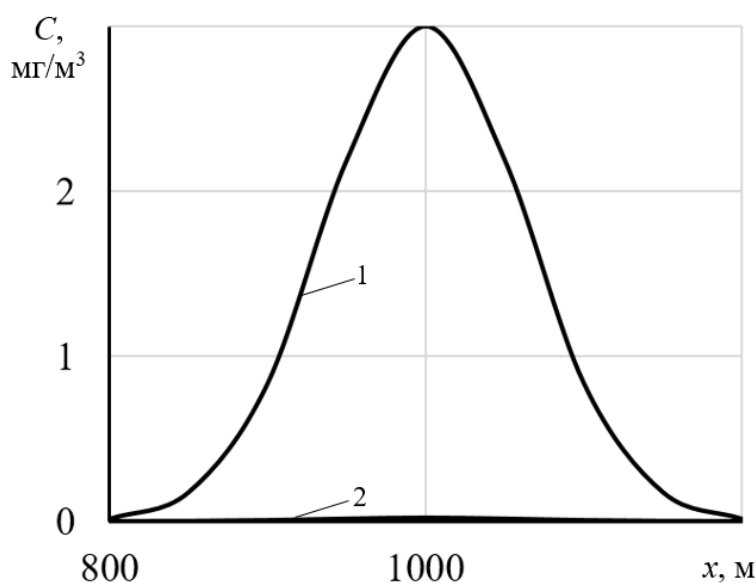


Рисунок 3.1 – Залежність концентрацій CO (1) та NO<sub>2</sub> (2) від відстані до епіцентру вибуху

Для визначення ступеня небезпеки забруднення атмосферного повітря порівняно отримані значення концентрацій Карбон (II) оксиду та Нітроген (IV) оксиду із відповідними ГДК, установленими нормативними документами України [252]. Відповідно до чинних санітарних норм, концентрація Карбон (II) оксиду повинна складати: середньодобова допустима концентрація в атмосферному повітрі населених пунктів – 3 мг/м<sup>3</sup>; максимально-разова допустима концентрація в атмосферному повітрі населених пунктів – 5 мг/м<sup>3</sup>. Для Нітроген (IV) оксиду – середньодобова допустима концентрація в атмосферному повітрі населених пунктів – 0,04 мг/м<sup>3</sup>; максимально-разова допустима концентрація в атмосферному

повітрі населених пунктів –  $0,2 \text{ мг/м}^3$ . Як видно з рис. 3.1 за швидкості вітру  $2 \text{ м/с}$  шкідлива дія СО поширюється за межі СЗЗ. Концентрація СО сягає ГДК, за результатами розрахунку, лише на відстані  $1 \text{ км}$ . Перевищення ГДК<sub>с.д.</sub> підвищує ризик захворюваності гірників та жителів, що проживають поряд з кар'єром. Концентрація  $\text{NO}_2$  на цій же відстані складає  $0,025 \text{ мг/м}^3$ , що задовільняє нормам.

Карбон (II) оксид зв'язується з гемоглобіном у  $200\text{--}300$  разів швидше ніж кисень, тому навіть невеликої кількості цього газу в атмосфері достатньо для того, щоб викликати важке отруєння. Концентрація його у повітрі, що перевищує  $0,1 \%$ , призводить до смерті упродовж  $1$  години перебування в отруйній атмосфері. Часто супроводжується запамороченням, головним болем, шумом у вухах, пришвидшеним серцебиттям, мерехтінням перед очима, почервонінням обличчя, загальною слабкістю, нудотою, або навіть втратою свідомості.

Враховуючи можливі наслідки для здоров'я, доцільним є розрахунок ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря Карбон (II) оксидом. Оцінка ризику проводилась на основі методики оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря [221]:

$$HQ = \frac{C_i}{C_{ГДКi}},$$

де  $C_i$  – середня концентрація  $i$ -ої забруднюючої речовини,  $\text{мг/м}^3$ ;

$C_{ГДКi}$  – ГДК  $i$ -ої забруднюючої речовини,  $\text{мг/м}^3$ .

Ризик для населення, яке проживає, для прикладу, в смт. Гранітне ( $800 \text{ м}$  від Пинязевицького родовища гранітів) за концентрації Карбон (II) оксиду  $3 \text{ мг/м}^3$  буде дорівнювати:

$$HQ = \frac{3}{3} = 1.$$

Критерії для характеристики коефіцієнта небезпеки наведено у табл. 3.3 [221].

Таблиця 3.3 – Класифікація рівнів неканцерогенного ризику для здоров'я населення

Характеристика ризику	Коефіцієнт небезпеки (HQ)
Ризик виникнення шкідливих ефектів розглядають як зневажливо малий	< 1
Гранична величина, що не потребує термінових заходів, однак не може розглядатись як досить прийнятна	1
Імовірність розвитку шкідливих ефектів зростає пропорційно збільшенню HQ	> 1

Оцінка ризику для здоров'я населення за умов сучасного рівня забруднення атмосферного повітря Карбон (II) оксидом показала, що він не може розглядатись як досить прийнятний і тому потребує здійснення заходів з усунення або зниження. За умов збільшення кількості ВР такий ризик перейде у групу неприйнятної.

### 3.2 Динаміка змін радіаційно-гігієнічного фону з розвитком гірничих робіт у гранітному кар'єрі

Так як значна територія України розташована на Українському кристалічному щиті, запаси будівельного каменю в нашій державі досить великі, а обсяги виробництва щебню та будівельної продукції з декоративного каменю зростають з кожним роком [253]. Усі кристалічні гірські породи вміщують такі природні радіонукліди як радій-226, торій-232, калій-40, уран-238 і уран-234, тому національними нормами радіаційної безпеки встановлено жорсткий контроль за використанням продукції з природного каменю. Разом з тим всі кар'єри будіндустрії характеризуються підвищеним радіаційним фоном, а території радіаційного забруднення зростають за рахунок розширення кар'єрів, відвалів та розсіювання сировини [254].

Однією з важливих проблем у видобуванні було-щебеневої сировини є те, що техногенні утворення на гірничовидобувних підприємствах часто слугують джерелами забруднення суміжних з підприємством територій токсичними речовинами, зокрема, радіонуклідами. У зв'язку з неоднорідністю будови нерудної сировини і розподілу в ній мінералів-домішок отримана з неї щебенева та архітектурно-будівельна продукція може стати джерелом опромінення людини за рахунок довгоживучих природних радіонуклідів і продуктів їх розпаду, які містяться в гірських породах і мінералах [255]–[257].

Вивчення закономірностей формування на гранітних кар'єрах радіаційно-гігієнічного фону слугує головною передумовою розробки ефективних заходів щодо зменшення радіаційного навантаження на оточуюче середовище в локальних осередках підприємств будіндустрії.

Питанням дослідження радіоактивного забруднення навколишнього середовища внаслідок роботи ГПК присвячено багато робіт вітчизняних і зарубіжних вчених [258]–[261]. Однак єдиного наукового підходу до оцінки рівня еколого-радіаційної безпеки у зоні впливу гранітних кар'єрів не існує.

Тому пропонується оцінку рівня еколого-радіаційної безпеки в межах кар'єру здійснювати на основі показника гамма-фону. Для аналізу радіаційного фону взяті значення гамма-фону на п'яти уступах гранітного кар'єру Малинського каменедробильного заводу. У табл. 3.4 наведено середні значення гамма-фону кожного уступу.

Таблиця 3.4 – Середні значення гамма-фону на уступах гранітного кар'єру Малинського каменедробильного заводу

Висотна позначка, м	58	72	99	124	143
Гамма-фон, мкР/год	19,98	18,17	17,03	16,49	9,9

Дослідження впливу глибини гранітного кар'єру на його радіаційний фон проводилось з використанням методу однофакторного дисперсійного

аналізу [222]. Обчислена дисперсія, зумовлена коливаннями значень в середині варіантів, – 0,57, дисперсія, що виражає коливання середніх у варіантах відносно загальної середньої, – 307,24. Емпіричне значення критерія Фішера ( $F_{емп}$ ) – 539,02.

$$F_{емп} = \frac{S_{\phi}}{S_{ост}} = \frac{307,24}{0,57} = 539,02,$$

де  $S_{\phi}$  – факторна дисперсія, що виражає коливання середніх в варіантах відносно загальної середньої;

$S_{ост}$  – остаточна дисперсія, зумовлена коливаннями значень в середині варіантів.

Під час перевірки гіпотези про рівність дисперсій виявлено, що критичне значення ( $F_{кр}$ ) для прийнятого рівня значимості і відповідних чисел ступенів свободи (2,45) менше за обчислене (539,02). Отже, можна вважати, що дослідні дані суперечать гіпотезі про рівність дисперсій. Оскільки нульова гіпотеза відкинута, підтверджується залежність показників  $\gamma$ -фону кар'єра від його глибини.

Для оцінки щільності зв'язку між висотними позначками і величиною гамма-фону використано коефіцієнт кореляції за Пірсоном:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}},$$

де  $\bar{x}$  – середнє значення величини  $x$ ;

$\bar{y}$  – середнє значення величини  $y$ .

У табл. 3.5 наведено необхідні для розрахунку коефіцієнта кореляції проміжні дані та їх суми. Коефіцієнт кореляції Пірсона:



$$r_{xy} = \frac{-484,8}{70,504 \cdot 7,925} = -0,868.$$

Так як абсолютне значення розрахованого коефіцієнта кореляції більше критичного значення за ймовірності помилки  $p=0,05$ , взятого з табличних даних ( $0,868 > 0,81$ ), відхиляється нульова гіпотеза про відсутність кореляційної залежності між вибірками і приймається альтернативна гіпотеза про наявність зв'язку між вибірками. Значення коефіцієнту кореляції, яке близьке до 1, свідчить про досить тісний зв'язок між глибиною кар'єра та показником  $\gamma$ -фону.

Таблиця 3.5 – Проміжні розрахунки для визначення коефіцієнта кореляції

№	$x$	$y$	$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$
1	58	19,98	-41,2	3,2	-131,84	1697,44	10,24
2	72	18,17	-27,2	2,2	-59,84	739,84	4,84
3	99	17,03	-0,2	1,2	-0,24	0,04	1,44
4	124	16,49	24,8	0,2	4,96	615,04	0,04
5	143	9,9	43,8	-6,8	-297,84	1918,44	46,24
$\Sigma$	-	-	-	-	-484,8	4970,8	62,8

Припустимо, що зміна величини гамма-фону від глибини кар'єру має лінійну залежність:

$$y = ax + b,$$

де  $y$  – значення гамма-фону, мкР/год;

$x$  – висотна позначка на кар'єрі, м;

$a, b$  – коефіцієнти регресії.

З метою встановлення залежності методом найменших квадратів знаходимо коефіцієнти  $a$  і  $b$ . Для цього складено систему рівнянь:

$$\begin{cases} nb + a \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i, \\ b \sum_{i=1}^n x_i + a \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 54174a + 496b = 7613,51, \\ 496a + 5b = 81,57. \end{cases}$$

За результатами розрахунку встановлено лінійну залежність величини гамма-фону від глибини кар'єру з коефіцієнтами регресії  $a=-0,096209$ ;  $b=25,8579$ . Рівняння лінійної залежності має вигляд  $y=25,8579-0,096209x$  або  $\gamma_\phi=25,8579-0,096209h_y$ . Графічно рівняння зображено на рис. 3.2. Зі зменшенням висотної позначки у кар'єрі (збільшенням глибини) гамма-фон зростає [262].

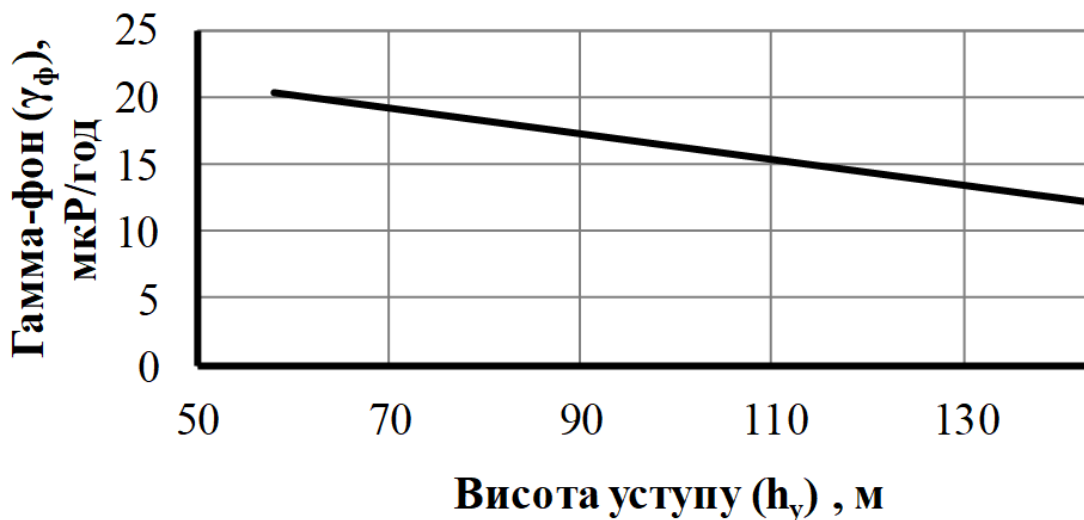


Рисунок 3.2 – Лінійна залежність величини гамма-фону  $\gamma_\phi$  від глибини кар'єру  $h_y$

Для більш точного визначення залежності величини радіаційного фону на гранітному кар'єрі від його глибини виконано інтерполяцію за допомогою полінома Лагранжа. Поліном Лагранжа 4-го ступеня:

$$L(x)=19,98l_0+18,17l_1+17,03l_2+16,49l_3+9,9l_4,$$

де  $l_0, l_1, l_2, l_3, l_4$  – базисні функції.

$$L(x)=-9,8271 \cdot 10^{-7} \cdot x^4+3,2073 \cdot 10^{-4} \cdot x^3-0,0365 \cdot x^2+1,6321 \cdot x-3,2149.$$

Графік залежності гамма-фону від глибини кар'єру у вигляді полінома Лагранжа 4-го ступеня представлено на рис. 3.3.

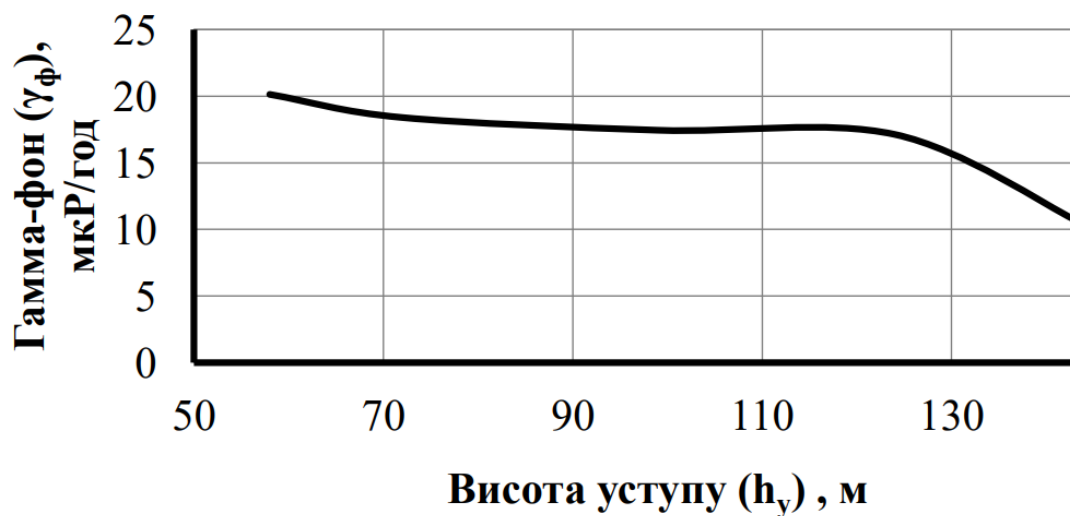


Рисунок 3.3 – Залежність величини гамма-фону від глибини кар'єру у вигляді полінома Лагранжа 4-го ступеня

Визначено, що гамма-фон поступово спадає зі збільшенням висотної позначки (зменшенням глибини кар'єру) від 60 до 120 м. Після висотної позначки 120 м радіаційний фон кар'єру більш різко зменшується (приблизно у 1,5 рази) [262].

### 3.3 Дослідження стану навколишнього середовища в районах розміщення відвалів кар'єрів скельних порід

#### 3.3.1 Оцінка стану атмосферного повітря в районах розміщення відвалів кар'єрів

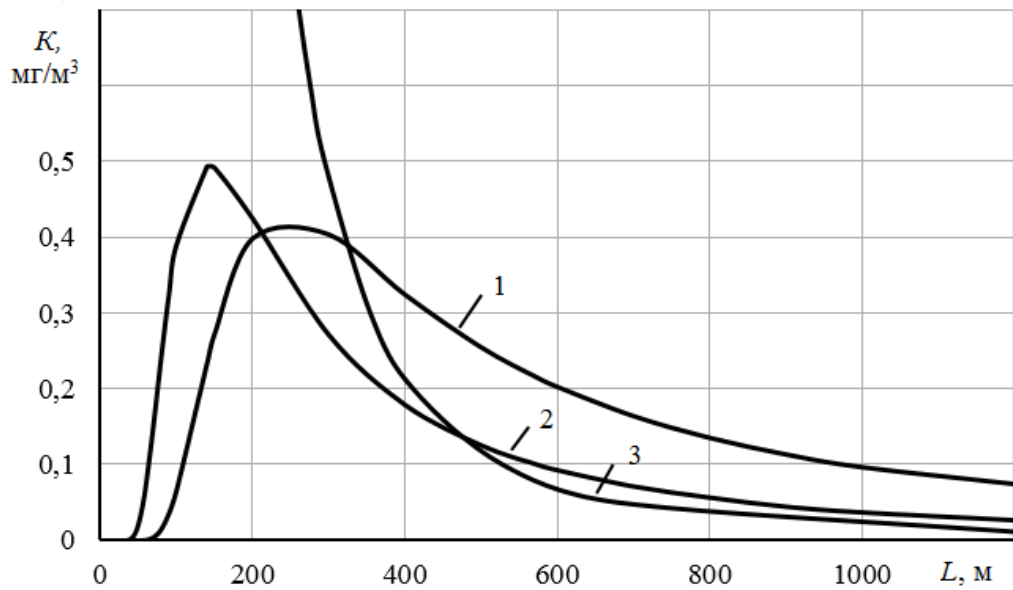
Одним із визначальних джерел пилоутворення під час розробки родовищ відкритим способом є пиління з поверхонь відвалів кар'єру. Щоб оцінити вплив пилу в повній мірі необхідно не лише знати його концентрацію у повітрі та об'єми викидів, а і спрогнозувати його розсіювання, враховуючи метеорологічні умови (температуру, швидкість та напрямок вітру, вологість і т. п.). Такий прогноз дозволяє отримати карту-схему концентрацій пилу, з якої можна зробити висновок про рівні забруднення територій пилом, про дотримання встановлених норм щодо пилу як в межах СЗЗ, так і поза нею [263].

Оцінка розсіювання пилу внаслідок пиління відвалів проводилась за моделлю Гауса і методикою ВНДІБПГ [223], [224]. Для розрахунку прийнято типовий гранітний кар'єр у Житомирській області [264]. Результати розрахунків показано на рис. 3.4 та 3.5. За даними на рис. 3.4 можна зробити висновок, що за методикою, яка базується на моделі Гауса, визначення концентрації пилу більш точніше ніж за методикою ВНДІБПГ. Це пояснюється тим, що перша методика охоплює більшу кількість метеорологічних умов. Однак на далеких відстанях результати близькі [265].

Слід зазначити, що концентрація пилу перевищує середньодобову ГДК та приходиться в норму лише на відстані 1 км, що в 2 рази перевищує розміри СЗЗ [243], [252].

Окрім прогнозування розсіювання пилу під час пиління відвалів, критерієм оцінки впливу на довкілля може служити радіус зони запилення. У роботі [266] встановлено залежність радіусу зони запилення від маси пилу, що здувається з відвалу кар'єра, за допомогою кубічного сплайна. Така

залежність дасть змогу обґрунтовано обирати методи та засоби знепилення з урахуванням конкретних кліматичних умов та розмірів відвалів.



1, 2 – за методикою, яка базується на Гаусовській моделі (для теплої та холодної пори року відповідно), 3 – за методикою ВНДБПГ  
Рисунок 3.4 – Залежність зміни концентрації  $K$  від відстані  $L$

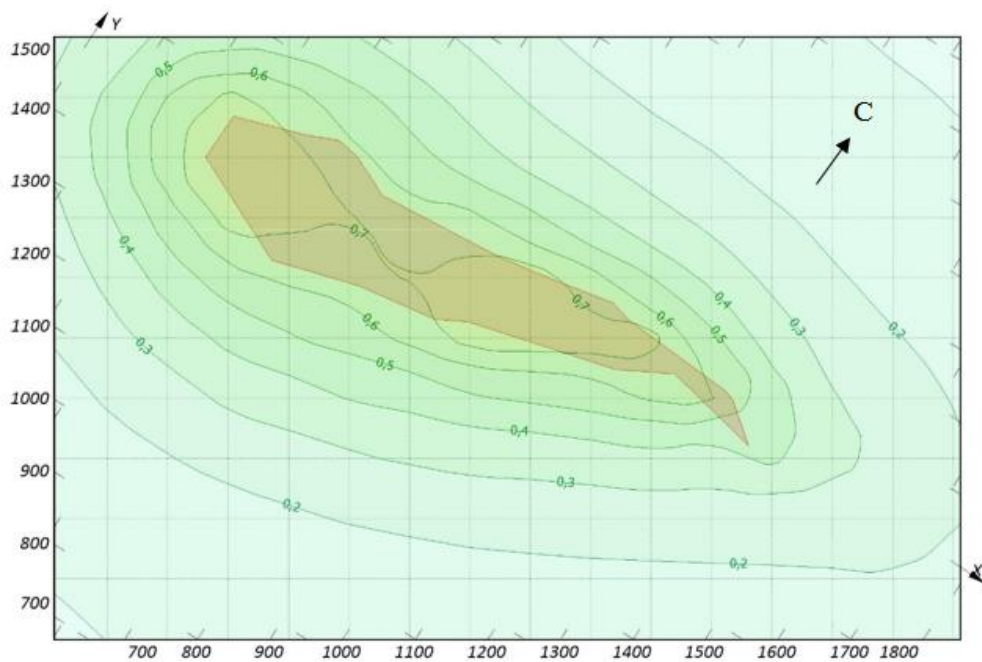


Рисунок 3.5 – Картограма концентрацій пилу в атмосфері під час пиління відвалів

Особливість дії пилу на організм людини має фіброгенну та канцерогенну дію. Перевищення ГДК<sub>с.д.</sub> підвищує ризик захворюваності гірників та жителів, що проживають поряд з кар'єром, бронхіальною астмою, хронічним бронхітом, пневмоконіозом і т. п. Ризик неканцерогенних ефектів для населення, яке проживає в смт. Гранітне (найближчий населений пункт до Пинязевецького родовища гранітів), за концентрації пилу 0,14 мг/м<sup>3</sup>, дорівнює 1,4 [265]. Оцінка неканцерогенного ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення атмосферного повітря через пиління відвалів показала, що він є неприйнятним і потребує термінового здійснення заходів з усунення або зниження.

Кількісне оцінювання канцерогенного ризику загрози здоров'ю населення, зумовленого забруднюючою речовиною (пилом), проведено за методикою Швирияєва А. А. та Меньшикова В. В. [267].

Число важких наслідків дії токсикантів на населення визначається виразом:

$$q_e = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k [P_e(D)]_{ij} \cdot N_{ij},$$

де  $n$  – кількість рівнів доз кожного токсиканта, шт.;

$k$  – кількість токсикантів, шт.;

$[P_e(D)]_{ij}$  – ймовірність ризику від дози, визначається як:

$$[P_e(D)]_{ij} = (F_r \cdot D)_{ij} = (F_r \cdot c \cdot v \cdot t)_{ij};$$

де  $F_r$  – фактор ризику токсиканта, мг<sup>-1</sup>;

$D$  – доза токсиканта, мг;

$c$  – концентрація токсиканта, мг/м<sup>3</sup>;

$v$  – щоденне надходження токсиканта в організм, м<sup>3</sup>/день;

$t$  – час дії токсиканта, роки;

$N_{ij}$  – кількість населення, яке піддається дії токсикантів, чол.

Символ «e» показує, що мова йде про додаткові (excess) випадки захворювання, викликані розглянутим токсикантом [267].

Кількісну оцінку популяційного ризику ракових захворювань за рік проведено для жителів смт. Гранітне (в кількості 1508 осіб [268]), що знаходиться на відстані 0,8 км від відвалу кар'єру. Концентрація пилу становить  $0,14 \text{ мг/м}^3$ , фактор ризику дорівнює  $1,4 \cdot 10^{-4}$  за даними програми «Multipurpose Data Presentation System Version 2.0». Якщо вважати, що середній об'єм повітря, що вдихається щохвилини, дорівнює 7,5 л/хв [267], то обсяг забрудненого повітря, що проходить через легені кожної людини щодоби, складе  $10,8 \text{ м}^3/\text{день}$ .

Розрахунок показав, що ризик є неприйнятним,  $q_e=12,31$ , тобто для наведених умов даний об'єкт може викликати приблизно 12 випадків захворювання раком на рік.

### 3.3.2 Оцінка стану ґрунтів в районах розміщення відвалів кар'єрів

Навколо гранітних кар'єрів утворюються зони негативного впливу на навколишнє середовище. Діяльність гірничого підприємства впливає як на стан навколишнього середовища регіону загалом, так і на рівень родючості ґрунтів, вміст шкідливих речовин в сільськогосподарських культурах, що вирощуються на них [269], [270].

Спостереження і контроль за станом ґрунтів проводиться, як правило, лише за допомогою фізико-хімічних аналізів, які визначають вміст окремих забруднювачів. Однак ці аналізи не дають змогу оцінити вплив забруднювачів на живі організми, в тому числі людину. Сьогодні альтернативними для дослідження стану ґрунтів прилеглих територій до кар'єрів є біологічні методи, зокрема біоіндикація. Біоіндикація дає змогу визначити сумісну біологічну активність впливу фізико-хімічних факторів на природне середовище [271], [272].

Основний принцип біоіндикації – це пошук індикатора відповідного фактора чи системи, яку індують. Наявність певних зв'язків між подіями, логічність тверджень і достовірність фактів ще не означають можливість і доцільність використання цих даних для індикації. Кожен біоіндикатор має критичний рівень інформації, поза межами якого він не лише не працює, а може суттєво заплутати інформацію і навіть спотворити її. Тому для достовірності результатів дослідження важливим є етап вибору тест-культури і параметрів зміни її життєдіяльності. На сьогоднішній день даних щодо обґрунтування вибору рослинних тест-систем для фітотоксичної оцінки ґрунтів територій, прилеглих саме до кар'єрів скельних порід, немає.

Важливою характеристикою будь-якого біоіндикатора є його достовірність. Існує багато рекомендацій щодо використання того чи іншого виду рослин для біоіндикації ґрунтів, проте єдиних загальноприйнятих способів не розроблено. Тому, здійснюючи біоіндикацію, слід враховувати шість основних принципів вибору тест-культури [273], [274] (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Принципи вибору тест-організмів

Простота	Індикатори повинні бути доволі прості й представлені у зрозумілий спосіб, інакше біоіндикація втрачає сенс.
Наукова ймовірність	Дані, отримані під час використання індикаторів, мають бути доступними для детального розгляду і забезпечувати можливість подальшої інтеграції та екстраполяції.
Технічна досяжність	Індикатор має бути отриманий на основі показників, ознак, які б відповідали вимогам моніторингу, адже вимоги часу і вартості не дають можливості накопичувати необмежену базу даних.
Попереджувальна здатність	Індикатор має забезпечити картину не лише наявних умов в екосистемі і тенденції їх зміни, а й вказати на можливість деградації до того, як виникне загроза.
Просторове висвітлення	Інтерпретаційні обмеження індикаторів мають бути зрозумілими. Індикатори, які виконують функцію забезпечення інформацією на глобальному рівні, не можна безпосередньо використовувати на регіональному чи локальному рівні.
Гнучкість	Це стосується таких аспектів, як можливе розширення меж дії індикатора, інтерпретація часових змін, оцінка інших опосередкованих факторів, отримання певної додаткової інформації тощо.



Існує декілька різних методик проведення біоіндикаційної оцінки ґрунтів. Кожна з цих методик має свої переваги, недоліки та обмеження (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Порівняльний аналіз методів біоіндикації ґрунтів

Назва методу	Переваги	Недоліки
1	2	3
Ростовий тест (методика Берестецького О. А.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• можливість оцінити реакцію живих організмів на присутні полютанти;</li> <li>• доступність проведення експериментів (не потрібні спеціальні лабораторії і висока кваліфікація персоналу);</li> <li>• невеликі затрати праці;</li> <li>• відносна дешевизна</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• необхідність великої кількості повторювань для розрахунку більш точного фітотоксичного ефекту;</li> <li>• досліджується рівень організації організмів, що має відносно невисоку чутливість і точність порівняно з дослідженнями на клітинному рівні</li> </ul>
Ростовий тест (методика Горової А. І.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• можливість оцінити реакцію живих організмів на присутні полютанти;</li> <li>• доступність проведення експериментів;</li> <li>• невеликі затрати праці;</li> <li>• відносна дешевизна</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• необхідність великої кількості повторювань для розрахунку більш точного фітотоксичного ефекту;</li> <li>• досліджується рівень організації організмів, що має відносно невисоку чутливість і точність порівняно з дослідженнями на клітинному рівні</li> </ul>
Тест «Аберантність хромосом»	<ul style="list-style-type: none"> <li>• досліджується рівень організації клітини, що дозволяє забезпечити високу точність і чутливість до полютантів (дозволяє визначити навіть незначні концентрації полютантів);</li> <li>• швидкість проведення</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• потреба у висококваліфікованих спеціалістах;</li> <li>• необхідність спеціальної лабораторії та обладнання;</li> <li>• відносно високі матеріальні затрати</li> </ul>
Оцінка стану ґрунтів за зміною видового біорізноманіття безхребетних тварин	<ul style="list-style-type: none"> <li>• матеріальна економічність;</li> <li>• доступність проведення експериментів</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• висока трудоємність, використання методу призводить до порушення ґрунтового покриву;</li> <li>• недоцільно для вивчення сезонного коливання складу ґрунтової мезофауни;</li> <li>• під час розкопок рухливі види фауни реагують на порушення та швидко зникають в інше місце</li> </ul>

Продовження таблиці 3.7

1	2	3
Токсичність водних витяжок ґрунтів	<ul style="list-style-type: none"> <li>• застосування дистильованої води імітує дію на ґрунт атмосферних опадів, таким чином, в якійсь мірі відтворюється природна ситуація;</li> <li>• метод можна застосовувати для будь-яких ґрунтів, не вимагає спеціальної підготовки ґрунту;</li> <li>• водну витяжку можна отримати навіть з ґрунтів, що мають польову вологість</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• порівняно низька достовірність визначення токсичності ґрунтів (деякі забрудники нерозчинні у воді);</li> <li>• відносно високі матеріальні затрати;</li> <li>• додаткова витрата часу для приготування витяжки</li> </ul>
Діагностика ґрунтів за ферментативною активністю (за методичними розробками Лисак Л. В.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• дослідження активності ґрунтових ферментів відображає проходження біохімічних процесів у едафотопі та є одним із інтегральних показників його біотичної активності</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• потреба у висококваліфікованих спеціалістах;</li> <li>• необхідність спеціальної лабораторії та обладнання;</li> <li>• високі матеріальні витрати</li> </ul>

Проведений аналіз наведених методик біоіндикації ґрунтів свідчить про те, що найбільш доступним методом біоіндикації є ростовий тест, який дає змогу швидко і без особливих грошових затрат визначити фітотоксичний ефект ґрунту. Це є великою перевагою, що дає можливість систематично проводити моніторинг токсичності ґрунтів.

З іншого боку, найбільш точним методом є тест «Аберантність хромосом», який проводиться на клітинному рівні, що дозволяє забезпечити високу точність результатів і визначати навіть незначні концентрації поллютантів.

Враховуючи вище наведене, для оцінки токсичності ґрунтів прилеглих до гранітних відвалів територій запропоновано використовувати ростовий тест в комплексі з тестом «Аберантність хромосом». Водночас для отримання більш точної і об'єктивної оцінки варто застосовувати декілька різних тест-об'єктів.

У процесі вибору тест-організмів суттєвим є використання біотестерів, найчутливіших до дії забруднюючих компонентів. Друга важлива вимога щодо тест-організму полягає в тому, що дія токсиканта на нього має обов'язково викликати зворотну реакцію організму. Окрім того тест-організми в межах одного дослідження мають бути візуально однаковими. Це означає, що для рослин-біоіндикаторів необхідне обов'язкове калібрування насіння за масою та розмірами. Для біоіндикаторів не придатні організми, пошкоджені хворобами, шкідниками та паразитами [273].

Отже, виходячи з вище наведеного, виділено наступні критерії, яким повинен задовольняти рослинний тест-організм:

- бути типовим видом для природної зони, де розташовується об'єкт дослідження;
- бути поширеним на усій досліджуваній території, що дає можливість простежити динаміку забруднення;
- мати високу чисельність у досліджуваному екотопі;
- мати чітко виражену кількісну і якісну реакцію на порушення характеристик місця існування;
- мати добре вивчену біологію виду тест-організму;
- мати короткий період онтогенезу, щоб була можливість відстежити вплив фактора на наступні покоління.

У науковій літературі наведено приклади застосування різних рослинних тест-об'єктів для фітотоксичної оцінки стану ґрунтів [272]–[276]. З урахуванням вище зазначених вимог до рослин-індикаторів та проведеного аналізу літературних джерел визначено найбільш поширені на територіях концентрації гранітних кар'єрів в Україні (Житомирська та Київська області) види рослин-індикаторів ґрунту, а саме: редис посівний (*Raphanus sativus* var. *Radicula Pers.*), крес-салат (*Lepidium sativum* L.), цибуля ріпчаста (*Allium cepa* L.), пшениця (*Triticum sativum*) та горох (*Pisum sativum*).

Під час вибору тест-організмів для дослідження впливу гранітних кар'єрів на ґрунти прилеглих територій враховувалась наявність чутливої

тест-реакції до зміни концентрації забруднювачів, наявних у досліджуваних ґрунтах (Cr, U, Th, Zn [275]), а також структурні та функціональні ознаки біоіндикаторів (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Параметри досліджуваних тест-організмів [277]–[281]

Тест-рослина	Параметр				
	Період онтогенезу, днів	Біологічна продуктивність, ц/га	Чутлива тест-реакція на хімічний елемент		
			Cr	U/Th	Zn
Редис посівний	25–45	110±10,5	-	+	-
Крес-салат	15–20	10±1,2	+	+	+
Цибуля ріпчаста	12–16*	13,6±0,9	+	+	+
Пшениця	20–24*	32,6±10,2	+	-	+
Горох посівний	65–85	35,83±1,07	+	-	+

Примітка. \* – взято 1 та 2 періоди онтогенезу, яких достатньо для проведення біоіндикації

Для правильного вибору біоіндикаторів з метою дослідження ґрунтів прилеглих до ГПК з виробництва щебеню територій застосовано метод аналізу ієрархій [282], [283]. Кожному тест-організму (Р) із запропонованих альтернатив призначено значення параметра (Н). За бальною системою оцінювалась відносна важливість кожного параметру для кожної тест-рослини (табл. 3.9).

Виконано розрахунок відносного ступеня важливості параметрів тест-рослин під час проведення біоіндикації ґрунтів. Для порівняння параметрів тест-рослин та визначення найбільш відповідної тест-системи для оцінки стану ґрунтів складено відповідні матриці аналізу [284]. Загальний ступінь важливості кожного тест-організму для дослідження впливу гранітних кар'єрів на ґрунти, згідно розрахунку, склав відповідно:  $N_1=0,1716$ ;  $N_2=0,203$ ;  $N_3=0,2117$ ;  $N_4=0,1875$ ;  $N_5=0,1846$ .

Таблиця 3.9 – Матриця логічного порівняння параметрів тест-рослин  
[284]

Тест-рослина	Параметр				
	Період онтогенезу, днів (H1)	Біологічна продуктивність, ц/га (H2)	Чутлива тест-реакція на хімічний елемент		
			Cr (H3)	U/Th (H4)	Zn (H5)
	$a_0^1 = 2$	$a_0^2 = 1$	$a_0^3 = 3$	$a_0^4 = 5$	$a_0^5 = 4$
Редис посівний (P1)	$a_1^1 = 2$	$a_1^2 = 5$	$a_1^3 = 1$	$a_1^4 = 3$	$a_1^5 = 1$
Крес-салат (P2)	$a_2^1 = 4$	$a_2^2 = 1$	$a_2^3 = 4$	$a_2^4 = 5$	$a_2^5 = 3$
Цибуля ріпчаста (P3)	$a_3^1 = 5$	$a_3^2 = 2$	$a_3^3 = 5$	$a_3^4 = 4$	$a_3^5 = 5$
Пшениця (P4)	$a_4^1 = 3$	$a_4^2 = 3$	$a_4^3 = 3$	$a_4^4 = 1$	$a_4^5 = 4$
Горох посівний (P5)	$a_5^1 = 1$	$a_5^2 = 4$	$a_5^3 = 2$	$a_5^4 = 2$	$a_5^5 = 2$

Результати розрахунку ступеня важливості тест-організмів за допомогою методу аналізу ієрархій свідчать про те, що найбільш відповідною рослинною тест-системою для дослідження впливу гранітних кар'єрів на екологічний стан ґрунтів прилеглих територій є цибуля ріпчаста (*Allium cepa L.*). Проте для отримання більш точної і об'єктивної інформації варто застосовувати декілька різних тест-об'єктів. Враховуючи розраховані ступені важливості тест-організмів, запропоновано додатково використовувати крес-салат (*Lepidium sativum L.*) та пшеницю (*Triticum L.*) [284].

Оцінку біотоксичності ґрунтів територій прилеглих до гранітного відвалу виконано за методикою «Ростовий тест» [225]. Пророщування тест-культур проводилось у чашках Петрі. Для дослідження відібрано проби ґрунту прилеглих до Рокитнянського гранітного кар'єру територій у 4 точках на різній відстані до гранітного відвалу [285]. Спочатку досліджувані проби та контрольний зразок ґрунту висушувались до повітряно-сухого стану, просіювались і подрібнювались. У кожному з чашок Петрі клали аркуш

фільтрувального паперу, на який насипали і рівномірно розподіляли 1 г підготовленої маси, додавали 5–7 мл води і висівали по 30 насінин індикаторної рослини. Дослід тривав 96 годин за температури 24–28 °С. Результати пророщування цибулі ріпчастої, крес-салату та пшениці наведено на рис. 3.6.

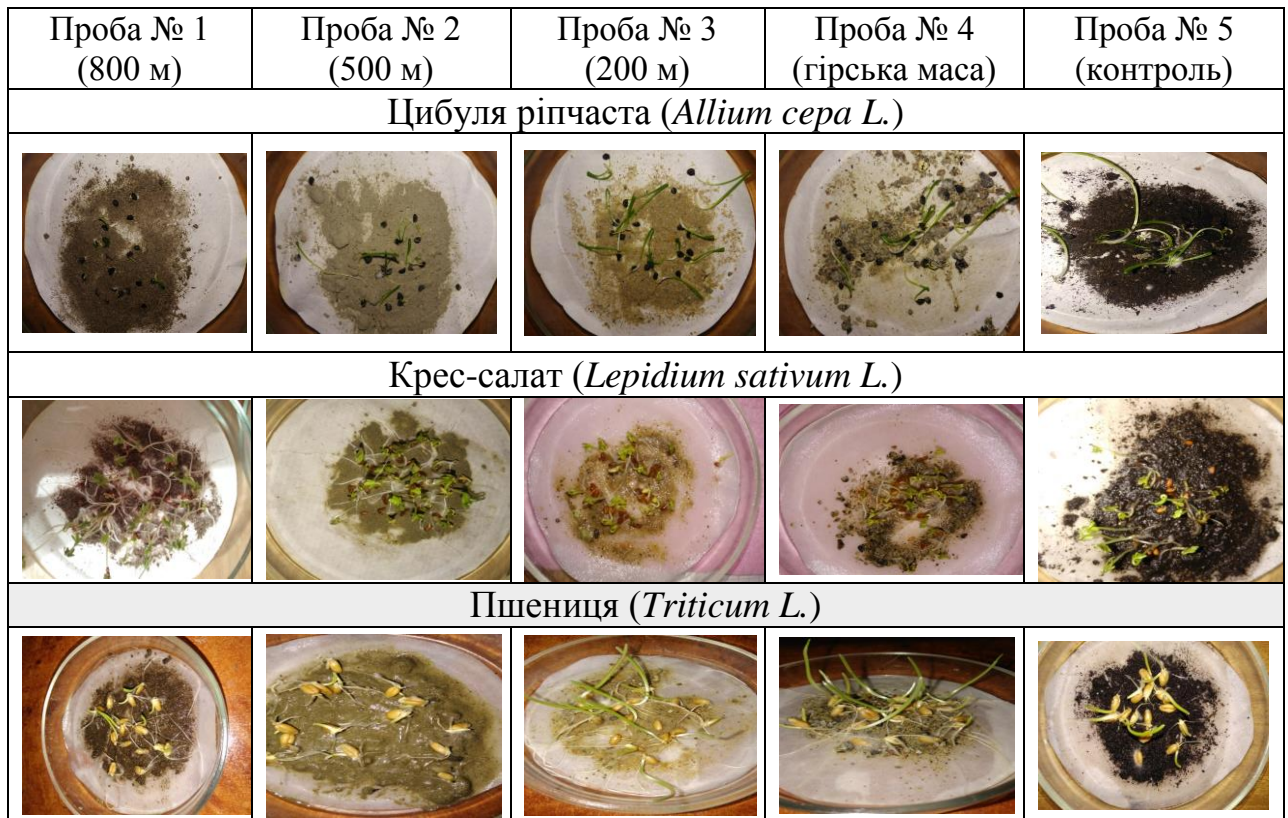


Рисунок 3.6 – Пророщування цибулі ріпчастої, крес-салату та пшениці на 96 годину досліду

Після закінчення експерименту рослини обережно виймали з чашок Петрі, вимірювали довжину кореневої і стеблової систем. Результати вимірювання ростових показників тест-рослин представлено на рис. 3.7. З рис. 3.7 видно, що тест-реакції рослин, пророщених на досліджуваних пробах ґрунту, суттєво відрізняються. Тест-реакція цибулі ріпчастої (*Allium cepa* L.) та пшениці (*Triticum* L.) мають тенденцію стимулювання розвитку зі зменшенням відстані до гранітного відвалу. Водночас для крес-салату (*Lepidium sativum* L.) характерним є пригнічення росту з наближенням до

відвалу. Отримані експериментальні дані опрацьовано методом дисперсійного аналізу.

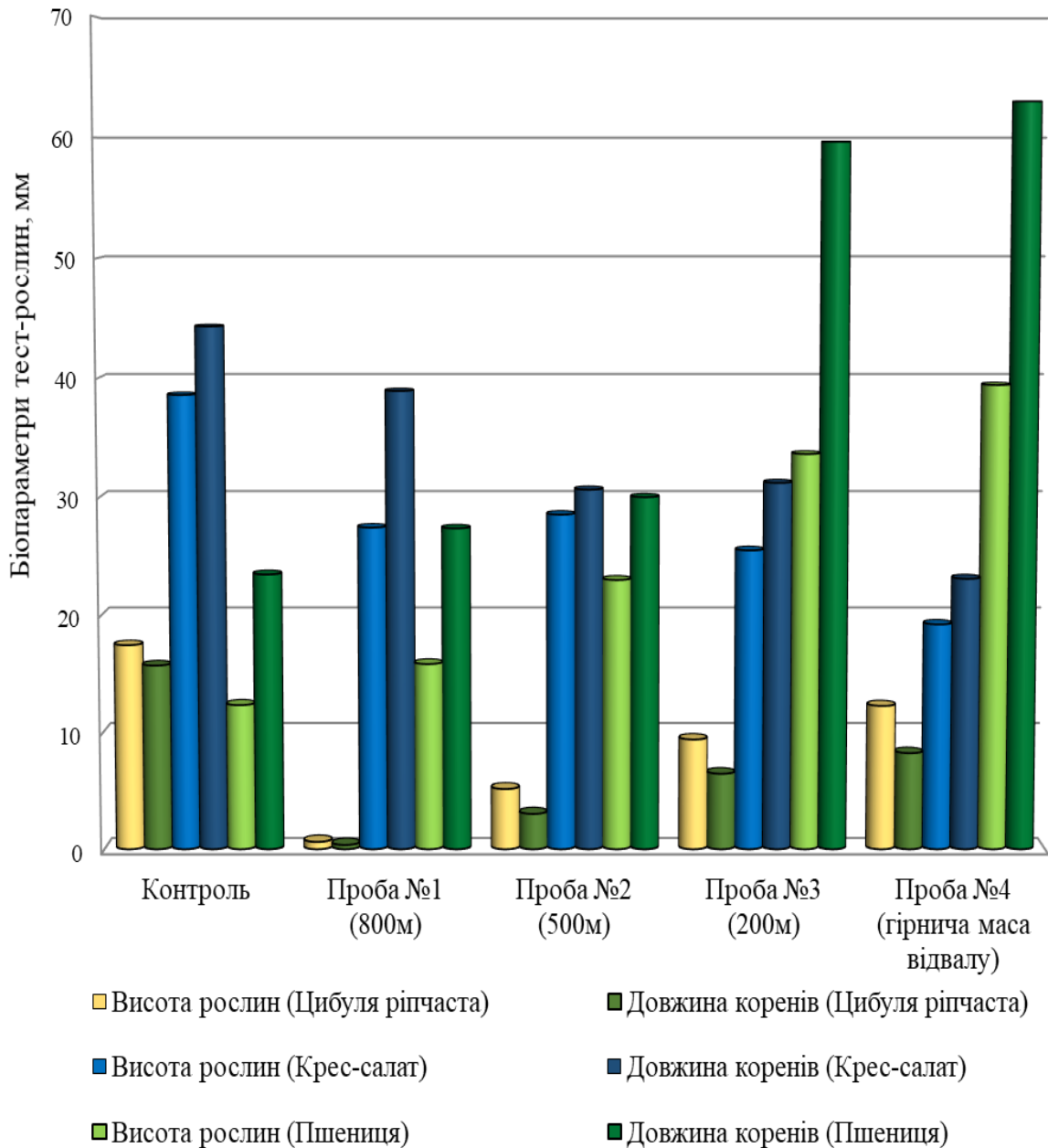


Рисунок 3.7 – Біопараметри (висота рослин, довжина кореневої системи у міліметрах) рослин тест-культур, пророщених на досліджуваних пробах ґрунту та на контрольному зразку ґрунту

За результатами проведених досліджень встановлено, що показник довжини підземної частини крес-салату коливається від 44,3 мм до 23,07 мм.

Водночас спостерігається збільшення пригнічення росту кореня зі зменшенням відстані до породного відвалу. Абсолютно протилежні закономірності виявлено для біопараметрів цибулі ріпчастої та пшениці, де спостерігалася тенденція стимуляції росту кореня та стебла з наближенням до відвалу. Разом з тим слід відмітити різну тест-реакцію даних біоіндикаторів на контрольний зразок ґрунту. Так, показник середньої довжини кореня цибулі ріпчастої в контрольній пробі склав найбільше значення, в той час як для пшениці в контрольному ґрунті зафіксовано найменшу довжину кореня. Це може пояснюватись тим, що пшениця належить до групи рослин, чутливих до підвищеної кислотності ґрунтів [286]. В якості контролю використано ґрунт, який характеризується як слабо кислий.

Загалом на досліджуваних пробах ґрунтів, відібраних на прилеглих до гранітного відвалу територіях (проби № 1 – № 4), середня довжина кореня пшениці коливається від 27,334 мм до 63,004 мм, середня довжина кореня цибулі ріпчастої – від 0,367 мм до 8,233 мм. Таким чином, результати дослідження свідчать про неоднозначний вплив гранітних відвалів на біопараметри різних видів рослин [285].

Для відносної оцінки фітотоксичності досліджуваних проб ґрунту для досліджуваних рослинних тест-систем розраховано фітотоксичний ефект:

$$ФЕ = \frac{M_0 - M_x}{M_0} \times 100,$$

де  $M_0$  – значення біопараметра у посуді з контрольним ґрунтом;

$M_x$  – значення аналогічного біопараметра у посуді з досліджуваною пробою ґрунту.

Для оцінки фітотоксичності проб ґрунту використано спеціальну шкалу оцінки токсичного рівня [287]. Результати розрахунку фітотоксичного ефекту



досліджуваних проб ґрунту відносно контролю за довжиною кореневої та стеблової систем тест-об'єктів наведено в табл. 3.10 [285].

Таблиця 3.10 – Результати розрахунку фітотоксичного ефекту у цибулі ріпчастої (*Allium cepa* L.) (1), крес-салату (*Lepidium sativum* L.) (2) та пшениці (*Triticum* L.) (3)

Пара- метр	Значення, %											
	Проба ґрунту № 1 (800 м)			Проба ґрунту № 2 (500 м)			Проба ґрунту № 3 (200 м)			Проба ґрунту № 4 (гранітний відвал)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ФЕ <sub>1</sub> (за висотою рослин)	96,4	28,7	<0	70,4	26,1	<0	46,1	33,9	<0	29,6	50,2	<0
ФЕ <sub>2</sub> (за довжи- ною коренів)	97,7	14,2	<0	80,7	30,9	<0	58,8	29,6	<0	47,6	47,9	<0
ФЕ <sub>сер</sub>	97,1	21,5	<0	75,5	28,5	<0	52,4	31,8	<0	38,6	49,1	<0

Дані табл. 3.10 свідчать, що проби № 1, № 2 та № 3 (ґрунт на відстані 800 м, 500 м та 200 м від породного відвалу) мають середній ступінь токсичності для крес-салату. Проблема № 4 здійснює пригнічуючий вплив на крес-салат, рівень ФЕ вище середнього. Суперечливими є результати, отримані для цибулі ріпчастої та пшениці. В усіх досліджуваних пробах спостерігається відсутність токсичності для пшениці, що свідчить про стимулювання росту кореневої на надземної систем. На цибулю ріпчасту проба № 4 (порода гранітного відвалу) чинить середній токсичний вплив. На відстані 200 м від відвалу ФЕ збільшується і характеризується як вище середнього рівня. Далі на відстані 500 м маємо високу токсичність і в зоні ведення сільського господарства населенням (800 м) спостерігається максимальний рівень ФЕ. Водночас варто відзначити, що сходження цибулі ріпчастої на пробі № 1 (800 м) було низьким і складало 27,5 % від загальної кількості висаджених тест-рослин.

Невирішеним залишається визначення компонента, зміна концентрації якого призводить до стимуляції росту одних рослин і пригнічення інших. Доцільним є дослідження залежності реакції-відповіді рослинних біоіндикаторів від вмісту силіцію (кремнію) Si, оскільки саме кремній у вигляді силікатів є основою гірської породи – граніту. Установлено, що кремнезем чинить вплив на рослини і на родючість ґрунтів [288], [289]. Імовірно, кремнезем є речовиною, що необхідна для енергетичного росту більшості рослин, однак він часто спричиняє побічні ефекти.

Враховуючи підвищений вміст кремнезему у відвалах гранітних кар'єрів, вище наведені дані слугують основою для припущення того, що пшениця відноситься до рослин кремнієфілів, оскільки в даній роботі експериментально доведено, що збільшення в пробі ґрунту концентрації гранітної породи, яка включає кремнієві сполуки, призводить до покращення біологічних параметрів рослини. Водночас крес-салат не здатний засвоювати характерні для розглянутих ґрунтів форми кремнієвих сполук і піддається впливу дефіциту інших поживних речовин у досліджуваних пробах.

Аналогічні дослідження проведено і з пробами ґрунту, взятими в районі відвалу Пинязевицького гранітного кар'єру [290]. Проби взято на відстанях 400 м, 600 м та на відстані 800 м. На відстані 800 м знаходиться ґрунт, що обробляється місцевими жителями. Проби відібрано у західному напрямку відносно відвалу. Такий напрямок переважає за повторюваністю вітрів у Житомирській області [264]. Контрольним субстратом у цьому випадку був ґрунт, відібраний в екологічно чистій зоні (ландшафтний заказник «Калинка»). В якості біоіндикатора обрано овес (рис. 3.8). Овес відрізняється швидким зростанням, високим відсотком проростання та має чітко виражену реакцію у випадку забруднення ґрунту [291], [292].

Встановлено, що відвал впливає на забрудненість ґрунтів. Проби ґрунтів, відібрані на відстанях 400 м та 600 м від відвалу, відносяться до вище середнього рівня токсичності. Середній рівень токсичності показала проба ґрунту, відібрана на відстані 800 м від відвалу.



а) – контроль; б) – проба на відстані 800 м; в) – проба з відвалу кар'єру

Рисунок 3.8 – Пророщений овес на відповідних пробах ґрунту

Цитогенетичний вплив гранітних відвалів на стан ґрунтів прилеглих територій досліджено, використовуючи попередньо відібрані зразки ґрунту на території Рокитнянського гранітного кар'єру. Проби ґрунту відібрано за допомогою методу циліндра, подрібнено до однорідної маси та висушено за кімнатної температури упродовж трьох діб. Отримані проби до початку проведення дослідження на «Аберантність хромосом» зберігались у скляних банках з притертими корками у холодильнику з метою уникнення змін, що можуть виникнути внаслідок біохімічних процесів у ґрунті. Матеріалом для досліджень обрано проростки насіння цибулі ріпчастої (*Allium cepa* L.) та крес-салату (*Lepidium sativum* L.). Насіння пророщувалися в затемненому місці за температури від  $+20^{\circ}\text{C}$  до  $+25^{\circ}\text{C}$  на дистильованій воді. Обрані для дослідження рослини накопичують метал та інші хімічні елементи з ґрунту переважно у підземних органах, тому досліджувалась мітотична активність клітин саме кореневої системи біоіндикаторів.

Для визначення величини мітотичного індексу (МІ) одразу після завершення пророщування матеріал фіксували в ацетоалкоголі протягом 1 години. Фіксатор готувався шляхом змішування  $96^{\circ}$  етилового спирту і крижаної оцтової кислоти у співвідношенні 3:1 безпосередньо перед фіксацією біооб'єктів. Після цього фіксований матеріал промивали в  $96^{\circ}$  етиловому спирті та зберігали в  $70^{\circ}$  його розчині до забарвлення. Для цитологічного аналізу матеріал фарбували ацетоорсеїном. Протягом 48 годин

за кімнатної температури зразки мацерували в HCl та готували тимчасові давлені препарати кореневих кінчиків проростків цибулі ріпчастої (*Allium cepa* L.) та пшениці (*Triticum* L.), вирощених на досліджуваних пробах ґрунтів.

Тимчасові цитологічні препарати готувались із 1 мм кінчиків меристем, поміщених у краплю 45 %-ої оцтової кислоти. Препарат накривали накривним склом для отримання моношару клітин. Краї покривного скла заливали розплавленим парафіном. Далі препарати використовувались для подальшого аналізу на мікроскопі Carl Zeiss Primo Star зі збільшенням 40×1000. Мікроскоп було підключено до цифрової камери, завдяки чому задокументовано результати спостережень клітин досліджуваних тест-об'єктів для використання в подальшому дослідженні.

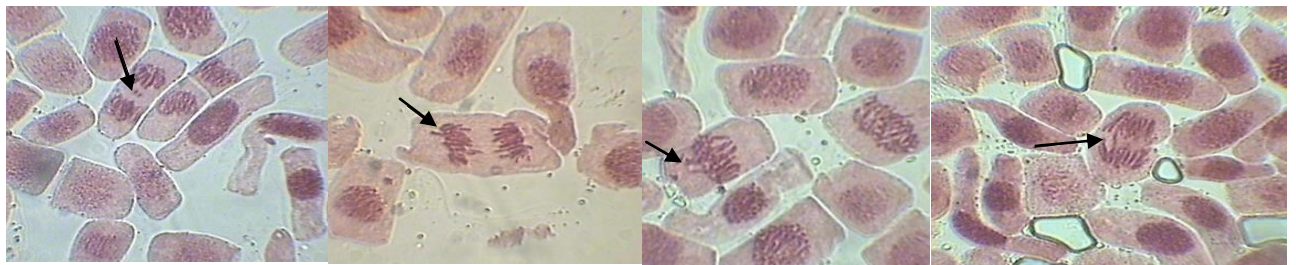
Під час проведення експериментального дослідження токсико-мутагенної активності ґрунту за тестом «Аберантність хромосом» на цитологічних препаратах враховують усі фігури мітозу: профазу, метафазу, анафазу, телофазу. Величину МІ визначають як відношення кількості клітин, що діляться, до загальної кількості переглянутих клітин, та виражають у промілях. Зниження МІ у порівнянні з контролем вважається результатом загально-токсичної дії шкідливої речовини, у даному випадку результатом впливу пилу гранітного відвалу на ґрунти прилеглих територій. Обов'язково на цитологічних препаратах тест-рослин, вирощених на різних пробах ґрунту, враховуються клітини з аберантними (патологічними) хромосомами [225].

Загальну аберантність хромосом визначають як відношення аберантних клітин до кількості клітин, що діляться, виражають у відсотках. За зростанням кількості патологічних фігур мітозу у порівнянні з контролем судять про збільшення мутагенності ґрунтів.

Отже, якість ґрунтів за токсико-мутагенним фоном може бути оцінена частотою зустрічаємості меристематичних клітин з хромосомними абераціями та рівнем їх мітотичної активності. Але ці показники мають різні

одиниці виміру (% та ‰). Тому для інтегральної оцінки токсико-мутагенного фону ґрунтів досліджуваної території обчислено умовні показники пошкоженості за токсичністю  $УПП_{токс}$  та мутагенністю  $УПП_{мутаг}$  для кожного експериментального варіанту, а також інтегральний умовний показник пошкоженості  $ІУПП$  [225].

Результати цитологічних спостережень меристематичних клітин цибулі ріпчастої (*Allium cepa* L.) та крес-салату (*Lepidium sativum* L.), одержані шляхом цифрової фотофіксації зображень з мікроскопа, наведено на рис. 3.9 та на рис. 3.10 відповідно.

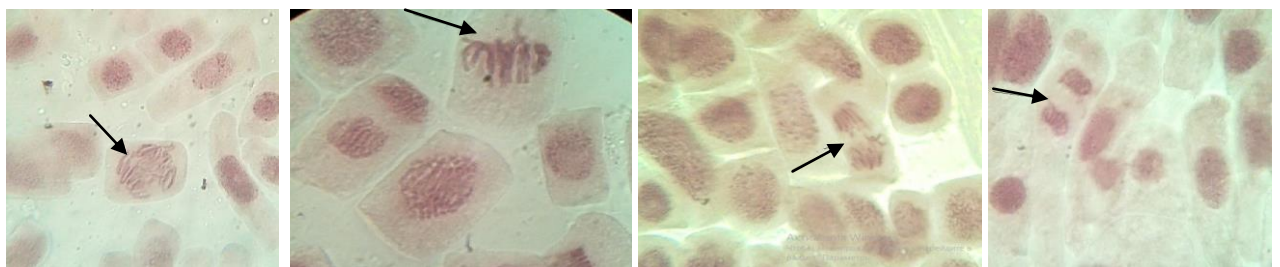


а) – парний фрагмент (проба № 1); б) – відставання хромосоми (проба № 2);

в) – делеція (проба № 3); г) – одинарний міст (проба № 4)

Рисунок 3.9 – Хромосомна аберація у меристематичних клітинах

*Allium cepa* L.



а) – порушення формування веретена поділу (проба № 1); б) – дицентрична

хромосома (проба № 2); в) – фрагментація хромосом (проба № 3);

г) – делеція (проба № 4)

Рисунок 3.10 – Хромосомна аберація у меристематичних клітинах

*Lepidium sativum* L.

Головними типами аберацій, які було виявлено у меристематичних клітинах корінців обраних тест-об'єктів, є делеції та транслокації. Делеції належать до внутрішньохромосомних мутацій і проявляються у втраті фрагмента із середини хромосоми. Вони призводять до утворення однострессових або парних фрагментів (залежно від стадії мітозу, під час якої відбувається аберація) та кілець. Фенотипово делеції проявляються в тому, що клітини стають нежиттєздатними. Транслокації – це міжхромосомні мутації, які заключаються в обміні ділянками між хромосомами: у кожній з них відбувається розрив і вони обмінюються ділянками, можливі виникнення нових взаємодій між генами. Під час цитологічних спостережень меристематичних клітин досліджуваних тест-об'єктів виявлено лише асиметричні транслокації у вигляді подвійних або одинарних мостів.

Результати обліку хромосомних мутацій цитологічних препаратів меристематичних клітин *Allium cepa* L. та *Lepidium sativum* L. наведено в табл. 3.11.

Таблиця 3.11 – Облік хромосомних аберацій у меристематичних клітинах корінців *Allium cepa* L. та *Lepidium sativum* L.

№ проби ґрунту	Кількість досліджених клітин	Кількість клітин, що діляться за фазами мітозу / з них аберантних			
		Профаза	Метафаза	Анафаза	Телофаза
<b>Цибуля ріпчаста (<i>Allium cepa</i> L.)</b>					
Проба № 1 (800 м)	8000	199	100/53	43/24	256/2
Проба № 2 (500 м)	6000	178	108/21	78/24	191/5
Проба № 3 (200 м)	6000	304	69/35	52/14	254/4
Проба № 4 (порода відвалу)	4800	203	94/21	67/18	205/4
Контроль	9600	470	256/15	232/10	388/2
<b>Крес-салат (<i>Lepidium sativum</i> L.)</b>					
Проба № 1 (800 м)	4000	118	90/30	52/21	139/3
Проба № 2 (500 м)	4200	151	117/19	84/26	123/1
Проба № 3 (200 м)	3000	98	82/22	78/11	102/1
Проба № 4 (порода відвалу)	3900	206	124/18	93/20	129/0
Контроль	5500	293	150/17	198/5	224/1

З табл. 3.11 видно, що аберацій не зафіксовано в жодному варіанті на стадії профазі, коли конденсуються хромосоми та формується веретено поділу. Це пояснюється тим, що у рослинних клітин під час проходження профазі тільки починається процес руйнування двошарової ядерної мембрани і хромосоми знаходяться ще під захистом ядерної оболонки.

Найбільше число хромосомних аберацій виявлено на стадії метафазі клітин. У цій фазі хромосоми розміщуються вздовж екватора клітини. Таке розміщення хромосом викликано приєднанням обох кінетохорів однієї хромосоми до мікротрубочок протилежних центросом. Клітина перебуває у метафазі довгий час (близько 40 % загального часу клітинного циклу), допоки кожна хромосома не буде з'єднана з обома центросомами з обох полюсів. При цьому ядерна оболонка вже повністю зруйнована, тому клітина знаходиться під впливом зовнішніх факторів.

Велику кількість хромосомних мутацій зафіксовано також на стадії анафазі досліджуваних клітин, коли парні хроматиди відділяються одна від одної і починають порівняно швидко переміщуватись до протилежних полюсів клітини. Кожна хроматида на даному етапі клітинного циклу стає самостійною дочірньою хромосомою. Водночас ядерна оболонка ще не сформована, тому на клітину продовжують активно впливати зовнішні фактори, компоненти гранітних відвалів у даному випадку.

Заключною стадією мітозу є телофаза, за якою слідує цитокінез. Під час телофазі навколо дочірніх хромосом, які розміщені на протилежних полюсах клітини, формується ядро, хромосоми займають свої інтерфазні позиції, еухроматин декомпактизується, що дозволяє зчитувати гени. Дослідження хромосомних аберацій меристематичних клітин *Allium cepa L.* та *Lepidium sativum L.* показали на стадії телофазі незначні кількості мутацій (в середньому близько 2,5 % всіх клітин, що знаходяться у цій фазі). Це зумовлено тим, що на даному етапі клітинного циклу формується ядерна мембрана таким чином, що всі хромосоми опиняються всередині ядра і тим самим стають захищеними від зовнішніх факторів. Тим не менш хромосомні

аберації на стадії телофази можливі за рахунок помилок у процесі формування ядерної оболонки, в результаті яких губиться хромосома чи формуються мікроядра.

Для всіх проб ґрунту виявлено збільшення хромосомних мутацій під час проходження метафази та анафази мітозу меристематичних клітин тест-об'єктів. Для всіх досліджуваних цитогенетичних проб меристематичних клітин біоіндикаторів виконано розрахунок величин МІ та загальної аберантності хромосом. Щоб визначити на скільки досліджувані параметри біоіндикаторів відрізняються від контролю, значення МІ та аберантності хромосом у контролі прийнято за 100 %, і визначено всі параметри пропорційно у відсотках від контролю. Результати розрахунків наведено в табл. 3.12.

З табл. 3.12 видно, що розрахована в ході експериментального дослідження загальна частота наявності клітин з аберантними хромосомами в усіх досліджуваних варіантах в кілька разів перевищує контроль. Також варто відзначити факт співпадіння реакції-відповіді тест-рослин *Allium cepa* L. та *Lepidium sativum* L. на присутність пилу гранітного відвалу у ґрунтах на клітинному рівні. У варіанті з ґрунтом, відібраним на відстані 800 м від відвалу, в обох тест-рослин зафіксовано найбільшу кількість аберантних клітин і вона перевищує контроль у 6 разів. Це вказує на те, що ґрунт на території, де населенням інтенсивно ведеться сільське господарство, має мутагенні властивості та викликає порушення хромосомного апарату біоіндикаторів. Далі з наближенням до гранітного відвалу спостерігається зменшення кількості хромосомних патологій і у меристематичних клітинах рослин, вирощених на породі гранітного відвалу, маємо частоту зустрічаємості аберантних клітин в 1,74 рази та 2 рази нижче ніж на відстані 800 м у *Lepidium sativum* L. та *Allium cepa* L. відповідно. Це підтверджує припущення про те, що на процеси клітинного поділу рослин позитивно впливає певний компонент, що міститься у відвалах гранітного кар'єру.



Таблиця 3.12 – Результати розрахунків величини МІ та аберантності хромосом у меристематичних клітинах *Allium cepa L.* та *Lepidium sativum L.*

№ проби ґрунту	Загальний МІ		Аберантні клітини	
	‰	% від контролю	%	% від контролю
<b>Цибуля ріпчаста (<i>Allium cepa L.</i>)</b>				
Проба № 1 (800 м)	74,75±5,76	53	13,21±1,38	659
Проба № 2 (500 м)	92,5±7,33	66	9,01±1,22	449
Проба № 3 (200 м)	113,17±8,01	81	8,10±1,05	404
Проба № 4 (порода відвалу)	118,54±8,68	85	7,56±1,11	377
Контроль	140,21±6,94	100	2,01±0,38	100
<b>Крес-салат (<i>Lepidium sativum L.</i>)</b>				
Проба № 1 (800 м)	99,75±9,28	63	13,53±1,71	673
Проба № 2 (500 м)	113,09±9,57	72	9,68±1,36	482
Проба № 3 (200 м)	120,00±11,62	76	9,44±1,54	470
Проба № 4 (порода відвалу)	141,53±10,93	90	6,70±1,06	334
Контроль	157,27±9,62	100	2,66±0,55	100

Експериментальні дослідження показали, що для обох рослинних тест-систем зафіксовано найбільше значення МІ в контрольній пробі ґрунту, що свідчить про певне пригнічення клітинного поділу відносно контролю у всіх досліджуваних варіантах (у діапазоні від 47 % до 15 % для *Allium cepa L.* та від 37 % до 10 % для *Lepidium sativum L.*). Спостерігається тенденція закономірного зростання величини МІ в меристемах коренів з наближенням до гранітного відвалу, що також може свідчити про позитивний вплив певного компоненту гранітного відвалу на процеси клітинного поділу рослин.

Для інтегральної оцінки токсико-мутагенного фону ґрунтів досліджуваної території обчислено умовні показники пошкодженості за

токсичністю та мутагенністю для кожного експериментального варіанту. Результати розрахунків наведено в табл. 3.13.

Таблиця 3.13 – Оцінка токсико-мутагенного фону досліджуваних ґрунтів

№ проби ґрунту	$УПП_{токс}$	$УПП_{мутаг}$	$IУПП$	Рівень ушкодження біосистем	Стан біосистем	Оцінка екологічної ситуації
<b>Цибуля ріпчаста (<i>Allium cepa</i> L.)</b>						
Проба №1 (800 м)	0,725	0,623	0,674	Високий	Критичний	Катастрофічна
Проба №2 (500 м)	0,528	0,389	0,459	Вище середнього	Загрозливий	Незадовільна
Проба №3 (200 м)	0,298	0,339	0,319	Середній	Конфліктний	Незадовільна
Проба №4 (порода відвалу)	0,238	0,309	0,274	Нижче середнього	Насторожуючий	Задовільна
Контроль	0,002	0,000	0,001	Низький	Сприятливий	Еталонна
<b>Крес-салат (<i>Lepidium sativum</i> L.)</b>						
Проба №1 (800 м)	0,590	0,487	0,539	Вище середнього	Загрозливий	Незадовільна
Проба №2 (500 м)	0,452	0,459	0,455	Вище середнього	Загрозливий	Незадовільна
Проба №3 (200 м)	0,381	0,401	0,391	Середній	Конфліктний	Задовільна
Проба №4 (порода відвалу)	0,159	0,221	0,190	Нижче середнього	Насторожуючий	Задовільна
Контроль	0,003	0,001	0,002	Низький	Сприятливий	Еталонна

Дані табл. 3.13 свідчать про те, що значення умовних показників пошкоженості, які характеризують токсичність ґрунтів, перевищують нормативне значення ( $УПУ=0.300$ ) для проб № 1, № 2 та № 3 для обох варіантів тест-систем. Водночас спостерігається раніше відмічений позитивний ефект на клітинному рівні рослин зі зменшенням відстані до відвалу. Результати вирощування обох біоіндикаторів безпосередньо на

породі гранітного відвалу показали, що стан біосистем у даному випадку характеризується як насторожуючий, екологічна ситуація є задовільною.

Оскільки у результаті проведених досліджень рослинних тест-систем цибулі ріпчастої (*Allium cepa* L.) та крес-салату (*Lepidium sativum* L.) зафіксовано зниження ІУПП з наближенням до гранітного відвалу, дослідним шляхом підтверджено наявність позитивного ефекту на клітинному рівні у рослин зі збільшенням концентрації гранітного пилу у ґрунті.

Аналізуючи встановлені «Ростовим тестом» залежності та беручи до уваги результати експерименту «Аберантність хромосом», обґрунтовано тісний зв'язок між біопараметрами рослин та відстанню до гранітного відвалу, а отже і концентрацією пилу у ґрунтах. Невирішеним залишається визначення механізму впливу ГПК з виробництва щебеню на ґрунти прилеглих територій, що чинить стимуляцію росту в одних рослинах і пригнічує його в інших, водночас прискорює та активізує мітоз в меристематичних клітинах обох рослинних систем.

Оцінити всі властивості ґрунту проблематично. Для проведення експрес-діагностики стану ґрунту використовують певний обмежений перелік показників, які є основними індикаторами його екологічної якості [293]. Однією із основних характеристик є величина рН [294].

Реакція ґрунту, яку оцінюють за величиною рН, є характеристикою багатьох генетичних та виробничих якостей ґрунту. Від величини рН залежить активність ферментів, яка є основою біохімічної активності мікробів. Величина рН впливає на мікробіологічні процеси, розвиток рослин, напрям процесів ґрунтоутворення та родючість ґрунтів. За величини рН менше 7 ґрунт негативно впливає на засвоєння рослинами фосфору, азоту, магнію, кальцію і сприяє надходженню алюмінію і марганцю. У рослинах, які ростуть на кислих ґрунтах, затримується перетворення моносахаридів у дисахариди та в інші складні сполуки, також порушуються процеси утворення білків і обміну. Підвищена лужність у ґрунті не тільки шкідливо впливає на розвиток рослин, а й підсилює пептизацію колоїдів, внаслідок

чого різко погіршуються фізичні властивості, водний режим ґрунту. Тому визначення величини рН ґрунтів прилеглих територій є необхідним для моніторингу стану ґрунтів. Відхилення від оптимальної величини рН негативно впливає на господарську діяльність населення прилеглих територій, а також на здоров'я людей.

Для дослідження впливу таких факторів, як сезонність та відстань до відвалу на рівень рН ґрунтів прилеглих територій проведено експеримент із визначення величини рН на відстанях 100 м, 500 м та 1000 м в західному напрямку відносно відвалу Пинязевицького родовища Житомирської області, так як такий напрямок переважає за повторюваністю вітру в Житомирській області [264].

У табл. 3.14 показано величини рН, що визначено експериментальним шляхом за допомогою портативного рН-метра Kellymeter РН-009(І) на прилеглий до відвалу Пинязевицького гранітного кар'єра території у різні пори року та на різних відстанях до відвалу кар'єра. Для обробки результатів експерименту застосовано двофакторний аналіз [222], за допомогою якого визначено вплив відстані до відвалу та сезонності на величину рН ґрунтів прилеглих територій.

Таблиця 3.14 – Показники рН ґрунту в залежності від сезонності та відстані до відвалу гранітного кар'єру

Відстань до відвалу	Пора року	
	Зима	Літо
100 м	8,1	8,0
	8,2	8,3
500 м	7,5	7,8
	7,2	7,7
1000 м	6,8	7,1
	6,7	7,4

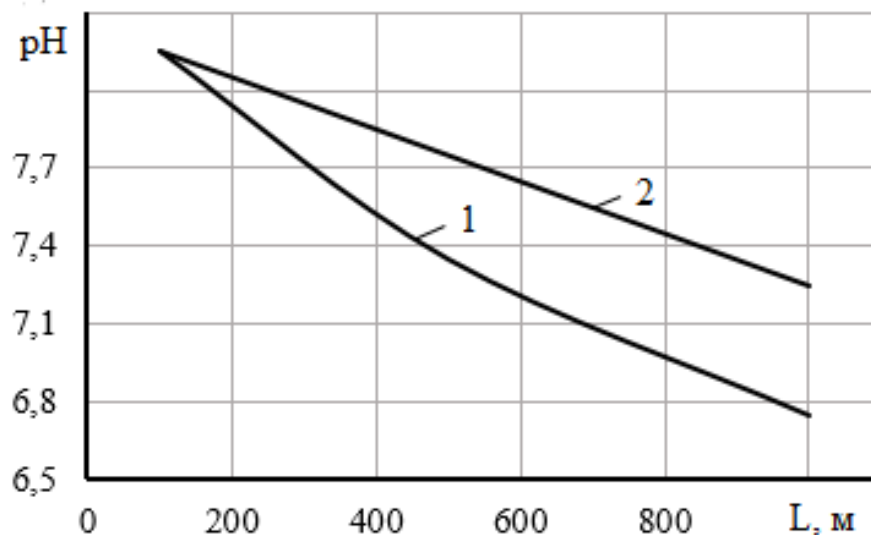
За методом найменших квадратів побудовано інтерполяційні залежності величини рН від сезонності та відстані до відвалу кар'єру (рис. 3.11):

$$pH = -0,001L_x + 8,25,$$

$$pH = -0,0015L_m + 8,2385,$$

де  $L_x$  та  $L_m$  – відстані до відвалу у холодну та теплу пору року відповідно, м.

За результатами проведеного дослідження можна зробити висновок, що відстань до відвалу гранітного кар'єра та сезонність впливають на величину рН ґрунтів прилеглих територій. Середній показник величини рН у холодну пору року становить 7,4, а у теплу – 7,7, що характеризує ґрунт як слаболужний і негативно впливає на господарську діяльність населення [294]. Визначені значення рН перевищують середній показник рН у Малинському районі Житомирської області [295] більш ніж на 30 % [296].



1, 2 – для холодної та теплої пори року відповідно

Рисунок 3.11 – Залежність величини рН від відстані до відвалу ( $L$ )

Проблему слаболужності ґрунтів потрібно вирішувати в двох напрямках. По-перше, необхідно мінімізувати пиління відвалів гранітних

кар'єрів. Вибір способів знепилення проаналізовано в роботі [297]. По-друге, – нормалізувати величину рН ґрунтів прилеглих територій, зокрема способами, наведеними в роботі [296]. І, основне, – ліквідувати причину утворення відвалів, або зменшити їх обсяги.

### Висновки до розділу 3

1. Проведено оцінку впливу ПР на стан атмосферного повітря. Встановлено, що за швидкості вітру 2 м/с шкідлива дія СО поширюється за межі СЗЗ, а ГДК, за результатами розрахунку, спостерігається лише на відстані 1 км. Концентрація  $\text{NO}_2$  на цій же відстані складає  $0,025 \text{ мг/м}^3$ , що задовільняє нормам. Оцінка ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення атмосферного повітря СО, утвореним в результаті проведення масового вибуху, показала, що він не може розглядатись як досить прийнятний (коефіцієнт небезпеки дорівнює 1) і тому потребує здійснення заходів з усунення або зниження.

2. Запропоновано підхід до оцінки рівня еколого-радіаційної безпеки у зоні впливу гранітних кар'єрів та встановлено залежність зміни радіаційного фону від глибини кар'єру, яка носить лінійний характер. Виявлено збільшення гамма-фону відпрацьованого кар'єрного простору у міру заглиблення кар'єру за рахунок екранування радіаційного поля бортами і відкосами кар'єру та більшого вмісту стійких радіоактивних акцесорних мінералів у глибинних горизонтах гранітів. Залежність встановлено методом найменших квадратів та за допомогою полінома Лагранжа.

3. Досліджено процес розсіювання пилу з відвалу кар'єра. Показано, що концентрація пилу перевищує ГДК за межами СЗЗ. Розраховано канцерогенний і неканцерогенний ризик захворювань жителів смт. Гранітне, яке розташоване поблизу Пинязевицького родовища гранітів у Житомирській області. Оцінка неканцерогенного ризику для здоров'я населення показала, що він є неприйнятним (1,4), окрім того для наведених умов даний об'єкт

може викликати приблизно 12 додаткових випадків захворювання раком на рік.

4. Визначено та обґрунтовано, що для отримання найбільш повної та об'єктивної інформації про екологічний стан ґрунтів прилеглих до гранітних відвалів територій доцільно застосовувати комплекс біоіндикаційних рослинних тест-організмів, а саме цибулі ріпчастої та крес-салату. Рекомендований комплекс біоіндикаторів надає можливість визначення цитогенетичного впливу гранітних відвалів на рослинні організми, що ростуть на ґрунтах прилеглих територій.

5. Оцінку біотоксичності ґрунтів територій прилеглих до гранітного відвалу виконано за методикою «Ростовий тест». Тест-реакція цибулі ріпчастої та пшениці показали тенденцію стимулювання розвитку зі зменшенням відстані до гранітного відвалу, для крес-салату – навпаки. Для цибулі ріпчастої з наближенням до відвалу фітотоксичний ефект зменшується, для крес-салату та вівса – збільшується, а для пшениці – фітотоксичний ефект повністю відсутній.

6. Цитогенетичний вплив гранітних відвалів на стан ґрунтів прилеглих територій проведено за допомогою методу «Аберантність хромосом». Головними типами аберацій, які було виявлено у меристематичних клітинах корінців обраних тест-об'єктів, є делеції та транслокації. У варіанті з ґрунтом, відібраним на відстані 800 м від відвалу, кількість аберантних клітин перевищила контроль у 6 разів. З наближенням до гранітного відвалу спостерігається зменшення кількості хромосомних патологій. Це підтверджує припущення про те, що на процеси клітинного поділу рослин позитивно впливає кремнезем, що міститься у відвалах гранітних кар'єрів.

7. Встановлено, що відстань до відвалу гранітного кар'єра та сезонність впливають на величину рН ґрунтів прилеглих територій, така залежність має лінійний характер. Визначені значення рН ґрунту в районі відвалу Пинязевицького родовища гранітів перевищують середній показник рН у Малинському районі Житомирської області більш ніж на 30 %.

8. Враховуючи цінність мінеральної сировини, а саме наявність у її складі кремнезему, перспективним напрямком є вторинна переробка відвалів. Цінність такої сировини безумовна, так як кремнезем використовують для виробництва скла, сонячних батарей, радіотехнічних деталей, мікропроцесорної техніки тощо. За результатами досліджень стану ґрунтів прилеглих до відвалів територій можна зробити висновок, що породи з високим вмістом кремнезему можуть служити основою для виробництва добрив сільськогосподарського призначення, так як підтверджено їх позитивний вплив на активність росту культур.

9. Комплексна оцінка впливу роботи ГПК з виробництва щебеню на довкілля має суттєве значення та дає змогу використовувати її результати для розроблення екологічних нормативів та стандартів якості навколишнього середовища, а також спрямовувати зусилля вчених на новітні технологічні ресурсозберігаючі розробки.

Результати проведених досліджень опубліковані у роботах [227], [248], [253], [262]–[266], [284], [285], [290], [294], [296], [297].



## **РОЗДІЛ 4 ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВИБУХОВИХ РОБІТ НА КАР'ЄРАХ СКЕЛЬНИХ ПОРІД ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗАРЯДУ**

4.1 Математичне моделювання процесу вибухового руйнування скельних порід для управління пилоутворенням та якістю гірської маси

На сьогодні переважає розробка корисних копалин відкритим способом, котрий характеризується як найбільш економічний та ефективний. Однак саме розробка корисних копалин відкритим способом завдає найбільшої шкоди компонентам навколишнього середовища. Зокрема забрудненням дрібнодисперсним пилом та шкідливими газами, що залежить як від природних факторів, так і від технології ведення гірничих робіт [19].

Аналіз літературних джерел показав, що існує значна кількість теоретичних і практичних напрацювань з питань зниження рівня пилоутворення під час вибухового руйнування скельних порід. Розроблено різноманітні конструкції зарядів та забійок [45]–[72], які зменшують рівень втрати корисної копалини і пилоутворення. Однак розроблені заходи не отримали широкого застосування. Основними причинами є складність, трудоємність та дороговизна, низький їх вплив на результати вибуху. Проблема переподрібненої фракції до цих пір актуальна, так як утворення такої фракції, окрім впливу на навколишнє середовище, призводить до беззворотних втрат корисної копалини. Зокрема актуальним є визначення параметрів конструкції заряду, які можна було б змінювати без зниження ефективності подрібнення і які водночас зумовлювали б мінімальну зону переподрібнення.

Для досягнення вказаної мети поставлено наступні задачі:

— встановити закономірності проходження хвиль тиску під час вибуху свердловинного заряду з урахуванням величини радіального проміжку між

зарядом і свердловиною та характеристик заповнювача проміжку на основі адаптованої моделі Ляхова Г. М.;

— обґрунтувати раціональну величину проміжку між зарядом і свердловиною та характеристики його заповнювача;

— розробити конструкцію заряду, яка б забезпечила якнайменший вихід переподрібної фракції та водночас була ефективною для різних типів скельних порід.

Скельна порода у процесі моделювання розглядається як трикомпонентне середовище, що складається з газоподібної, рідкої і твердої компонент. Як окремий випадок – лише твердий компонент. Під час дії динамічного навантаження в мікроб'ємі породи на компоненту здійснюється тиск  $P$  і вона рухається з умовною швидкістю  $U$ , а деформування компоненти під впливом тиску  $P$  відбувається за тими ж законами, що і у вільному стані. Для запису рівняння стану такого середовища вводяться такі позначення:  $\alpha_i$  – вміст компоненти за об'ємом;  $\rho_{i0}$  – густина компоненти;  $V_{i0}$  – її питомий об'єм;  $c_{i0}$  – швидкість звуку в компонентах за атмосферного тиску  $P_0$ ;  $i$  – номер компоненти (1 – повітря, 2 – рідина, 3 – тверді часточки);  $\gamma_i$  – коефіцієнти ізентропи згідно рівняння Тета. За тиску  $P=P_0$  щільність середовища  $\rho_0$  і питомий об'єм  $V_0$  визначаються за (4.1):

$$\rho_0 = \frac{1}{V_0} = \sum_{i=1}^3 \alpha_i \rho_{i0}, \quad \sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1. \quad (4.1)$$

За тиску  $P$  параметри компонент позначимо  $V_i$ ,  $\rho_i$ ,  $c_i$ , а середовища в цілому  $V$  і  $\rho$ . Щільність середовища за тиску  $P$  складається з початкової щільності  $\rho_0$  і членів, зумовлених стисненням кожної з компонент, та розраховується за (4.2):

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \frac{V}{V_0} = \sum_{i=1}^3 \alpha_i \frac{V_i}{V_{i0}}. \quad (4.2)$$

Якщо в останній вираз підставити значення питомого об'єму компонент за тиску  $P$ , то отримаємо рівняння стиснення нелінійного пружного багатокомпонентного середовища у вигляді (4.3):

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \frac{V}{V_0} = \sum_{i=1}^3 \alpha_i \left[ \frac{\gamma_i (P - P_0)}{\rho_{i0} c_{i0}^2} + 1 \right]^{-\chi_i}, \quad (4.3)$$

де  $\chi_i = 1/\gamma_i$ .

Швидкість звуку за тиску  $P$  визначається з умови  $c = (dP/ds)^{1/2}$  і має вигляд (4.4):

$$c = \frac{\sum_{i=1}^3 \alpha_i \left[ \frac{\gamma_i (P - P_0)}{\rho_{i0} c_{i0}^2} + 1 \right]^{-\chi_i}}{\left\{ \rho_0 \sum_{i=1}^3 \frac{\alpha_i}{\rho_{i0} c_{i0}^2} \left[ \frac{\gamma_i (P - P_0)}{\rho_{i0} c_{i0}^2} + 1 \right]^{-\chi_i - 1} \right\}^{\frac{1}{2}}}. \quad (4.4)$$

Рух двошарового середовища, яке складається з породи та демпферного прошарку, для випадку поширення циліндричних хвиль описується системою рівнянь в ейлерових координатах для кожного шару [228]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho U) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r(\rho U^2 + P) \right] - \frac{1}{r} P &= 0, \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r(\rho U)] &= 0, \end{aligned} \quad (4.5)$$

де  $r$  – просторова координата, м;

$t$  – часова координата, с;

$U$  – швидкість руху середовища, м/с;

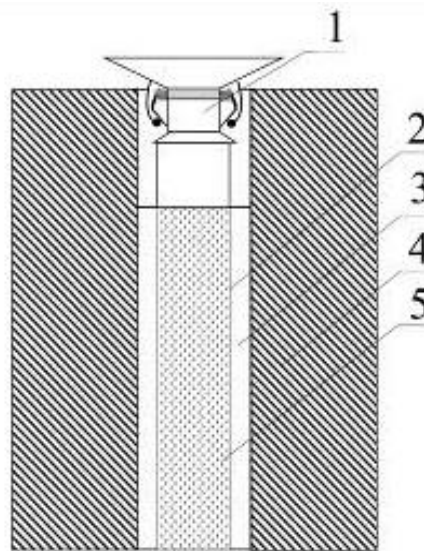
$\rho$  – щільність середовища, кг/м<sup>3</sup>;

$P$  – тиск, Па.

Відповідно для кожного шару записуються рівняння стану:

$$F(P, \rho) = \sum_{i=1}^3 \alpha_i \left[ \frac{\gamma_i (P - P_0)}{\rho_{i0} c_{i0}^2} + 1 \right]^{-1/\gamma_i} - \frac{\rho_0}{\rho} = 0. \quad (4.6)$$

Надалі розглядається нестационарна поведінка двошарового середовища за певних початкових умов. Припускається, що до межі деякої циліндричної порожнини радіуса  $r=r_0$  (у випадку циліндричної симетрії) прикладається навантаження  $P(t)_{r=r_0}$  (рис. 4.1).



- 1 – пристрій для подачі поліетиленового рукава; 2 – поліетиленовий рукав; 3 – проміжок між зарядом і стінкою свердловини; 4 – гірська порода;  
5 – вибухова речовина

Рисунок 4.1 – Схематичне зображення двошарового середовища «заповнювач проміжку – гірська порода»

Алгоритм вирішення задачі про поведінку двошарового середовища під час навантаження циліндричної порожнини нестационарним навантаженням  $P(t)/_{r=r_0}$ , рівняння (4.5), (4.6), ґрунтується на застосуванні скінченно-різницевої схеми предиктор – коректор Мак-Кормака [229], [230].

На кроці предиктор різницеві рівняння для випадку циліндричної симетрії мають вигляд:

$$\tilde{\rho}_k = \rho_k^n - \frac{\tau}{r_k} \left[ \frac{(r\rho^n V^n)_{k+1} - (r\rho^n V^n)_k}{\Delta r} \right],$$

$$(\tilde{\rho}\tilde{V})_k = (\rho^n V^n)_k - \frac{\tau}{r_k} \left\{ \frac{[r\rho(V^2 + P)^n]_{k+1} - [r(\rho V^2 + P)^n]}{\Delta r} - P_k^n \right\},$$

$$F(\tilde{P}_k, \tilde{\rho}_k) = 0.$$

На кроці коректор рівняння записуються наступним чином:

$$\rho_k^{n+1} = 0,5 \left\{ \rho_k^n + \tilde{\rho}_k - \frac{\tau}{r_k} \left[ \frac{(r\tilde{\rho}\tilde{V})_k - (r\tilde{\rho}\tilde{V})_{k-1}}{\Delta r} \right] \right\},$$

$$(\rho V)_k^{n+1} = 0,5 \left\{ (\rho^n V^n)_k + (\tilde{\rho}^n \tilde{V}^n)_k - \frac{\tau}{r_k} \left[ \frac{[r(\tilde{\rho}\tilde{V}^2 + \tilde{P})^n]_k - [r(\tilde{\rho}\tilde{V}^2 + \tilde{P})^n]_{k-1}}{\Delta r} - \tilde{P}_k \right] \right\},$$

$$F(P_k^{n+1}, \rho_k^{n+1}) = 0.$$

Для знаходження шуканих величин на поверхні циліндричної порожнини використовуються наступні різницеві рівняння:

$$\tilde{\rho}_0 = \rho_0^n - \frac{\tau}{r_0} \left[ \frac{-3r_0(\rho_0^n U_0^n) + 4r_1(\rho_1^n U_1^n) - r_2(\rho_2^n U_2^n)}{2\Delta r} \right],$$

$$(\tilde{\rho}\tilde{U})_0 = (\rho^n U^n)_0 - \frac{\tau}{r_0} \times$$

$$\times \left[ \frac{-3r_0(\rho_0^n U_0^n + P_0^n) + 4r_1(\rho_1^n U_1^n + P_1^n) - r_2(\rho_2^n U_2^n + P_2^n)}{2\Delta r} - P_0^n \right],$$

$$F(\tilde{P}_0, \tilde{\rho}_0) = 0.$$

На кроці коректор рівняння на границі порожнини мають вигляд

$$\rho_0^{n+1} = \tilde{\rho}_0 - \frac{\tau}{r_0} \times$$

$$\times \left[ \frac{-3r_0(\tilde{\rho}_0 \tilde{U}_0) + 4r_1(\tilde{\rho}_1 \tilde{U}_1) - r_2(\tilde{\rho}_2 \tilde{U}_2)}{2\Delta r} \right],$$

$$(\rho U)_0^{n+1} = (\tilde{\rho}\tilde{U})_0 - \frac{\tau}{r_0} \times$$

$$\times \left[ \frac{-3r_0(\tilde{\rho}_0 \tilde{U}_0 + \tilde{P}_0) + 4r_1(\tilde{\rho}_1 \tilde{U}_1 + \tilde{P}_1) - r_2(\tilde{\rho}_2 \tilde{U}_2 + \tilde{P}_2)}{2\Delta r} - \tilde{P}_0 \right],$$

$$F(P_0^{n+1}, \rho_0^{n+1}) = 0.$$

Враховуючи, що різницева схема Мак-Кормака є явною, то під час розрахунків використовувалась умова чисельної стійкості:

$$(|U| + c)\tau / \Delta r < 1,$$

де величина  $c$  відповідає локальній швидкості звуку в розглянутих середовищах (4.4).

Розглядається циліндрична порожнина радіуса  $r=R$  в гірській породі – рівняння (4.5), (4.6). Схематично постановка задачі наведена на рис. 4.1. Передбачається, що до внутрішньої межі порожнини прикладається навантаження  $P(R, t)$ , яке має вигляд:

$$P(R, t) = A \sin \frac{\pi t}{T} [\eta(t) - \eta(t - T)],$$

де  $A=10^7$  Па;

$$T=50 \cdot 10^{-6} \text{ с};$$

$\eta(t)$  – функція Хевісайда.

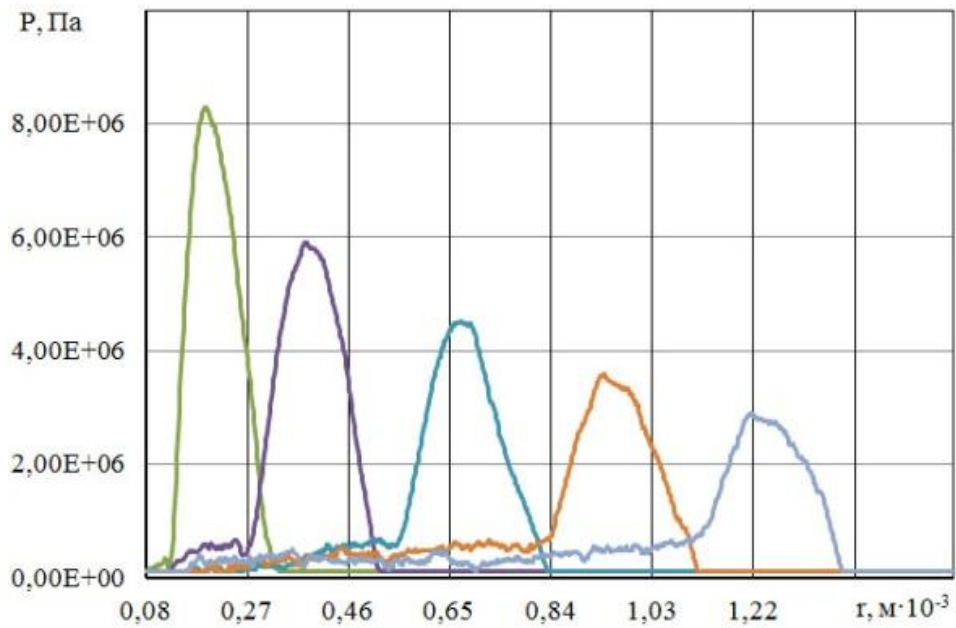
Перший шар (проміжок між зарядом і свердловиною) знаходиться в межах області  $R \leq r \leq 2R$ , другий шар (гірська порода) –  $2R \leq r \leq \infty$ . Параметри рівняння стану (4.3) варіювались.

Для розрахунку величини тиску залежно від величини проміжку та характеристик заповнювача використовувались наступні дані:  $\gamma_1=1,4$ ;  $\gamma_2=7$ ;  $\gamma_3=4$  та дані табл. 4.1. Для отримання розрахункових даних розроблено програмний продукт на комп'ютерній мові FORTRAN. Обробка отриманих результатів та побудова графіків залежностей здійснювалась за допомогою програми Microsoft Office Excel [207].

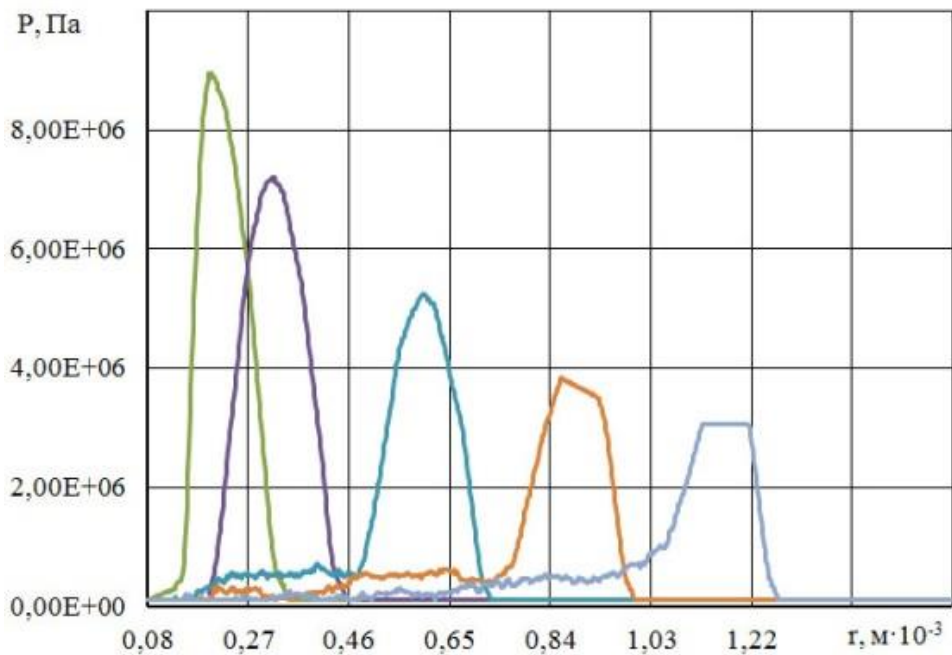
Таблиця 4.1 – Вхідні дані для встановлення закономірності проходження хвиль тиску під час вибуху

Діаметр свердловини, мм	Діаметр заряду, мм	Характеристики гірської породи		Характеристики заповнювача проміжку між зарядом і стінкою свердловини		
		Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Швидкість звуку, м/с	№	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Швидкість звуку, м/с
250	160	2650	4500	1	1798	2712
				2	1449	1985
				3	1181	1600
				4	1000	1450
				5	880	1082
				6	800	992,09
				7	720	985,52

На рис. 4.2 наведено результати чисельних розрахунків тиску зі зміною просторової координати. Зокрема зображено закономірності проходження хвиль тиску  $P$  під час вибуху залежно від акустичної жорсткості заповнювача проміжку між зарядом і стінкою свердловини для заповнювачів, щільність яких більша щільності води. Розрахунок виконано для граніту за даними табл. 4.1.

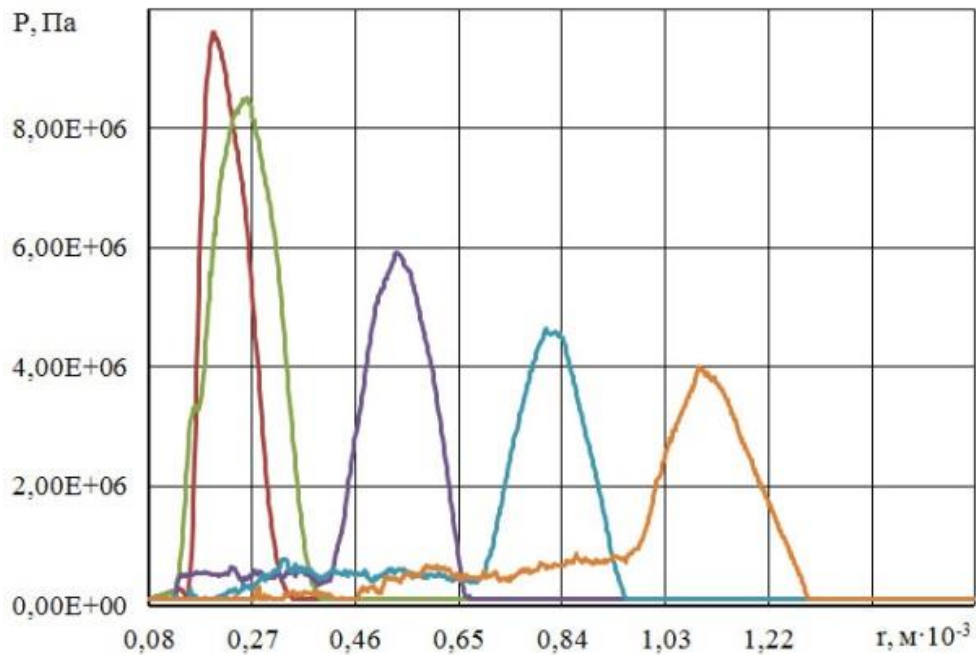


а)



б)





в)

а) – заповнювач 1, б) – заповнювач 2, в) – заповнювач 3

Рисунок 4.2 – Закономірності проходження хвиль тиску в процесі вибуху для різних типів заповнювача проміжку між зарядом і стінками свердловини

Як видно з рис. 4.2, зі збільшенням щільності розчину, а також його акустичної жорсткості, тиск у ближній до заряду зоні падає і становить для розчину зі щільністю  $1181 \text{ кг/м}^3$  та швидкістю звуку в ньому  $1600 \text{ м/с}$   $9,6 \cdot 10^6 \text{ Па}$ , а для розчину зі щільністю  $1798 \text{ кг/м}^3$  та швидкістю звуку в ньому  $2712 \text{ м/с}$  –  $8,1 \cdot 10^6 \text{ Па}$ , що на 16 % менше.

На рис. 4.3 зображено результати розрахунку тиску зі зміною просторової координати для води. Пік тиску у ближній зоні становить  $10 \cdot 10^6 \text{ Па}$ , що ставить під сумнів використання води у якості заповнювача проміжку між зарядом і стінкою свердловини.

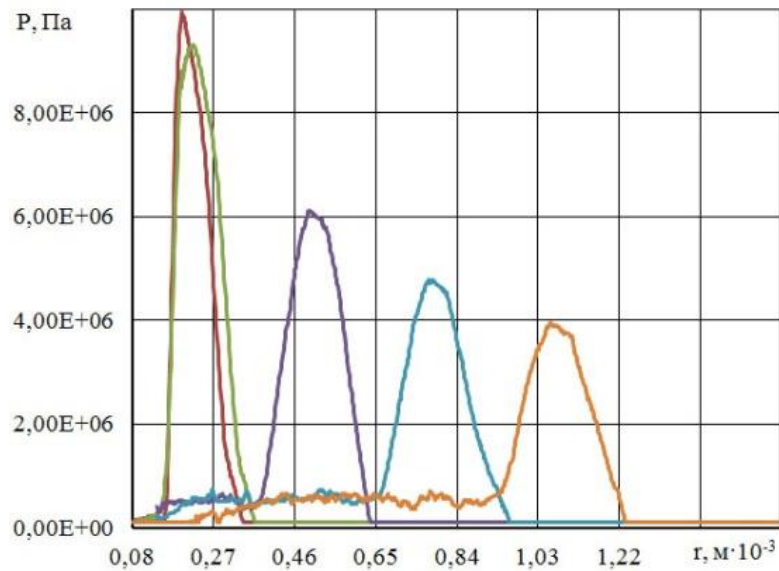
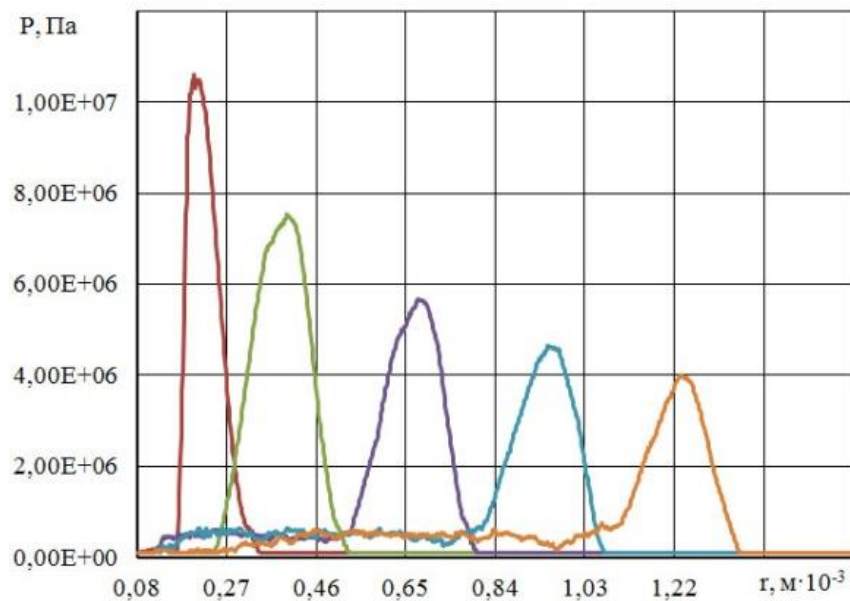
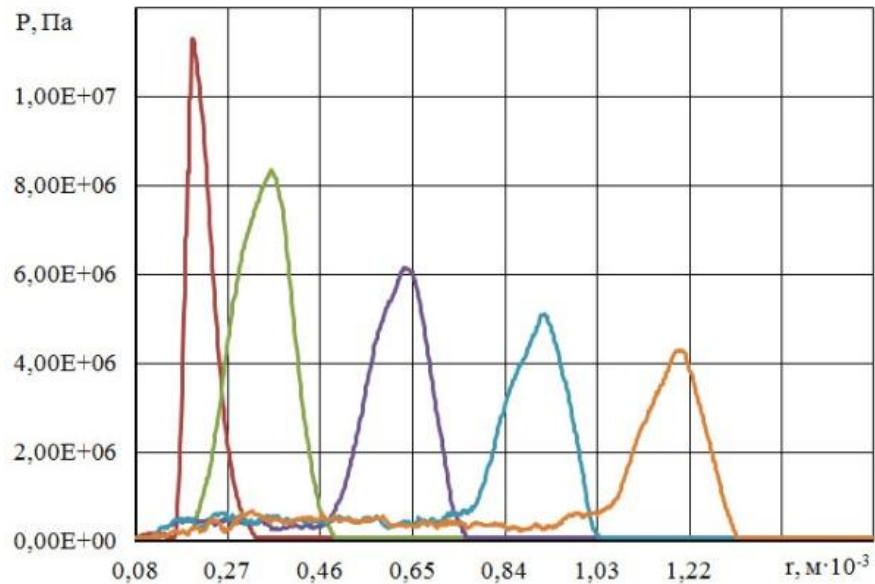


Рисунок 4.3 – Закономірність проходження хвиль тиску в процесі вибуху за використання води в якості заповнювача проміжку між зарядом та стінками свердловини

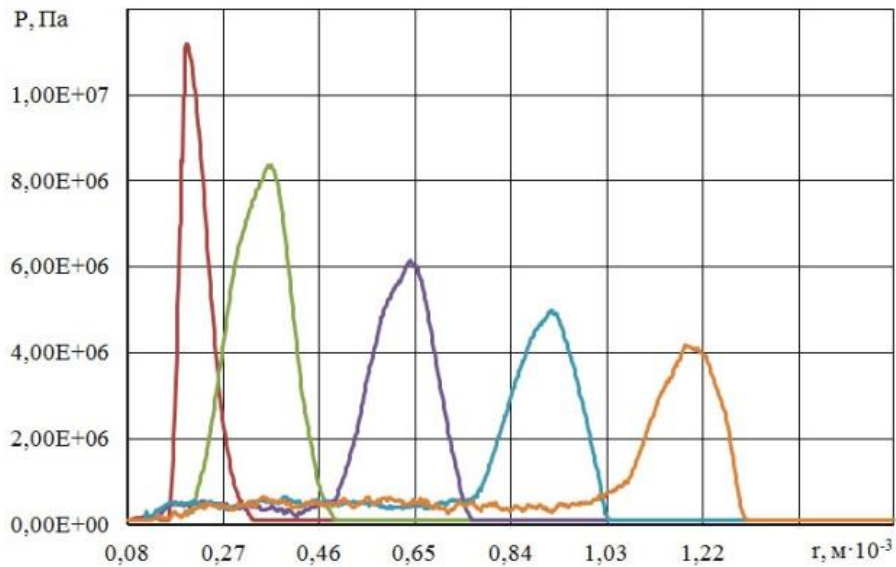
Закономірності проходження хвиль тиску  $P$  під час вибуху залежно від акустичної жорсткості заповнювача проміжку між зарядом і стінкою свердловини для заповнювачів, щільність яких менша щільності води, зображено на рис. 4.4.



а)



б)



в)

а) – заповнювач 5, б) – заповнювач 6, в) – заповнювач 7

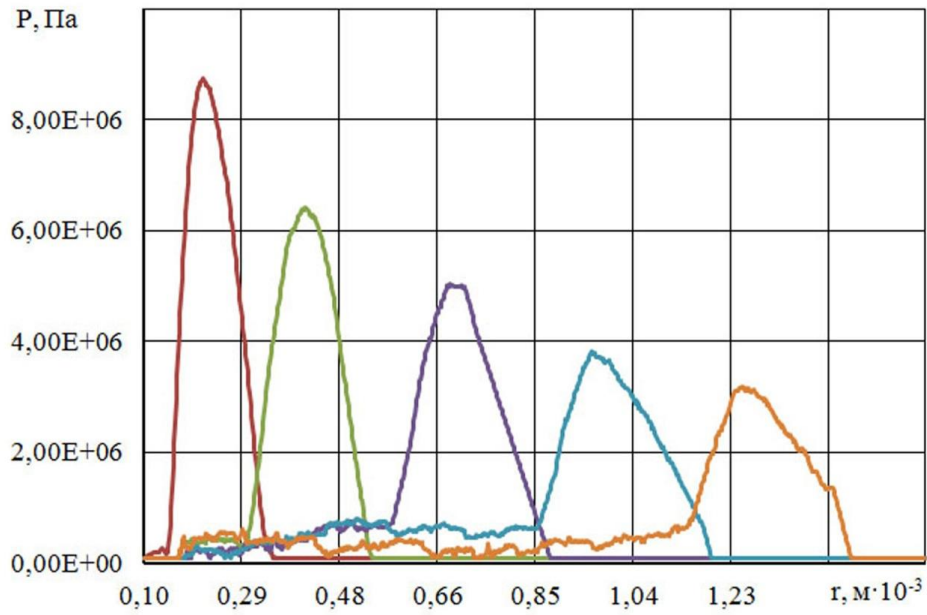
Рисунок 4.4 – Закономірності проходження хвиль тиску в процесі вибуху для різних типів заповнювача проміжку між зарядом і стінками свердловини

Як видно з рис. 4.4 зі зменшенням щільності розчину, а також його акустичної жорсткості, тиск у ближній до заряду зоні зростає, а ширина амплітуди хвилі тиску зменшується. Величина піку тиску становить для розчину зі щільністю  $880 \text{ кг/м}^3$  та швидкістю звуку в ньому  $1082 \text{ м/с}$

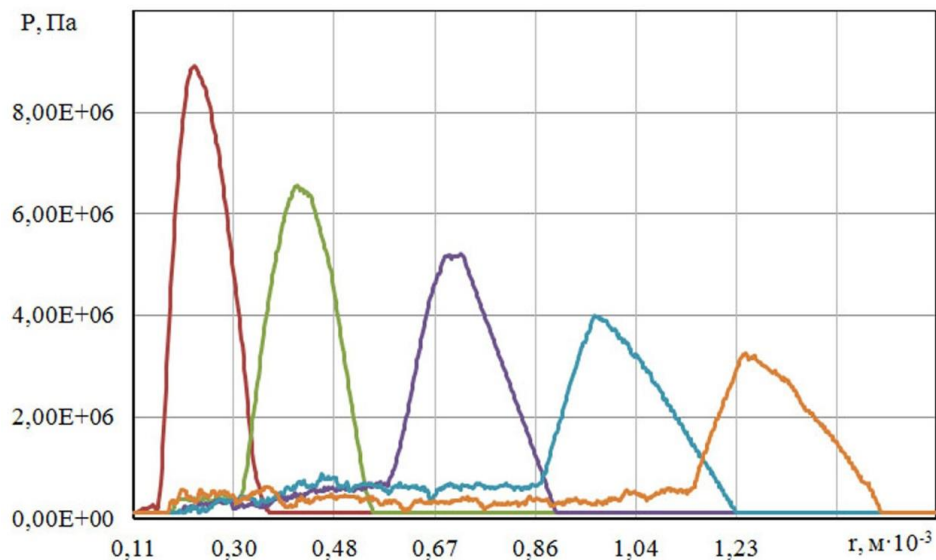
$10,3 \cdot 10^6$  Па, а для розчину зі щільністю  $720 \text{ кг/м}^3$  та швидкістю звуку в ньому  $985,52 \text{ м/с}$  –  $11 \cdot 10^6$  Па, що на 7 % більше.

Результати аналізу рис. 4.2–4.4 показують, що зі збільшенням акустичної жорсткості розчину, який пропонується використовувати як заповнювач проміжку між зарядом та свердловиною, пік тиску у ближній до заряду зоні зменшується. Максимум такого зменшення можна досягнути під час використання щільного розчину – заповнювача 1, у даному випадку водного розчину Ферум (III) сульфату із характеристиками  $\rho_n=1798 \text{ кг/м}^3$  та  $c=2712 \text{ м/с}$ . Так, за умов його застосування максимальний тиск у ближній до заряду зоні, яка є основним джерелом пилоутворення, складає  $8,1 \cdot 10^6$  Па. В той же час за умов застосування води (заповнювач 4), яка набула широкого практичного використання, такий тиск складає  $10 \cdot 10^6$  Па, що майже на 20 % більше. Як висновок, варто відзначити, що розчини з більшою акустичною жорсткістю дозволяють зменшити обсяг пилоутворення та підвищити однорідність фракційного складу гірської маси. Це можливо за рахунок зменшення амплітуди хвиль тиску на межі розподілу середовищ «заповнювач проміжку – гірська порода» та збільшення ширини амплітуди (рис. 4.2–4.4). Окрім того, такий підхід дозволяє підвищити рівень ресурсозбереження. Зокрема сприяє зменшенню втрат через переподрібнені фракції, які є відходами гірничого виробництва і складуються у відвали, що здійснюють вплив на довкілля через пиління.

Аналогічні розрахунки проведено за використання водного розчину Ферум (III) сульфату для діаметрів заряду 200 мм та 220 мм з метою встановлення раціональної величини проміжку між зарядом та стінкою свердловини за таких же вхідних даних (рис. 4.5). Як видно з рис. 4.5 та рис. 4.2 а) найменший пік тиску спостерігається коли діаметр заряду 160 мм, а діаметр свердловини 250 мм. Це говорить про те, що зі збільшенням величини проміжку за рахунок застосування зменшених діаметрів зарядів ефект зниження обсягу пилоутворення посилюється.



а)



б)

а) – 200 мм, б) – 220 мм

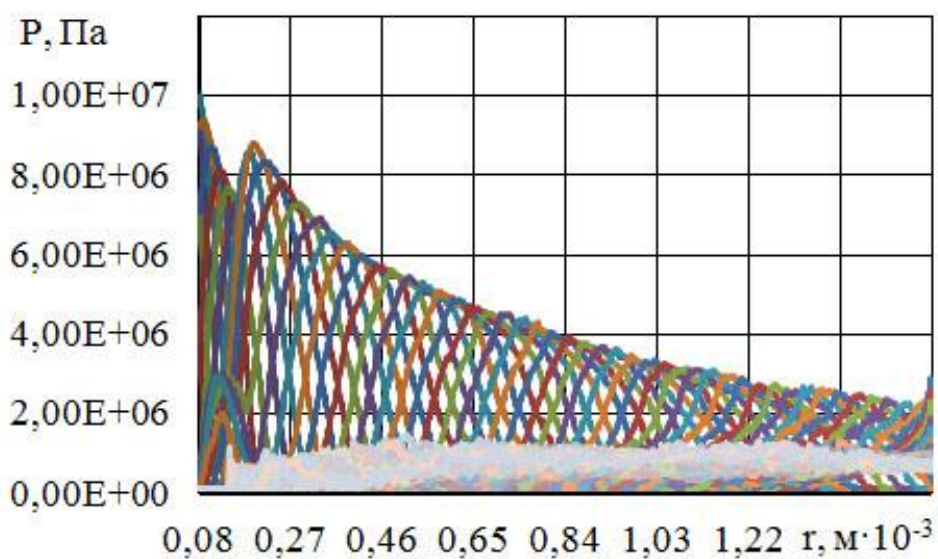
Рисунок 4.5 – Закономірність проходження хвиль тиску у процесі вибуху за умов застосування різної величини радіального проміжку між зарядом та стінками свердловини

Для підтвердження даного ефекту під час видобутку інших скельних порід проведено розрахунок тиску залежно від просторової координати (табл. 4.2) для базальту (рис. 4.6), діабазу (рис. 4.7), габро (рис. 4.8) та вапняку (рис. 4.9). Такий розрахунок проведено для двох випадків: для умов

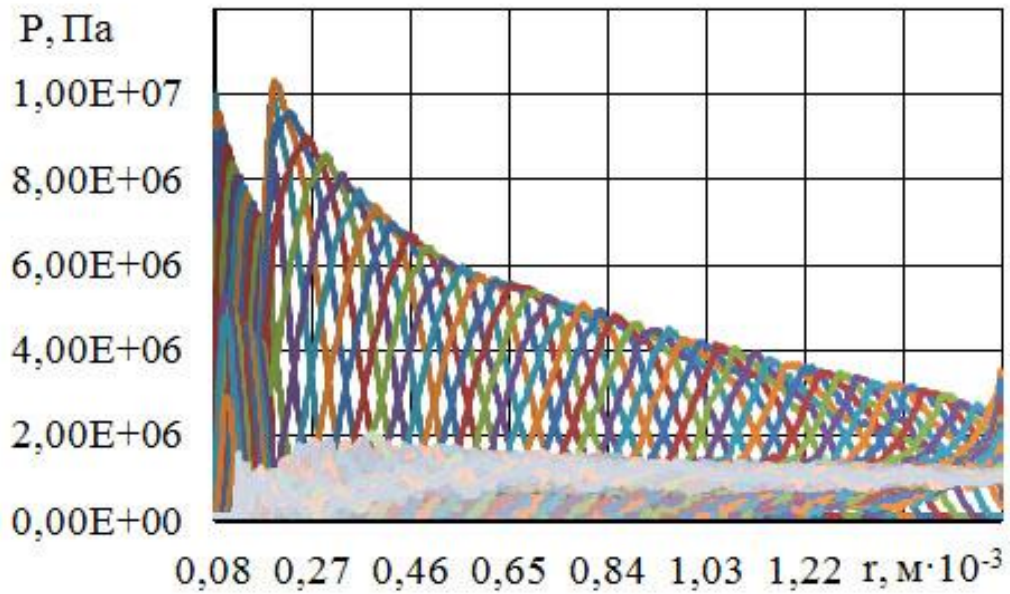
застосування у якості заповнювача проміжку між зарядом та стінкою свердловини водного розчину Ферум (III) сульфату та окремо води [207].

Таблиця 4.2 – Вхідні дані для встановлення закономірностей проходження хвиль тиску під час вибуху для різних типів порід

Діаметр свердловини, мм	Діаметр заряду, мм	Характеристики гірської породи			Характеристики заповнювача проміжку між зарядом і стінкою свердловини	
		Порода	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Швидкість звуку, м/с	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Швидкість звуку, м/с
250	160	Базальт	2860	5400	1798	2712
		Діабаз	3020	6300		
		Габро	2900	6250		
		Граніт	2650	4500		
		Вапняк	2550	4550		
		Базальт	2860	5400	1000	1450
		Діабаз	3020	6300		
		Габро	2900	6250		
		Граніт	2650	4500		
		Вапняк	2550	4550		

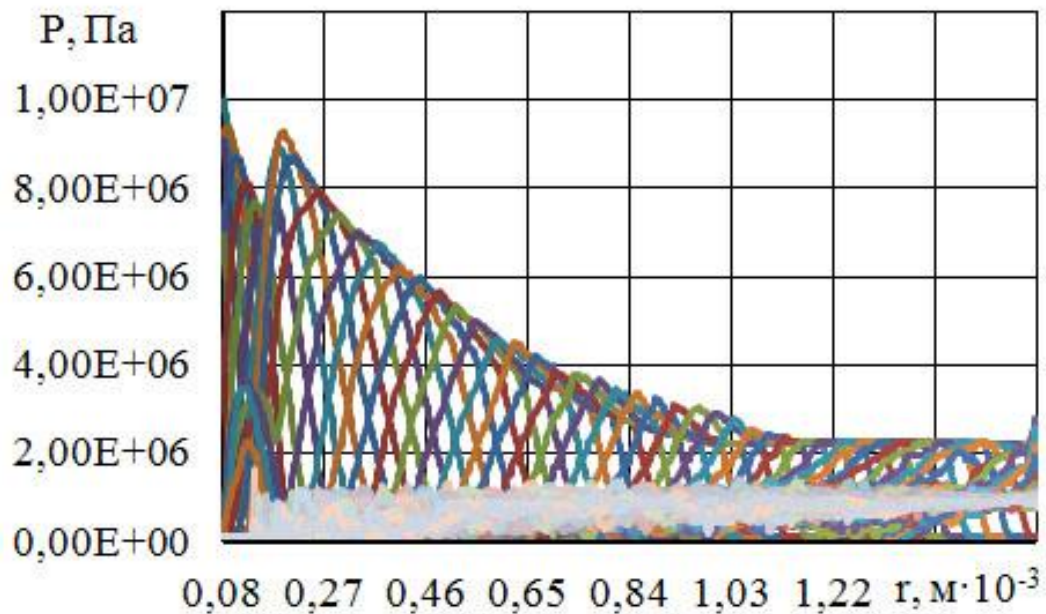


a)

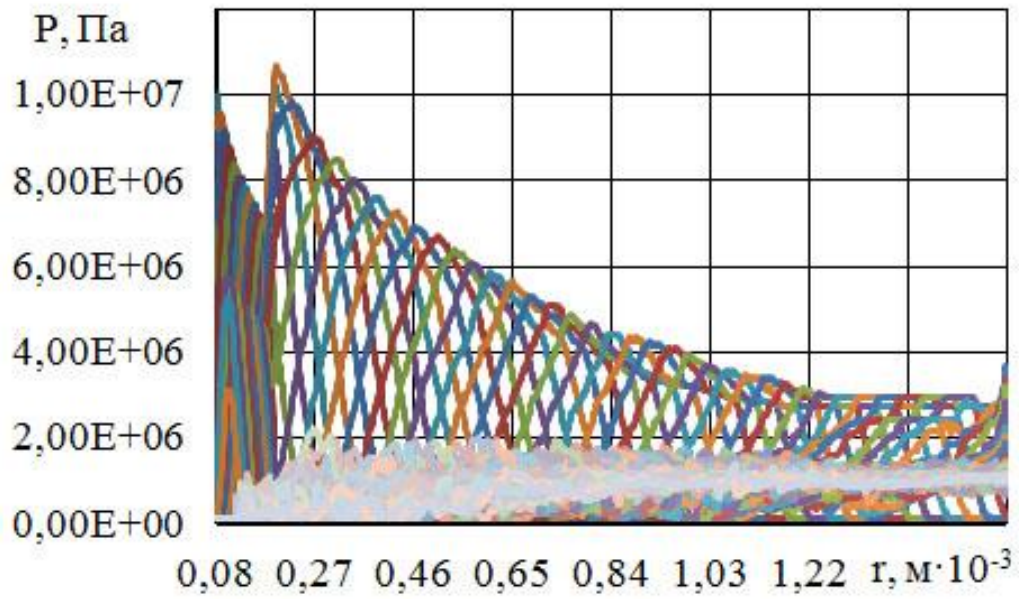


б)

Рисунок 4.6 – Закономірність проходження хвиль тиску під час вибуху за використання у якості заповнювача проміжку між зарядом і свердловиною водного розчину Ферум (III) сульфату (а) та води (б) в процесі видобутку базальту

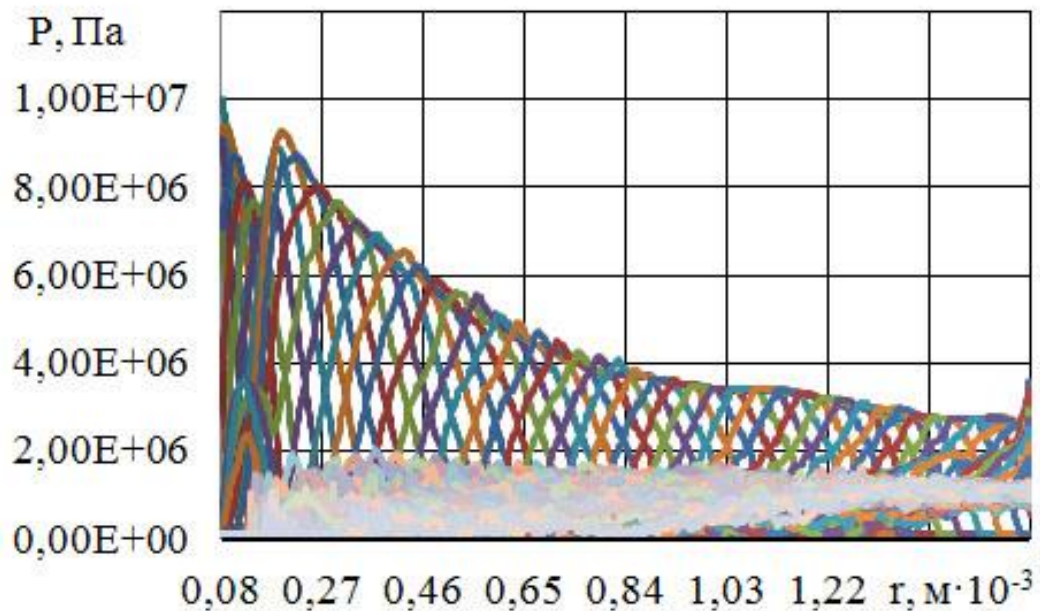


а)



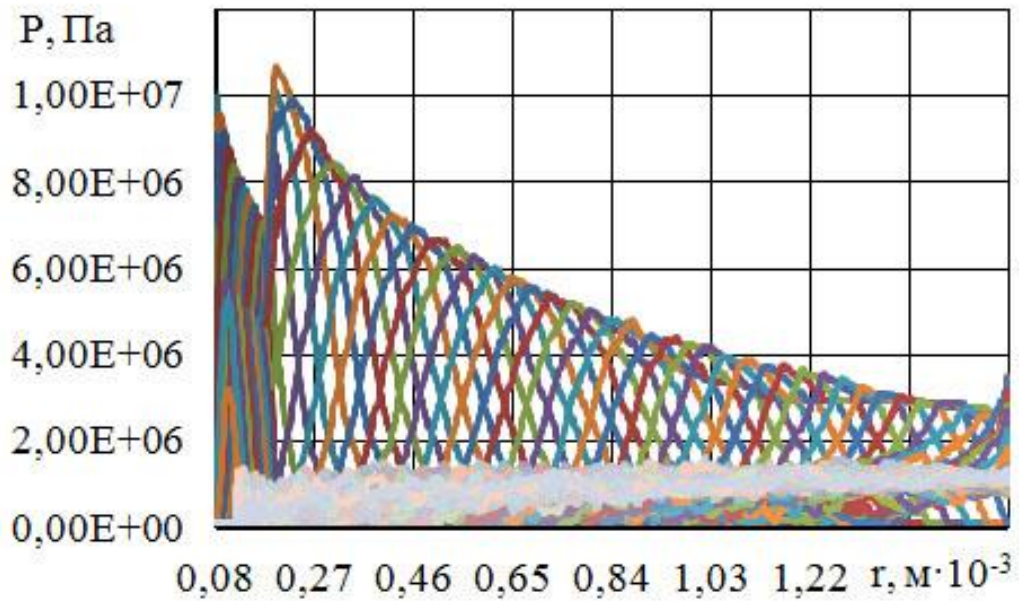
б)

Рисунок 4.7 – Закономірність проходження хвиль тиску під час вибуху за використання у якості заповнювача проміжку між зарядом і свердловиною водного розчину Ферум (III) сульфату (а) та води (б) в процесі видобутку діабазу



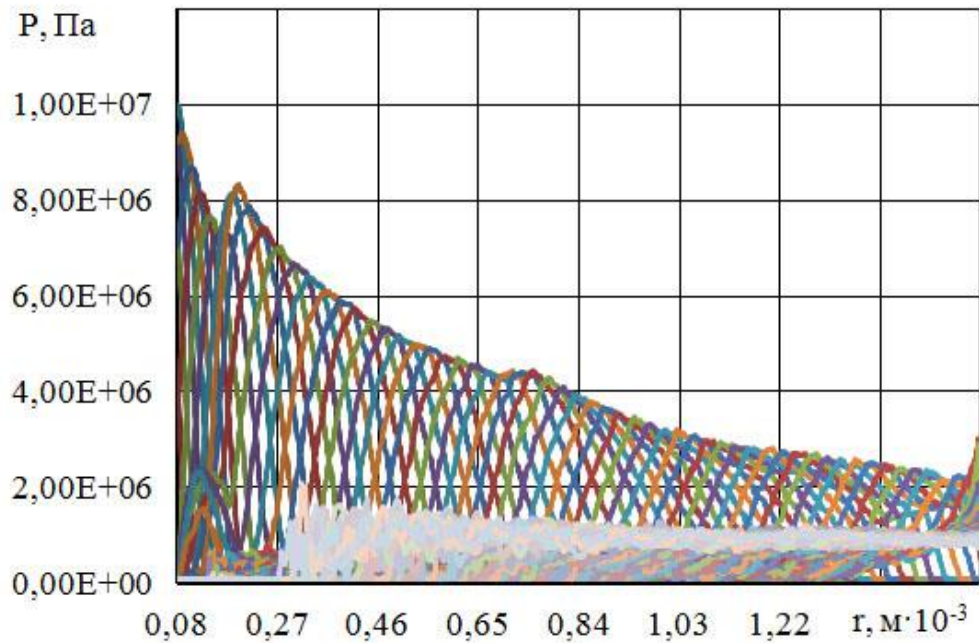
а)



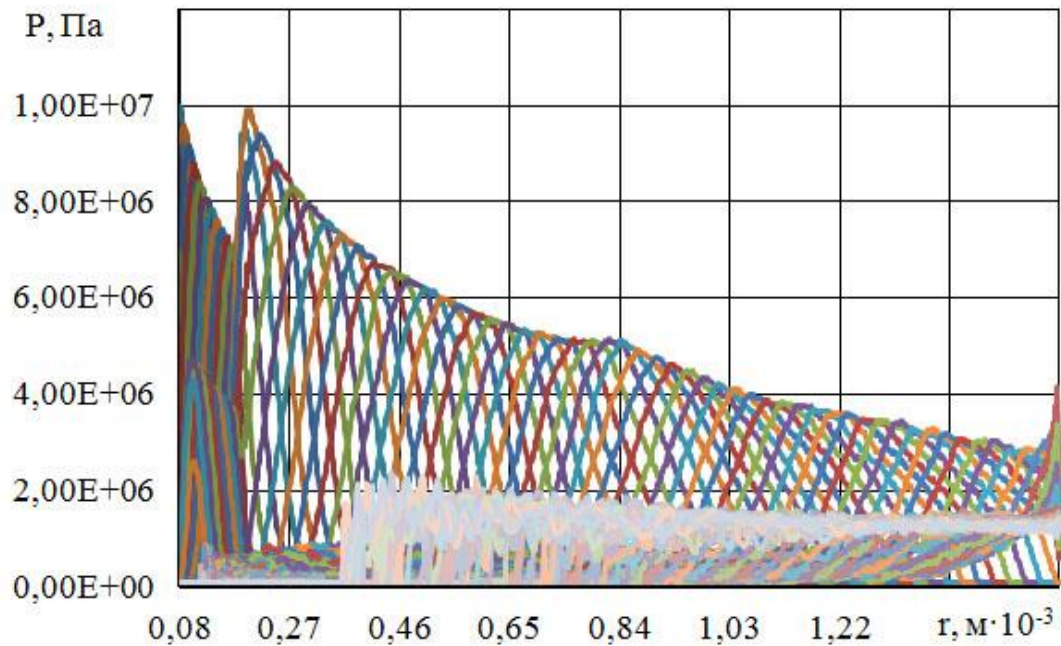


б)

Рисунок 4.8 – Закономірність проходження хвиль тиску під час вибуху за використання у якості заповнювача проміжку між зарядом і свердловиною водного розчину Ферум (III) сульфату (а) та води (б) в процесі видобутку габро



а)



б)

Рисунок 4.9 – Закономірність проходження хвиль тиску під час вибуху за використання у якості заповнювача проміжку між зарядом і свердловиною водного розчину Ферум (III) сульфату (а) та води (б) в процесі видобутку вапняку

Результати розрахунків показують, що зменшення піку тиску внаслідок використання в якості заповнювача проміжку водного розчину з високою акустичною жорсткістю спостерігається у всіх типах скельних порід. Зокрема найкраще цей ефект прослідковується у породах з меншою акустичною жорсткістю (граніт, вапняк) і гірше – у породах з більшою акустичною жорсткістю (діабаз), однак це не знижує його цінність (рис. 4.6–4.9). Так, під час підривання вапняків пік тиску за умов застосування води в якості заповнювача проміжку між зарядом та стінками свердловини складає  $1 \cdot 10^7$  Па. В той же час за умов застосування водного розчину Ферум (III) сульфату – близько  $8 \cdot 10^6$  Па, що на 20 % менше. Для діабазу тенденція аналогічна і різниця максимальних значень тиску у ближній до заряду зоні під час застосування води і водного розчину Ферум (III) сульфату становить близько 15 %.

Дане дослідження спрямоване на підвищення рівня екологічної безпеки під час вибухового руйнування скельних порід у кар'єрах. Це реалізується за рахунок удосконалення конструкції заряду застосуванням радіального проміжку між зарядом і стінкою свердловини, який заповнюється інертною речовиною з високою акустичною жорсткістю. Наразі існують дослідження, описані у першому розділі, які пропонують вирішення проблеми за рахунок технологічних, інженерно-технічних і організаційних заходів. Однак загальним їх недоліком є неможливість мінімізувати викиди пилу без зниження ефективності руйнування скельних порід вибухом. Не виявлено які саме параметри конструкції заряду без зниження ефективності подрібнення могли би вплинути на розміри зони переподрібнення. Не визначено вплив характеристик і властивостей заповнювача проміжку між зарядом і стінкою свердловини та його величини на результати руйнування порід вибухом.

Відмінність даного дослідження від відомих полягає в управлінні процесом вибухового руйнування скельних порід на основі адаптованої моделі Ляхова Г. М. Така модель, окрім характеристик породи і вибухової речовини, дозволяє враховувати характеристики і величину заповнювача проміжку між зарядом і стінкою свердловини. Результати розрахунку за нею показують, що зі збільшенням акустичної жорсткості заповнювача під тиску у ближній до заряду зоні зменшується на 15–20 %. Зі збільшенням величини проміжку за рахунок застосування зменшених діаметрів зарядів ефект посилюється [207].

Перевагами проведеного дослідження є можливість використання розробленого підходу для вирішення практичних задач. Зокрема для зменшення обсягу пилоутворення під час підривних робіт у кар'єрах. Окрім того, доцільно використовувати для підвищення якості підірваної гірської маси (зменшення втрат ресурсу за рахунок зменшення виходу переподрібнених (некондиційних) фракцій). Так як відомо, що чим більші параметри детонаційної хвилі, тим більші напруження на стінці вибухової камери, і тим більша енергія дисипації, що витрачається на переподрібнення.

Аналіз складу композицій хімічних речовин, які б могли використовуватись для заповнення проміжку між зарядом і стінкою свердловини та зменшувати водночас викиди пилу та/або шкідливих газів, дав змогу дійти висновку стосовно вибору таких хімічних реагентів та їх сумішей.

1) Поєднання неорганічних коагулянтів (бішофіт) з органічними ПАР або полімерами з такими функціональними групами, як карбоксильна, сульфо- та аміногрупи, амінокислотами тощо. Це може бути, наприклад, композиція, що містить органічний полімер полігексаметиленгуанідин (гідрохлорид) у кількості до 0,1 % , який досить часто використовується у водопідготовці як бактерицидний засіб.

2) З метою зміни поверхневого заряду твердих колоїдних частинок (пилу та інших) можна застосовувати катіонактивні ПАР. Це зумовлено тим, що колоїдні частинки, як правило, мають негативний поверхневий заряд. Отже, як реагент можна використати, наприклад, алкілдиметилбензиламоній хлорид або, наприклад, такі неорганічні електроліти, як  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  і т. п. Причому електроліти, що мають багатозарядні катіони (сульфати і хлориди Алюмінію та Феруму), діють набагато ефективніше за 1-1 електроліти (зокрема, хлорид амонію).

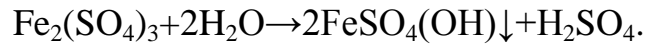
3) Акрилові полімери, наприклад, поліакриламід частково гідролізований.

Враховуючи особливості технології ПР та витрати на закупку і підготовку заповнювача, найбільш доцільним вважаємо застосування водного розчину натрій хлориду  $\text{NaCl}$  (натрієва сіль сильної соляної кислоти), щільність якого може сягати до  $1200 \text{ кг/м}^3$  [298]. Важливим є те, що ця сполука плавиться і кипить без розкладання.

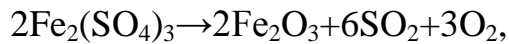
Враховуючи правило Шульце-Гарді (коагулюючою дією володіє той іон електроліту, заряд якого протилежний заряду колоїдної частинки, а коагулююча дія іону тим сильніша, чим вище його заряд), та з метою отримання більш щільного розчину або розчину з високою акустичною

жорсткістю вважаємо за доцільне використати водний розчин Ферум (III) сульфату  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , щільність якого може сягати  $1700\text{--}1800 \text{ кг/м}^3$  [299].

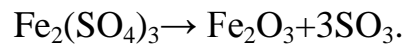
Гаряча вода або пара розкладають Ферум (III) сульфат, зокрема за температури  $100^\circ\text{C}$  за реакцією:



Безводний Ферум (III) сульфат під час нагрівання розкладається за температури  $900\text{--}1000^\circ\text{C}$  за реакцією:



а за температури  $500\text{--}700^\circ\text{C}$  за реакцією:



Недоліком вибору розчину Ферум (III) сульфату як розчину для заповнення проміжку між зарядом і стінкою свердловини є утворення внаслідок вибуху свердловинного заряду газоподібного Сульфур (IV) оксиду. Однак нейтралізувати такий газ можна правильно підібраним матеріалом забійки, про що йдеться у наступному пункті.

4.2 Розробка ресурсозберігаючої конструкції забійки свердловини та дослідження її впливу на вихід шкідливих газів під час масового вибуху на кар'єрі

Одним із основних технологічних процесів видобутку корисних копалин на кар'єрах є підривні роботи, які супроводжуються значною кількістю пилу та шкідливих газів, зокрема Нітроген (II) оксиду, Нітроген (IV) оксиду та Карбон (II) оксиду. Така ситуація призводить до неприємних

екологічних наслідків. Під час взаємодії оксидів Нітрогену (окрім NO) та Карбон (IV) оксиду з парами води утворюються нітратна та нітритна кислоти, осідання яких на ґрунт призводить до підвищення у ньому вмісту нітратів і нітритів, а під час потрапляння у водойми – до підкислення води. Карбон (II) оксид (чадний газ) викликає отруєння, так як зв'язується з гемоглобіном крові, блокуючи процеси транспортування кисню. Вуглекислий газ є одним із парникових газів і приймає участь у процесах глобального потепління [300]. Варто відзначити, що одночасне утворення шкідливих газів і пилу у процесі вибуху супроводжується адсорбцією цих газів розвинутою поверхнею частинок пилу [65].

Відомо, що ефективність вибуху значною мірою визначається параметрами забійки свердловини [61]. Її величина і якість в значній мірі визначають міру використання енергії вибуху для руйнування гірського масиву, рівномірність його дроблення, а також об'єм ПГХ [62]. Головним призначенням забійки є надійне запирання ПВ на час, поки не відбудуться вторинні реакції детонаційного розкладу ВР, а енергія розширюваних газів не почне перетворюватись у механічну роботу руйнування та переміщення частини масиву. Поряд з регулюванням інтенсивності дроблення породи забивка має перешкоджати передчасному викиданню газів із свердловини, яке супроводжується неповним розкладом ПД і призводить до підвищення вмісту токсичних компонентів у газовій суміші, руйнування устя свердловини з неконтрольованим розкиданням окремих шматків породи [61].

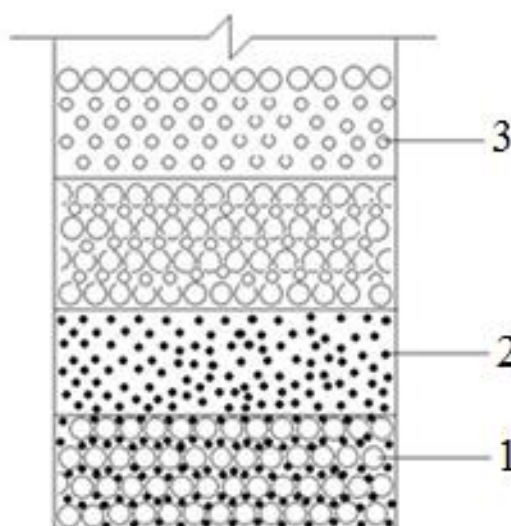
У результаті багаточисленних досліджень встановлено, що поведінка та ефективність забійок під час масових вибухів залежить від фізико-механічних властивостей забійкового матеріалу, крупності його частинок, стисненості, щеплення із стінками зарядної порожнини та ін. [58]. Розробці раціональної конструкції забійки присвячено значну кількість праць [58]–[72]. Однак у них переважно розглядаються конструкції забійок, що створюють максимальний опір виштовхуванню. Водночас питанням нейтралізації шкідливих газів, утворених внаслідок вибуху, матеріалом

забійки увага майже не приділяється [59]. Розробка універсальної забійки, яка б забезпечувала необхідний фракційний склад, з низькими трудовими та фінансовими затратами є актуальною науково-практичною задачею.

Виходячи із можливого складу ПГХ ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) запропоновано конструкцію забійки, яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів і базується на хемосорбції газів негашеним вапном та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами [208].

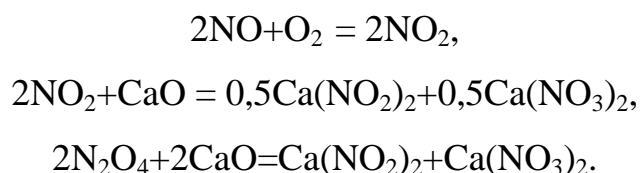
Згідно роботи [7] кількість газів, утворених з 1 кг ВР, складає,  $\text{дм}^3/\text{кг}$ :  $\text{NO}_2$  – 21;  $\text{CO}$  – 27;  $\text{CO}_2$  – 78;  $\text{N}_2$  – 215. Враховуючи, що діаметр свердловини складає 250 мм, діаметр заряду – 160 мм, довжина свердловини – 16 м, довжина заряду – 12 м і довжина забійки – 4 м, така кількість газів із 1 свердловини складе,  $\text{дм}^3$ :  $\text{NO}_2$  – 60,5;  $\text{CO}$  – 7776;  $\text{CO}_2$  – 22464;  $\text{N}_2$  – 61920.

На першій стадії пропонується звернути особливу увагу на поглинання Нітроген (IV) оксиду, тоді як інші гази в певній кількості будуть поглинуті цеолітом (рис. 4.10). Важливо повністю поглинути саме  $\text{NO}_2$ , так як він, по-перше, найбільш шкідливий, по-друге – утворює димери  $2\text{NO}_2 \leftrightarrow \text{N}_2\text{O}_4$ , за рахунок чого на адсорбентах його адсорбція ускладнена.



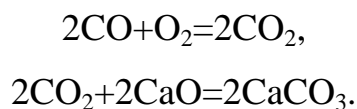
1 – щебінка; 2 – негашене вапно або відходи, які його містять; 3 – цеоліти

Рисунок 4.10 – Конструкція забійки з двостадійною очисткою від шкідливих газів



Якщо врахувати, що 50:50 %  $2\text{NO}_2 \leftrightarrow \text{N}_2\text{O}_4$ , то поглинання  $\text{NO}_2$  1 кг  $\text{CaO}$  становитиме  $0,3 \text{ м}^3$ . Із урахуванням ступеню поглинання ( $\sim 99$  %), об'єм поглинутого газу зменшиться до  $0,297 \text{ м}^3$ . Якщо 1 кг негашеного вапна може поглинути  $297 \text{ дм}^3$  Нітроген (IV) оксиду, то для поглинання  $60,5 \text{ дм}^3$  (вихід із 1 свердловини) необхідно  $0,204 \text{ кг}$ . Тобто для практично повного поглинання  $\text{NO}_2$  при ступені конверсії 99 % необхідно  $204 \text{ г CaO}$ .

Що стосується  $\text{CO}$ , то даний оксид є несолеутворюючим, а тому безпосередньо з  $\text{CaO}$  не реагує. Однак за умов вибуху та за наявності кисню повітря можливі такі процеси:

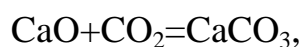


Однак для прецизійного розрахунку необхідно врахувати ступінь перетворення (конверсії) за реакцією  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ . Прийнято, що дана реакція проходить з  $\eta = 0,7$  (70 %), так як є ймовірність нестачі кисню. З урахуванням ступеню конверсії за цією реакцією 70 % отримано  $0,7 \text{ дм}^3$ , тобто з кожного літра  $\text{CO}$  утвориться  $0,7 \text{ літра CO}_2$ . Таким чином, із наявних  $7776 \text{ дм}^3 \text{ CO}$  на  $\text{CO}_2$  перетвориться  $5443 \text{ дм}^3 \text{ CO}_2$ . Водночас не перетвориться і у будь-якому випадку піде на цеоліт  $2332,8 \text{ дм}^3 \text{ CO}$ .

Теоретично розраховано необхідну кількість  $\text{CaO}$  для поглинання  $5443 \text{ дм}^3 \text{ CO}_2$ , утвореного за реакцією  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ , яка становить  $13,6 \text{ кг}$ . Якщо  $\eta = 0,99$ , то  $m_{\text{CaO}} = 13,5 \text{ кг}$ . Таким чином, для поглинання  $\text{CO}$ , який в процесі вибуху перетворився в  $\text{CO}_2$ , необхідно  $13,5 \text{ кг CaO}$ , водночас неперетворений  $\text{CO}$  у кількості  $2333 \text{ дм}^3$  піде на цеоліт.



З урахуванням реакції взаємодії негашеного вапна з Карбон (IV) оксидом:



розраховано, що 1 кг CaO може поглинути 400 дм<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>. З урахуванням ступеню конверсії  $\eta=0,99$  1 кг CaO теоретично може поглинути 396 дм<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>. Беручи до уваги, що у ПГХ CO<sub>2</sub> міститься в об'ємі 22464 дм<sup>3</sup>, розраховано, що для повного поглинання CO<sub>2</sub> необхідно 57 кг CaO.

Висновки щодо ступенів конверсії Нітроген (IV) оксиду та Карбон (IV) оксиду негашеним вапном базуються на величинах енергії активації  $E_A$  зазначених процесів. Оскільки величини  $E_A$  коливаються в діапазоні від 40 кДж/моль до 100 кДж/моль, то більша частина зіткнень реагуючих частинок приводить саме до хімічної взаємодії, а, отже, швидкість реакцій дуже велика. Крім того, внаслідок вибуху дисперсність системи різко зростає, а, отже, збільшується й площа міжфазної поверхні, що, в свою чергу, сприяє збільшенню швидкості процесу взаємодії реагуючих частинок.

Результати розрахунку кількості шкідливих газів, які може поглинути 1 кг CaO, наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Обсяги поглинання газу, утвореного під час вибуху, одним кілограмом негашеного вапна

Газ, утворений під час руйнування скельних порід вибуховою речовиною	Обсяг поглинання газу 1 кг CaO, дм <sup>3</sup>	Ступінь конверсії
NO <sub>2</sub>	297	0,99
CO <sub>2</sub>	396	0,99
CO <sub>2</sub> , утворений за реакцією $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$	400	0,70

Загальна маса СаО, яка необхідна для запланованих об'ємів поглинання, становить:

$$m_{CaO}=57+13,5+0,2=70,7\approx 71 \text{ кг.}$$

Таким чином, для поглинання цеолітом залишається  $2332,8 \text{ дм}^3 \text{ СО}$ .

Згідно експериментальних літературних даних [301] для NO (а поглинання СО є подібним через близькі розміри молекул), 1 г цеоліту (13X) поглинає (максимально) 0,35 г СО або  $0,28 \text{ дм}^3$ . Тому для поглинання  $2333 \text{ дм}^3 \text{ СО}$  необхідно  $8332,14 \text{ г}$  або  $8,3 \text{ кг}$  цеоліту.

Враховуючи, що за підвищення температури фізична адсорбція погіршується, масу цеоліту запропоновано збільшити у два рази ( $16 \text{ кг}$ ). При цьому враховуються не тільки фізико-хімічні адсорбційні процеси, що відбуваються під час вибуху, а й подальша адсорбція на цеолітах, що будуть знаходитися у зваженому стані досить тривалий час (за експериментальними даними пилова хмара у безвітряну суху погоду буде седиментуватися (осідати під дією сили тяжіння) впродовж 3–3,5 годин і навіть більше). При цьому, як зазначалось, ступінь дисперсності системи під час вибуху приведе до збільшення міжфазної поверхні реагуючих частинок і, як наслідок, до збільшення ступеню конверсії (поглинання) чадного газу. За зазначених умов сорбцією кисню та азоту повітря можна знехтувати через дуже малі розміри їх молекул, а тому й через їх незначну адсорбцію на поверхні пор обраного нами цеоліту.

Таким чином, на основі проведеного розрахунку необхідної кількості адсорбенту на кожній стадії очистки та обґрунтування доцільності його застосування отримано кількісно-якісні характеристики адсорбенту в забійці свердловини в залежності від типу ВР, кількості та типу шкідливих газів, утворюваних нею під час вибуху, та параметрів свердловини [208]:

$$m_{CaO} = \frac{\pi}{4} \rho_{BP} d_3^2 l_3 \left[ (0,003V_{NO_2} + 1,74V_{CO}) \cdot 10^{-3} + \frac{V_{CO_2}}{396} \right], \quad (4.7)$$

$$m_u = \frac{\pi}{2} \rho_{BP} d_3^2 l_3 \frac{0,3 \cdot V_{CO}}{280}, \quad (4.8)$$

де  $\rho_{BP}$  – щільність ВР, кг/м<sup>3</sup>;

$d_3$  – діаметр заряду, м;

$l_3$  – довжина заряду, м;

$V$  – об'єм відповідного шкідливого газу з 1 кг ВР, л/кг.

Результати розрахунків мас негашеного вапна та цеоліту для повної нейтралізації шкідливих газів наведено у табл. 4.4. Діаметр свердловини – 250 мм, довжина – 16 м, діаметр заряду – 160 мм, довжина заряду – 12 м.

Таблиця 4.4 – Необхідна кількість реагенту та сорбенту для повної нейтралізації шкідливих газів при підриванні сучасних ВР

Вибухова речовина	Кількість утворюваних газів з 1 кг ВР, дм <sup>3</sup>		Необхідна кількість негашеного вапна СаО, кг	Необхідна кількість цеоліту (13Х), кг
	CO <sub>2</sub>	CO		
Полімікс ГР4-Т10	CO <sub>2</sub>	52,64	57	38
	CO	82,66		
Полімікс ГР1/8	CO <sub>2</sub>	64,85	42	9
	CO	18,48		
Комполайт ГС6	CO <sub>2</sub>	39,45	39	22
	CO	50,02		
Полімікс ГР1/8 (74%) + КРУК2 (26%)	CO <sub>2</sub>	73,14	50	6
	CO	10,7		
Полімікс ГР1/8 (85%) + КРУК2 (15%)	CO <sub>2</sub>	69,99	46	7
	CO	13,62		
Гранеміт И-30	CO <sub>2</sub>	78	71	16
	CO	27		
	NO <sub>2</sub>	0,21		
Гранеміт И-50	CO <sub>2</sub>	89,2	97	27
	CO	38,8		
	NO <sub>2</sub>	0,12		

Таким чином, двостадійна очистка від шкідливих газів, яка базується на хемосорбції газів негашеним вапном та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами, може забезпечити повну хімічну нейтралізацію  $\text{NO}_2$  і  $\text{CO}_2$ , а також нейтралізацію  $\text{SO}$  цеолітами. Окрім того, таку забійку необхідно враховувати під час вибору раціонального типу ВР для проведення ПР у конкретних гірничо-геологічних умовах. За умов впровадження запропонованої конструкції забійки з урахуванням [302] можна не лише уникнути або мінімізувати податок за викиди забруднюючих речовин, але й підвищити ефективність дії вибуху зарядів суцільної конструкції.

#### 4.3 Оцінка швидкості руху забійки під час підривання свердловинних зарядів у взаємозв'язку з результатами дроблення гірських порід

Збільшення корисної енергії вибуху під час дроблення гірських порід досягається за умов більш тривалого імпульсу вибуху з меншою величиною тиску. Цей загальновідомий фізичний ефект у фахівців-підричників вже давно не викликає сумніву і реалізується на практиці за допомогою різних методів управління енергією вибуху [303]. Водночас ступінь трансформації енергії вибуху в масив гірських порід, що руйнується, залежить від часу замикання газоподібних ПД у свердловині застосуванням забійки. Від якості матеріалу забійки залежить і ефективність дроблення вибухом. За даними [304] за допомогою спеціальної конструкції забійки досягнуто збільшення коефіцієнта корисної дії вибуху на 40 %.

У роботах [305], [306] наведено дані щодо ефективності дії забійки з оцінкою за часом замикання ПД, які можуть бути використані в розрахунках під час проектування параметрів ПР. У роботі [303] викладено результати експериментальних досліджень щодо впливу різного матеріалу забійки на швидкість її руху  $V_d$  під час підривання заряду. Однак оцінка різних конструкцій зарядів за критерієм  $V_d$  на сьогодні в достатній мірі не обґрунтована.

Наявність в зарядах забійки сприяє збільшенню тривалості імпульсу вибуху за рахунок втрати часу в зоні ущільнення її матеріалу. У свою чергу це впливає на час вильоту забійки зі свердловини, що збільшує загальний час впливу вибуху на гірський масив, що руйнується. Порівняльна оцінка ефективності дії вибуху зарядів різних конструкцій може бути виконана за величиною швидкості руху  $V_0$  забійки, яка визначає амплітудно-часові параметри вибухового імпульсу [99]. Якщо допустити відсутність тертя матеріалу забійки з бічною поверхнею свердловини і розглядати рух забійки під дією ПД і опору повітря над забійкою, тоді:

$$V_0 = l_3 \sqrt{2g / l_{заб}} \cdot f^{1/2}(x),$$

де  $l_3$  – довжина заряду, м;

$g$  – прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;

$l_{заб}$  – довжина забійки, м;

$f(x)$  – функція від відносної величини підняття  $x$  нижньої основи забійки.

Вхідні в функцію  $f(x)$  параметри і коефіцієнти виражаються через детонаційні характеристики ВР і дозволяють розглянути ефективність вибуху зарядів різних конструкцій. При цьому функція має вигляд:

$$f(x) = \exp[-\bar{K}_c(x-1)] \left\{ -c_1 - \frac{\bar{h}}{\bar{K}_c} \exp[\bar{K}_c(x-1)] + \right. \\ \left. + K_\alpha x^{1-\alpha} \sum_{i=1}^3 d_{i\alpha} x^{i-1} + K_\beta x^{1-\beta} \sum_{i=1}^3 d_{i\beta} x^{i-1} \right\},$$

де  $\alpha, \beta$  – коефіцієнти показника степеня, що входять в рівняння стану ПД, утворених внаслідок вибуху заряду ВР (для тротилу  $\alpha = 3,123$ ;  $\beta = 1,25$ );

$$\left. \begin{aligned}
 \bar{K}_c &= (c_x \bar{\rho}_A \bar{h}_0) = (c_x \beta_B h_0) / (\rho_1 h), \\
 \bar{c}_1 &= \bar{h} / \bar{K}_c + K_\alpha \sum_{i=1}^3 d_{i\alpha} + K_\beta \sum_{i=1}^3 d_{i\beta}, \\
 \bar{h} &= h / h_0, \quad K_\alpha = A \rho_n^\alpha / \rho_n, \\
 K_\beta &= B \rho_n^\beta / \rho_n,
 \end{aligned} \right\}$$

$A$  і  $B$  – коефіцієнти, що входять в рівняння стану ПД;

$$\left. \begin{aligned}
 d_{i\alpha} &= f_i(\bar{K}_c), \quad d_{1\alpha} = K_{1\alpha} / (1 - \alpha), \quad d_{2\alpha} = K_{2\alpha} / (2 - \alpha), \\
 d_{3\alpha} &= K_{3\alpha} / (3 - \alpha), \\
 K_{1\alpha} &= 1 - \bar{K}_c + 1 / 2 \bar{K}_c^2, \quad K_{2\alpha} = \bar{K}_c (1 - \bar{K}_c), \quad K_{3\alpha} = 1 / 2 \bar{K}_c^2, \\
 d_{1\beta} &= f_i(\bar{K}_c), \quad d_{1\beta} = K_{1\alpha} / (1 - \beta), \quad d_{2\beta} = K_{2\alpha} / (2 - \beta), \\
 d_{3\beta} &= K_{3\alpha} / (3 - \beta), \quad i = 1, 2, 3.
 \end{aligned} \right\}$$

Для визначення коефіцієнтів  $A$  і  $B$  оцінимо вплив багатоконпонентної сипучої ВР на основі АС – ДТ з двома добавками 1 і 2 на характер зміни тиску ПД в свердловині, використовуючи рівняння стану ПД [307]:

$$P = A \rho_{ПД}^{n_0} + B \rho_{ПД}^{\gamma_0 + 1},$$

де  $P$  – тиск ПД, Па;

$\rho_{ПД}$  – щільність ПД, кг/м<sup>3</sup>;

$A, B, n_0, \gamma_0$  – константи, які визначаються з системи рівнянь [307], [308].

З рішення системи рівнянь визначаємо константи рівняння стану ПД:

$$B = \frac{P_n^{\gamma_0=\gamma-1} [\gamma_0 P_n + Q \rho_n \gamma_0 (1 - k_n)]}{\rho_n^{\gamma_0+1} [P_n (2\gamma_0 - k_n + 1) + Q \rho_n \gamma_0^2]},$$

$$n_0 = \frac{P_n k_n - B \rho_n^{\gamma_0+1} (\gamma_0 + 1)}{P_n - B \rho_n^{\gamma_0+1}},$$

$$A = \frac{P_n - B \rho_n^{\gamma+1}}{\rho_n^{n_0}},$$

де  $P_n$  – початковий тиск ПД, Па;

$\gamma_0$  – показник адіабати ПД;

$Q = Q_f$  – фугасна теплота вибуху, Дж;

$\rho_n$  – початкова щільність ПД (приймаємо  $\rho_n = \rho_0$ ), кг/м<sup>3</sup>;

$k_n = n$  – показник політропи ПД.

Щільність ПД в циліндричній порожнині нескінченної довжини визначається за виразом:

$$\rho_{ПД} = \rho_0 (r_n / r_0)^{-2},$$

де  $r_0, r_n$  – відповідно початковий і поточний радіуси порожнини.

Приймаючи  $\rho_0 = r_n / r_0$ , отримаємо  $\rho_{ПД} = \rho_0 (r_0)^{-2}$ .

Розрахункові значення коефіцієнтів  $A, B, r_0$  і  $\gamma_0$  для багатоконпонентних ВР наступні.

ВР-1:

$$A=292,58; B=22199,68; n_0=2,356;$$

$$\gamma_0=0,279$$

ВР-2:

$$A=71,43; B=99366,89; n_0=2,52;$$

$$\gamma_0=0,26$$

Вміст компонентів у сумішах у відсотках прийнято наступний [309].  
Для ВР-1: АС – 88; ДП – 2; добавка 1 – 2; добавка 2 – 8. Для ВР-2: АС – 88;  
ДП – 2; добавка 1 – 4; добавка 2 – 6.

Функціональні залежності  $P_{ПД} = f(r_0)$  за вмісту зазначених компонент у сумішах ВР наведено на рис. 4.11.

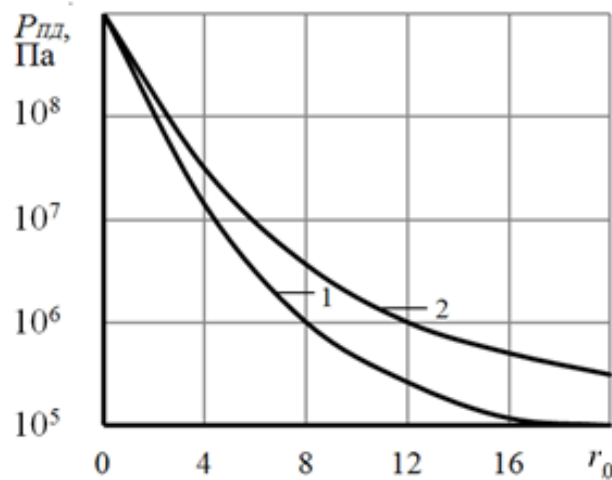


Рисунок 4.11 – Залежність тиску ПД від радіуса вибухової порожнини за умов різного вмісту компонентів у сумішах ВР-1 (1) і ВР-2 (2)

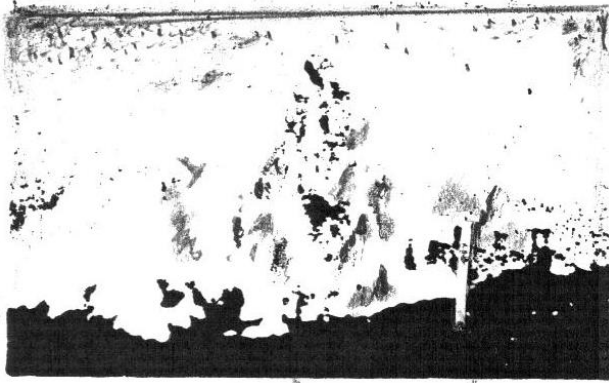
З аналізу рис. 4.11 видно, що за однакових фіксованих значень аміачної селітри і дизельного палива зі зменшенням добавки 1 в суміші ВР-1 і відповідним збільшенням добавки 2 (залежність 1) імпульс вибуху в порівнянні з ВР-2 зменшується. Тиск на фронті детонаційної хвилі також знижується. Зі збільшенням  $r_0$  зниження тиску відбувається більш плавно, зумовлюючи збільшення повного імпульсу вибуху.

Таким чином, з огляду на отримані розрахункові характеристики для визначення  $f(x)$ , представляється можливим оцінити величину  $V_0$ , яку можна використовувати в розрахунках під час проектування параметрів ПР або в процесі вирішення різних завдань геодинаміки вибуху. Чисельні значення  $V_0$  і функції  $f(x)$  розраховуються за спеціально розробленою програмою.

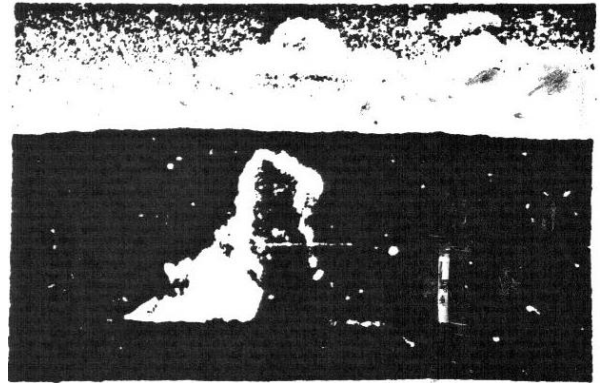
Визначення величини  $V_0$  забійки проводилось під час вибуху одиночних свердловинних зарядів різних конструкцій в кар'єрі № 1 Селещанського родовища гранітів [99]. В якості конструкцій зарядів були прийняті: суцільна і розосереджена інертними проміжками від одного до



тръох. Діаметр заряду становив 0,22 м, глибина свердловини – 13,5 м, висота інертного проміжку – 0,5 м, тип ВР – Грамоніт 79/21. Процес вильоту забійки реєструвався кінокамерою СКС і показаний на рис. 4.12 (в момент часу 80 мс після початку детонації заряду).



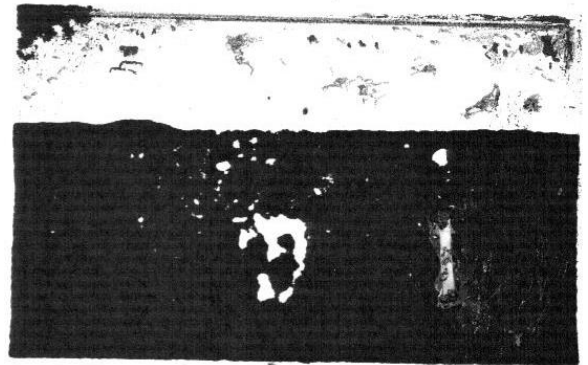
а)



б)



в)



г)

а) – суцільний заряд; б) – розосереджений одним інертним проміжком; в) – розосереджений двома інертними проміжками; г) – розосереджений трьома інертними проміжками

Рисунок 4.12 – Кінограма процесу вильоту забійки під час вибуху заряду ВР у свердловині

За результатами обробки кінограм вибухів побудовано графічні залежності швидкості  $V_0$  і часу  $t_0$  руху забійки від кількості інертних проміжків  $n_{III}$  в момент часу, що дорівнює 80 мс (рис. 4.13).

Залежності 1 і 2 для розглянутих умов апроксимуються наступними рівняннями:

$$V_{\delta}=3,7(n_{III})^2-20,42n_{III}+41,46,$$

$$t_{\delta}=-14,76(n_{III})^3+69,72(n_{III})^2-40,6n_{III}+71.$$

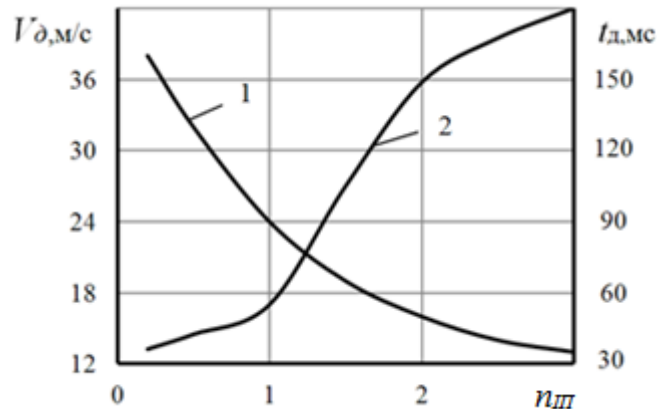


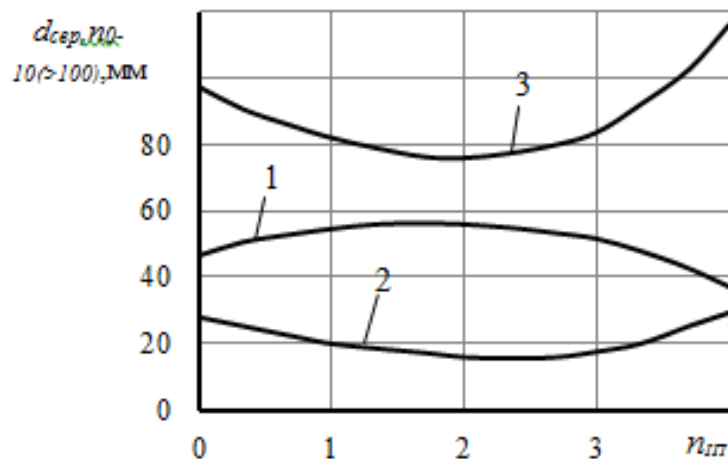
Рисунок 4.13 – Залежності швидкості  $V_{\delta}$  (1) і часу  $t_{\delta}$  (2) руху забійки під час вибуху від кількості інертних проміжків  $n_{III}$  у заряді

Аналіз рис. 4.13 показує, що найбільша величина  $V_{\delta}$  забійки спостерігається в процесі вибуху зарядів суцільної конструкції, а найменша – під час вибуху зарядів, розосереджених 3-ма інертними проміжками. Для суцільної конструкції  $V_{\delta}$  змінюється в межах від 25 м/с до 38,5 м/с. Зі збільшенням кількості інертних проміжків від 1-го до 3-х величина  $t_{\delta}$  забійки зростає від 58 мс до 180 мс. Водночас підвищується герметичність зарядної камери за рахунок ущільнення матеріалу інертних проміжків і забійки, збільшується загальний час впливу енергії вибуху на масив гірських порід, що руйнується.

Однак збільшення часу впливу енергії вибуху на масив за рахунок збільшення кількості інертних проміжків у заряді обмежується вимогами до якості дроблення гірських порід. Така умова призводить до зменшення питомої витрати ВР і корисної роботи вибуху, що витрачається на дроблення порід. Тому вибір раціональної конструкції заряду з оцінкою за критерієм  $V_{\delta}$

повинен здійснюватись на основі кількісних показників якості вибухового дроблення гірської маси.

Експериментальними вибухами в полігонних (на об'ємних моделях) і промислових (масові вибухи) умовах встановлено залежності критеріїв оцінки результатів дроблення (виходу дрібних – 0–10 мм і негабаритних – понад 100 мм фракцій, діаметра середнього шматка  $d_{сер}$ ) від кількості інертних проміжків у заряді (рис. 4.14). Встановлено, що за наявності в заряді від 1-го до 3-х інертних проміжків дроблення моделі значно краще ніж в процесі дроблення зарядом ВР суцільної конструкції. За наявності в заряді більше 3-х інертних проміжків, навпаки, дроблення порід гірше ніж під час підривання зарядів суцільної конструкції. Максимальний вихід дрібних фракцій згідно рис. 4.14 становить 58,3 % за умови застосування 2-х проміжків, максимальний вихід негабариту – 30,5 % за умови застосування суцільної конструкції заряду. Мінімальний вихід негабаритних фракцій дорівнює 15,6 % за умови використання 2-х інертних проміжків (рис. 4.14, залежність 2). Найменше значення  $d_{сер}$  досягнуто також за умови застосування 2-х інертних проміжків і становить воно 78 мм (залежність 3).



1 – вихід фракцій розміром 0–10 мм, %; 2 – те ж, негабаритних фракцій розміром > 100 мм; 3 – діаметр середнього шматка, мм

Рисунок 4.14 – Залежність критеріїв оцінки якості дроблення об'ємних моделей від кількості інертних проміжків у зарядах

Наведені залежності апроксимуються рівняннями:

$$n_{0-10} = -3,49(n_{III})^2 + 11,84n_{III} - 46,58,$$

$$n_{>100} = 3,21(n_{III})^2 - 13,13n_{III} + 29,3,$$

$$d_{сер} = 7,58(n_{III})^2 - 27,05n_{III} + 99,5.$$

Зіставлення результатів полігонних експериментів з промисловими на гранітних кар'єрах України показало, що найкраще дроблення порід було досягнуто під час вибухів зарядів, розосереджених двома інертними проміжками [99]. Всього проведено 54 масових вибухи, якими відбито близько 1 млн. м<sup>3</sup> гірської маси. Середня питома витрата ВР склала 0,74 кг/м<sup>3</sup>. Як ВР застосовувались Амоніт № 6 ЖВ і Грамоніт 79/21. Вихід дрібної фракції розміром 0–200 мм збільшився з 20,2 % до 29,1 %, а великої – більше 1000 мм знизився з 12,6 % до 6,0 %. Сумарний вихід фракцій менше 500 мм збільшився з 43,3 % до 56,2 %, а фракції +500 мм – знизився з 56,7 % до 43,8 %. У загальному досягнуто зниження питомої витрати ВР на 13,3 %, негабаритних фракцій на 11,7 % і збільшення виходу гірської маси з 1 м свердловини на 9 %.

#### Висновки до розділу 4

1. Встановлено закономірність проходження хвиль тиску під час вибуху залежно від акустичної жорсткості заповнювача проміжку між зарядом та стінкою свердловини, його величини. Визначено, що зі збільшенням акустичної жорсткості заповнювача пік тиску у ближній до заряду зоні зменшується на 15–20 %. Зі збільшенням величини проміжку за рахунок застосування зменшених діаметрів зарядів ефект зниження обсягу пилоутворення посилюється.

2. Встановлено закономірності проходження хвиль тиску в процесі вибуху для різних типів скельних порід. Визначено, що зменшення піку

тиску внаслідок використання в якості заповнювача проміжку водного розчину з високою акустичною жорсткістю спостерігається у всіх типах скельних порід. Зокрема, найкраще цей ефект прослідковується у породах з меншою акустичною жорсткістю (граніт, вапняк) і гірше – у породах з більшою акустичною жорсткістю (діабаз), однак це не знижує його цінність. Під час підривання вапняків під тиску за умов застосування води в якості заповнювача проміжку між зарядом та стінками свердловини складає  $1 \cdot 10^7$  Па. В той же час за умов застосування водного розчину Ферум (III) сульфату – близько  $8 \cdot 10^6$  Па, що на 20 % менше.

3. Встановлено, що розчини з більшою акустичною жорсткістю дозволяють зменшити обсяг пилоутворення та підвищити однорідність фракційного складу гірської маси. Це реалізується за рахунок зменшення амплітуди хвиль тиску на межі розподілу середовищ на 20 % і більше та збільшення ширини амплітуди на 25–30 %.

4. Розроблено конструкцію забійки, яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів, утворених при вибуховому руйнуванні скельних порід, і базується на хемосорбції газів негашеним вапном або відходами виробництва, які його включають, та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами. Так для свердловини діаметром 250 мм та довжиною 16 м, в якій формується заряд Гранеміту – И30 діаметром 160 мм та довжиною 12 м, загальна маса СаО, яка необхідна для поглинання Нітроген (IV) оксиду та Карбон (IV) оксиду, становить 71 кг. Маса цеоліту, необхідна для повного поглинання Карбон (II) оксиду, – 15 кг.

5. Уперше визначено кількісно-якісні характеристики адсорбуючого складу в забійці свердловини залежно від типу вибухової речовини, кількості і типу утворюваних у процесі її вибуху шкідливих газів, та параметрів свердловини, що дозволяє знизити рівень інгредієнтного забруднення навколишнього середовища.

6. У результаті теоретичних досліджень, з використанням рівняння стану ПД, дана оцінка швидкості руху забійки, за величиною якої стає

можливим порівнювати ефективність дії вибуху різних конструкцій зарядів ВР і використовувати цей показник в процесі вирішення прикладних задач геодинаміки вибуху. Запропонований критерій може застосовуватись для оцінки ефективності дії вибуху зарядів будь-якої конструкції та оцінки їх впливу на навколишнє середовище за пиловим чинником. Однак під час підривання свердловинних зарядів, розосереджених проміжками, що зумовлюють зниження питомої витрати ВР, за умови збільшення їх кількості по довжині свердловини, використання такого критерію є недостатнім. У цьому випадку необхідна експериментальна перевірка в промислових умовах з оцінкою якості дроблення гірської маси, що відповідає вимогам виробництва.

Результати проведених досліджень опубліковані у роботах [207], [208], [302].

## РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДУ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН НА ВИХІД ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ ТА ТЕХНІЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИБУХОВИХ РОБІТ НА КАР'ЄРАХ

5.1 Вплив хімічного складу вибухової речовини на вихід шкідливих газів під час масових вибухів на кар'єрах

На сьогоднішній день енергія вибуху досить широко використовується для проведення відкритих гірничих робіт на території України. Широкий асортимент ВР різного хімічного складу дає можливість вибору ВР з оптимальними показниками для проведення більш екологічно безпечних та економічно вигідних вибухових маніпуляцій.

Серед найперспективніших способів зменшення газоутворення під час вибухів є зміна хімічного складу вибухівок, а саме перехід до безтротилових компонентів, використання ЕВР, що характеризуються близьким до нуля КБ. Це дозволяє знизити вміст шкідливих речовин у ПД і, відповідно, знизити їх викиди у навколишнє середовище [310].

Конкурентноспроможною альтернативою колишнім тротиловмісним ВР служать ЕВР. На прикладі однієї з таких речовин розглянуто характер зміни кількості утворених в результаті вибуху шкідливих газів від зміни хімічного складу вибухівки [311].

Зміна хімічного складу ВР дозволяє варіювати не лише відсотковим вмістом кожної складової вибухівки, але й по окремо змінювати хімічний склад складових. Так, зміна хімічного складу дизельного палива, за умов незмінного відсоткового вмісту його у складі ВР, передбачає зміну кількості атомів водню, що необхідно окислити в процесі вибуху. Зважаючи на це, запропоновано змінити хімічний склад дизельного палива у складі ВР (від  $C_{13}H_{10}$  до  $C_{13}H_{23}$ ) та перерахувати кількість утворених газів.

Враховуючи хімічний склад досліджуваної ВР (ВР<sub>1</sub>) (Додаток Б), поступово змінювали хімічний склад дизельного палива. Відсотковий вміст кожної компоненти ВР<sub>1</sub>:

аміачна селітра (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) – 28,35 %;

дизельне паливо (C<sub>13</sub>H<sub>10</sub>) – 1,65 %;

емульсія пореміту – 70 %:

а) аміачна селітра (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) – 62 %,

б) натрієва селітра (NaNO<sub>3</sub>) – 16 %,

в) масло індустріальне (C<sub>12</sub>H<sub>28</sub>) – 5 %,

г) вода (H<sub>2</sub>O) – 15 %,

д) емульгатор (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>O<sub>6</sub>) – 2 %.

Для оцінки впливу ВР на навколишнє середовище проведено розрахунок величини КБ для ВР різного хімічного складу. Для визначення величини КБ ВР<sub>1</sub> розрахунок КБ проводився для кожної її складової окремо за формулою (5.1) [38]:

$$KB = ([d - (2 \cdot a + b/2)] \cdot 16) / M \cdot 100 \%, \quad (5.1)$$

де  $d$  – загальна кількість атомів кисню;

$2 \cdot a$  – число атомів кисню в CO<sub>2</sub>;

$b/2$  – число атомів кисню в H<sub>2</sub>O;

$M$  – молярна маса речовини, г/моль.

Сумарний КБ розраховувався з урахуванням відсоткового вмісту кожної складової ВР<sub>1</sub>. Розрахунок значення величини КБ для ВР<sub>1</sub> проводився за формулою (5.2):

$$KB = KB_1 \cdot P_1 + KB_2 \cdot P_2 + KB_n \cdot P_n, \quad (5.2)$$

де  $KB_1, KB_2, KB_n$  – кисневі баланси кожної складової ВР;

$P_1, P_2, P_n$  – вміст кожної складової.



Відповідно до (5.1) і (5.2) матимемо:

$$KB=20 \cdot 0,2835 - 298,7 \cdot 0,0165 + 20 \cdot 0,434 + 47 \cdot 0,112 - 353,5 \cdot 0,035 + 0 \cdot 0,105 - 114,28 \cdot 0,014 = 5,67 - 4,93 + 8,68 + 5,26 - 12,37 + 0 - 1,6 = +0,71 \%$$

Аналогічно проведено розрахунки величини КБ для ВР з різним хімічним складом дизельного палива. Результати розрахунків наведено в табл. 5.1.

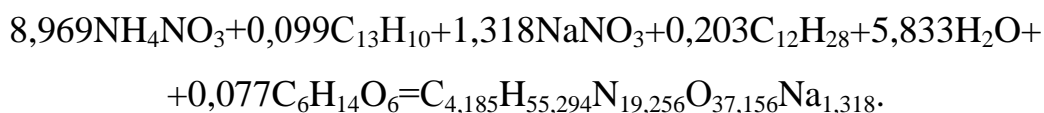
Таблиця 5.1– Розрахункова величина КБ для ВР з різним хімічним складом дизельного палива

Речовина	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>13</sub> H <sub>13</sub>	C <sub>13</sub> H <sub>17</sub>	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub>	C <sub>13</sub> H <sub>23</sub>
КБ, %	+0,71	+0,56	+0,38	+0,24	+0,11

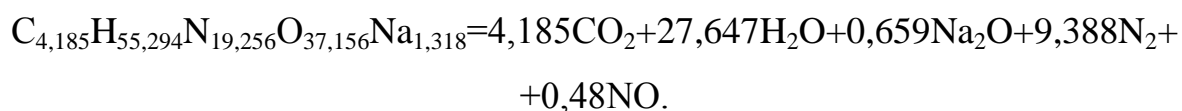
Отримані в результаті розрахунків величини КБ з позитивним знаком свідчать про те, що під час вибуху в атмосферу кар'єру виділятиметься NO.

Враховуючи умовний склад ВР<sub>1</sub>, а також молярні маси складових, визначено, що під час вибухового перетворення 1000 г ВР<sub>1</sub> у реакції прийматиме участь  $717,5/80 = 8,969$  моль/кг аміачної селітри,  $16,5/166 = 0,099$  моль/кг дизельного палива,  $112/85 = 1,318$  моль/кг натрієвої селітри,  $35/172 = 0,203$  моль/кг індустріального масла,  $105/18 = 5,833$  моль/кг води та  $14/182 = 0,077$  моль/кг емульгатора.

Отже, умовний склад 1 кг ВР<sub>1</sub>:

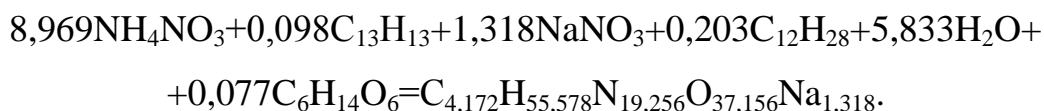


Таким чином, рівняння розкладу ВР<sub>1</sub>:

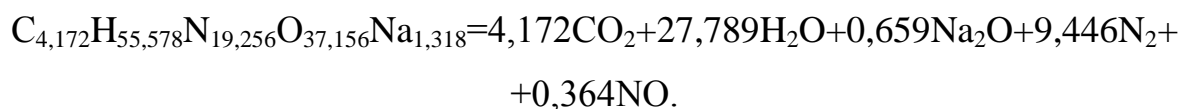


Як видно з реакції розкладу у продуктах вибуху міститься NO у кількості 0,48 моль, що становить  $22,4 \text{ л/моль} \cdot 0,48 \text{ моль} = 10,752 \text{ л}$  на 1 кг ВР. Кількість утворених під час вибуху газів за умови зміни хімічного складу дизельного палива у ВР розраховано на основі наступних рівнянь.

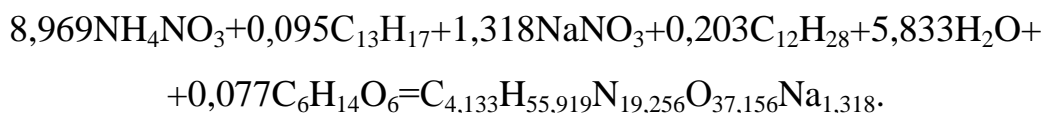
Умовний склад 1 кг ВР<sub>2</sub>, яка містить у своєму складі дизельне паливо C<sub>13</sub>H<sub>13</sub>:



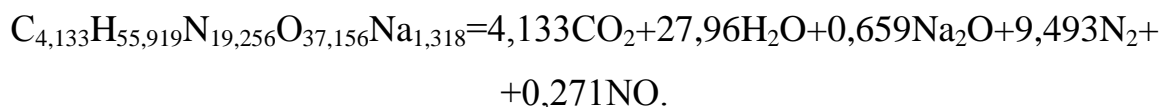
Рівняння розкладу ВР<sub>2</sub>:



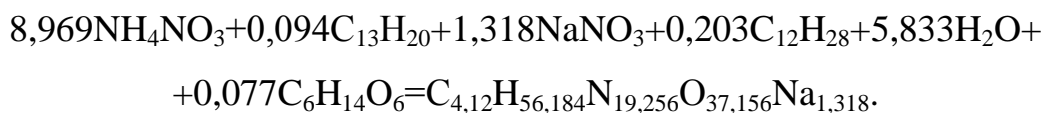
Умовний склад 1 кг ВР<sub>3</sub>, яка містить у своєму складі дизельне паливо C<sub>13</sub>H<sub>17</sub>:



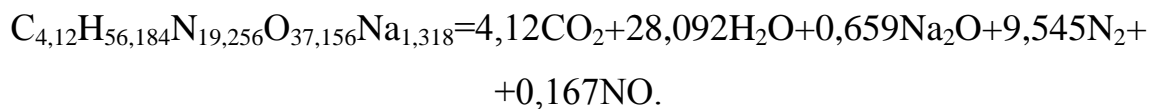
Рівняння розкладу ВР<sub>3</sub>:



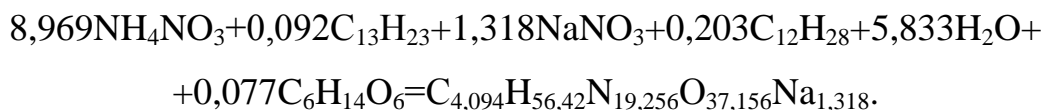
Умовний склад 1 кг ВР<sub>4</sub>, яка містить у своєму складі дизельне паливо C<sub>13</sub>H<sub>20</sub>:



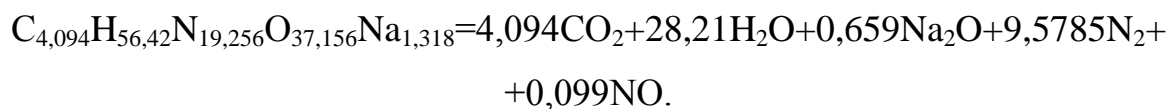
Рівняння розкладу ВР<sub>4</sub>:



Умовний склад 1 кг ВР<sub>5</sub>, яка містить у своєму складі дизельне паливо С<sub>13</sub>Н<sub>23</sub>:



Рівняння розкладу ВР<sub>5</sub>:



На основі отриманих в результаті розрахунків значень кількості утворених газів для кожної речовини побудовано графік залежності кількості утвореного NO від хімічного складу дизельного палива у ВР (рис. 5.1).

Аналіз рис. 5.1 дозволив встановити наступну закономірність: зміна хімічного складу ВР за рахунок зміни хімічного складу дизельного палива дає можливість змінити кількість утворених під час вибуху газів з 10,75 л NO на 1 кг ВР для дизельного палива С<sub>13</sub>Н<sub>10</sub> до 2,22 л NO на 1 кг ВР для дизельного палива С<sub>13</sub>Н<sub>23</sub> [311].

Окрім зменшення негативного впливу на екосистему гірничовидобувного регіону актуальним залишається питання економічної доцільності запропонованих рішень. Знаючи середнє значення питомої

витрати ВР під час проведення масового вибуху, кількість проведених вибухів на рік, кількість утворених газів та ставки екологічного податку, можливо розрахувати суму екологічного податку, яку повинно сплатити підприємство. Значення питомої витрати ВР прийнято як  $1,03 \text{ кг/м}^3$  [312], а розрахунки наведено для Омелянівського кар'єру – потужної сировинної бази, що забезпечує потреби заводів ПБГ «Ковальська» необхідним об'ємом високоякісного кубовидного гранітного щебеню, виробнича потужність якого складає  $750\,000 \text{ м}^3/\text{рік}$ . Враховуючи те, що на руйнування  $1 \text{ м}^3$  гірської маси необхідно витрати  $1,03 \text{ кг ВР}$ , обчислено, що витрати ВР на рік складатимуть  $772\,500 \text{ кг}$ .



Рисунок 5.1 – Закономірність зміни кількості утвореного Нітроген (II) оксиду під час вибуху від хімічного складу дизельного палива у вибуховій речовині

Результати вище наведених розрахунків показали, що за умов використання  $1 \text{ кг ВР}$ , у складі якої міститься дизельне паливо  $\text{C}_{13}\text{H}_{10}$ , утворюється  $10,75 \text{ л NO}$ , таким чином, за умов використання  $772\,500 \text{ кг}$  даної ВР за рік утвориться  $8\,304\,375 \text{ л}$  або  $11,12 \text{ т NO}$ . За умов використання  $1 \text{ кг ВР}$ , у складі якої міститься дизельне паливо  $\text{C}_{13}\text{H}_{23}$ , утворюється  $2,22 \text{ л NO}$ , тому за умов використання  $772\,500 \text{ кг}$  даної ВР за рік утвориться  $1\,714\,950 \text{ л}$  або  $2,29 \text{ т NO}$ .

Обсяги викидів Нітроген (II) оксиду внаслідок детонації ВР, у складі якої міститься дизельне паливо  $C_{13}H_{10}$ , і ВР із дизельним паливом  $C_{13}H_{23}$ , а також ставки екологічного податку [313] за забруднення атмосферного повітря наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Обсяги викидів Нітроген (II) оксиду за умов використання ВР різного хімічного складу

Забруднююча речовина	Обсяг викидів NO за умов використання дизельного палива $C_{13}H_{10}$ у складі ВР, т/рік	Обсяг викидів NO за умов використання дизельного палива $C_{13}H_{23}$ у складі ВР, т/рік	Ставка екологічного податку, грн/т
Нітроген (II) оксид	11,12	2,29	2451,84

Сума екологічного податку [313], який справляється за викиди в атмосферне повітря в результаті вибуху ВР, у складі якої міститься  $C_{13}H_{10}$ :

$$P_1 = 11,12 \cdot 2451,84 = 27\,264,46 \text{ грн.}$$

Сума податку, який справляється за викиди в атмосферне повітря в результаті вибуху ВР, у складі якої міститься  $C_{13}H_{23}$ :

$$P_2 = 2,29 \cdot 2451,84 = 5\,614,71 \text{ грн.}$$

Після впровадження запропонованого рішення:

$$\Delta P = 27\,264,46 - 5\,614,71 = 21\,649,75 \text{ грн.}$$

Зміна хімічного складу ВР за рахунок зміни хімічного складу дизельного палива в діапазоні від  $C_{13}H_{10}$  до  $C_{13}H_{23}$  дозволить не лише зменшити кількість утворених в результаті вибуху шкідливих газів, але й знизити суму екологічного податку для підприємства на 21 649,75 грн на рік.

## 5.2 Оцінка трансформації енергії вибуху в масив скельних порід зарядами вибухової речовини

Ефективність вибухового руйнування скельних гірських порід визначається природними і технологічними чинниками, зокрема ступенем передачі енергії ВР в масив. Водночас необхідно щоб витримувалась умова раціонального співвідношення між фізико-технічними властивостями порід (міцність, блочність, обводненість та ін.) та енергетичними і детонаційними характеристиками ВР [314].

Рішення задачі управління якістю вибухового дроблення скельних порід включає не лише вибір ВР та конструкції заряду, але й інших проектних параметрів, що зумовлюють раціональний розподіл енергії вибуху в масиві. У практиці відкритих гірничих робіт ця задача значно ускладнюється через високу неоднорідність фізичних і міцнісних властивостей скельних порід не лише в межах площі кар'єрного поля, але навіть і в об'ємі блоку, що руйнується серією зарядів ВР. Окрім цього, в однакових гірничо-технічних умовах застосування ВР з різним енергетичним потенціалом може призводити до однакових або навіть до обернено пропорційних показників ПР [115]. Результати проведених досліджень показали, що під час вибухового руйнування вапняків зарядами Ігданіта і потужнішими зарядами Алюмотола втрати корисної копалини змінюються, відповідно до ВР, від 20–25 % до 40–50 %. Це пояснюється умовами трансформації енергії вибуху, що залежать від дисперсності і щільності ВР, параметрів детонаційного процесу, властивостей і будови порід, що руйнуються. Дослідженнями [315] встановлено, що за однакового ступеню дроблення і однакової тріщинуватості гірських порід витрати енергії вибуху змінюються у 1,5 рази залежно від міцності порід. Водночас за постійної міцності порід витрати енергії змінюються у 3,5 рази залежно від ступеня блочності.

Наведені вище дані свідчать про складність управління енергією вибуху в неоднорідних масивах скельних порід, що зумовлює у ряді випадків значні матеріальні втрати. Показано [115], що корисна форма роботи вибуху становить іноді менше 1–2 % його потенційної енергії, а втрати енергетичних і матеріальних ресурсів можуть досягати 70 %.

Слід зазначити, що під час використання різних типів ВР у конструкціях зарядів в процесі руйнування скельних порід доцільним є зіставлення енергії, що трансформується в гірничий масив, за певними критеріями оцінки.

На даний час, у зв'язку з розширенням асортименту ВР, особливо найпростіших багатокomпонентних місцевого приготування, що набули широкого поширення на гірничовидобувних підприємствах, необхідний вибір найбільш ефективних типів для конкретних гірничотехнологічних умов. Водночас актуальним є встановлення залежностей передачі енергії вибуху в масив гірських порід, що руйнується, від основних чинників, що впливають на процес, для підвищення ефективності проведення ПР.

У процесі руйнування гірських порід енергією вибуху зарядів ВР істотну роль відіграють хвилі напруження, якими близько 50 % енергії передається у гірничий масив [316]. В той же час характер руйнування масиву, за інших рівних умов, залежить від параметрів імпульсу вибуху, змінюючи які, можна управляти енергією вибуху.

Для кількісної оцінки енергії вибуху, переданої в масив гірських порід, запропоновано ряд аналітичних залежностей, наведених у роботах [115], [314], [315], [317]–[319]. У ряді випадків ці залежності отримано на основі результатів експериментальних досліджень [317], [318].

У роботі [320] для Гранулотолу з теплою вибуху  $Q=3642$  кДж/кг і Карбатолу з  $Q=5684$  кДж/кг наведено розрахунок коефіцієнта передачі енергії вибуху  $\eta$ . Отримані значення  $\eta$ , відповідно до вказаних типів ВР, дорівнюють 0,164 і 0,422. Використовуючи даний підхід, розраховано значення  $\eta$  для комбінованих зарядів, де по їх довжині чергуються різні типи

ВР [321]. Показано, що під час підривання зарядів Амоніту 6ЖВ і Грамоніту 50/50 величина  $\eta$  змінюється в межах від 0,058 до 0,068, Амоніту 6ЖВ та Ігданіту – від 0,061 до 0,06, Алюмотолу і Грамоніту 79/21 – від 0,064 до 0,085.

Для теоретичної оцінки передачі енергії вибуху в масив гірських порід під час застосування сипучих багатокомпонентних ВР місцевого приготування використано залежність  $\eta$  від характеристик породи та вибухової речовини [320]:

$$\eta = 2\mu(1-\mu)^{-1} \ln \bar{r}_k [\ln(1-\mu)/(1-2\mu)]^{-1},$$

де  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона породи;

$\bar{r}_k$  – безрозмірний кінцевий радіус порожнини ( $\bar{r}_k = 1 + \rho_{BP} Q r_0^2 / \rho_n C_n^2$ ,  $\rho_{BP}$  – щільність заряджання, кг/м<sup>3</sup>;  $Q$  – теплота вибуху, Дж/кг;  $r_0$  – початковий радіус зарядної порожнини, м), табл. 5.3;

$\rho_n$  – щільність гірської породи, кг/м<sup>3</sup>;

$C_n$  – швидкість повздовжньої хвилі у породі, м/с, табл. 5.4.

Таблиця 5.3 – Значення показників ВР для розрахунку  $\eta$  [309], [322]

Показник	Грамоніт 79/21	Комполайт ГС-6	Полімікс ГР4-Т10	Анемікс	Україніт-ПН	ЕРА-А	Гранеміт
$\rho_{BP}$ , кг/м <sup>3</sup>	950	872	852	1100	1250	1100	1350
$Q$ , кДж/кг	4312,4	3864,4	3919,7	3333,3	2937,5	3575	3208,3
$\rho_{BP} Q$ , ГДж/м <sup>3</sup>	4,1	3,37	3,34	3,67	3,67	3,93	4,33

Для 7 типів ВР місцевого приготування (табл. 5.3), що використовуються під час ПР, розраховано значення  $\eta$  (табл. 5.5). Типи ВР



характеризувались теплою вибуху і щільністю, що змінювались у межах, відповідно, від 2937,5 кДж/кг до 4312,4 кДж/кг і від 852 кг/м<sup>3</sup> до 1350 кг/м<sup>3</sup>. Початкова об'ємна концентрація енергії ( $E=\rho_{BP}Q$ , ГДж/м<sup>3</sup>) цих ВР змінювалась в межах від 3,34 ГДж/м<sup>3</sup> до 4,33 ГДж/м<sup>3</sup>. В якості порід прийнято 6 типів, що розробляються в умовах нерудних кар'єрів (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Значення показників гірських порід для розрахунку  $\eta$  [323]

Показник	Габро	Базальт	Граніт	Залізистий кварцит	Вапняк	Діабаз
$\mu$	0,26	0,22	0,29	0,17	0,27	0,23
$\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>	2900	2860	2780	3000	2600	3020
$C_n$ , м/с	6250	5400	4350	5600	4550	6300
$\rho_n C_n^2$ , кг/м·с <sup>2</sup>	113,28	83,4	52,61	94,08	53,83	119,86

Залежність  $\eta$  від  $E$  і  $z$  ( $z=\rho_n C_n^2$ , кг/м·с<sup>2</sup>) наведено в табл. 5.5, а графічну інтерпретацію  $\eta =f(E, z)$  показано на рис. 5.2 і 5.3.

Таблиця 5.5 – Розрахункові значення  $\eta$  для різних типів ВР та гірських порід

Тип порід/ВР	Граніт 79/21	Комп-лайт ГС-6	Полімікс ГР4-Т10	Анемікс	Україніг-ПН	ЕРА-А	Граніт
Габро	0,057	0,048	0,046	0,051	0,051	0,056	0,061
Базальт	0,081	0,067	0,067	0,073	0,073	0,078	0,086
Граніт	0,117	0,097	0,095	0,105	0,105	0,113	0,123
Залізистий кварцит	0,083	0,068	0,068	0,074	0,074	0,079	0,087
Вапняк	0,117	0,098	0,096	0,105	0,105	0,113	0,123
Діабаз	0,056	0,046	0,046	0,051	0,051	0,055	0,06

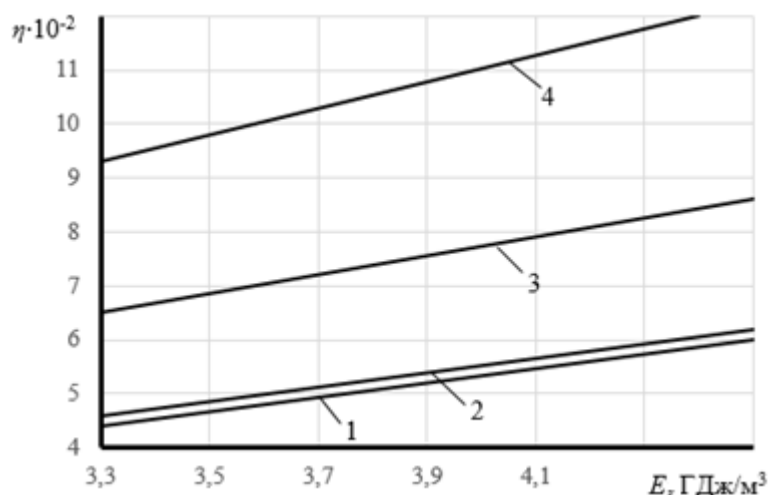
Із аналізу рис. 5.2 видно, що зі збільшенням  $E$  значення  $\eta$  збільшуються. Мінімальна величина  $\eta$  спостерігається під час підривання зарядів у діабазі і габро, а максимальна – у гранітах та вапняках, і

змінюється, відповідно, від 0,046–0,061 (рис. 5.2, залежності 1 і 2) до 0,095–0,123 (залежність 4). Під час вибухового руйнування базальтів і залізистих кварцитів значення  $\eta$  займають проміжне положення і змінюються від 0,067 до 0,086 (залежність 3). Залежність  $\eta=f(E)$  підпорядковується лінійному закону і апроксимується рівнянням виду  $\eta=aE+b$  з відповідними коефіцієнтами регресії:

Залежність	1	2	3	4
$a$	1,33	1,33	1,75	2,45
$b$	0,2	0	0,73	1,2

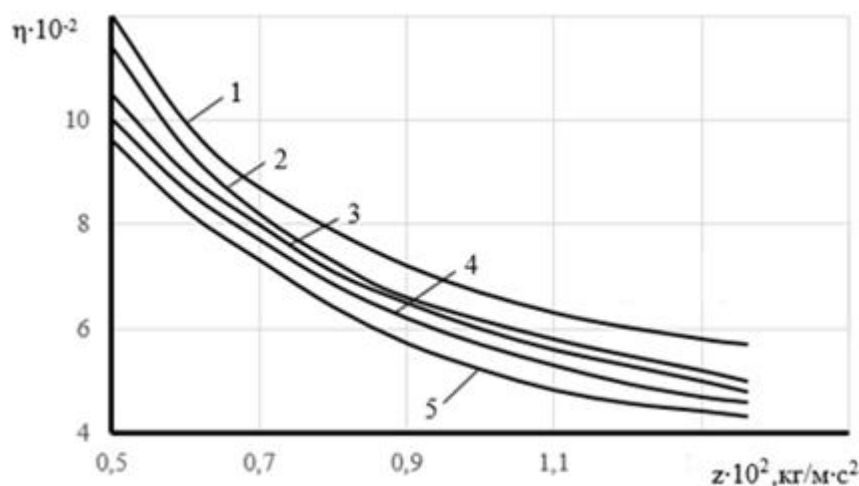
Залежність  $\eta=f(z)$  для досліджуваних типів ВР носить криволінійний характер (рис. 5.3) і описується рівнянням виду  $\eta=az^3+bz^2+cz+d$  з коефіцієнтами регресії:

Залежність	1	2	3	4	5
$a$	-14,38	-14,28	-8,3	-4,99	-3,45
$b$	50,17	49,2	30,28	20,68	17,21
$c$	-60,65	-59,24	-39,86	-30,85	-28,55
$d$	31,51	30,46	23,87	20,85	19,99



1 – діабаз; 2 – габро; 3 – базальт, залізистий кварцит; 4 – граніт, вапняк

Рисунок 5.2 – Залежність коефіцієнта передачі енергії  $\eta$  від початкової об'ємної концентрації енергії вибуху  $E$



1 – Гранеміт; 2 – Грамоніт 79/21; 3 – Анемікс, Україніт-ПН;  
4 – Ера-А; 5 – Комполайт ГС-6, Полімікс ГР4-Т10

Рисунок 5.3 – Залежність коефіцієнта передачі енергії  $\eta$  від акустичної жорсткості порід  $z$  для умов підривання зарядів ВР місцевого приготування

Із аналізу рис. 5.3 видно, що зі збільшенням акустичної жорсткості  $z$  від  $52,61 \text{ кг/м}\cdot\text{с}^2$  до  $119,86 \text{ кг/м}\cdot\text{с}^2$  значення  $\eta$  зменшуються для групи ВР, що розглядаються, в середньому від 0,11 до 0,05. Максимальні значення  $\eta$  спостерігаються під час підривання зарядів Гранеміта та Грамоніта 79/21 (залежності 1 і 2), а мінімальні – в процесі підривання Комполайтів і Поліміксів. В загальному випадку зі збільшенням акустичної жорсткості порід у 2,3 рази значення  $\eta$  зменшуються у 2,2 рази [324].

5.3 Розробка підходу щодо вибору типу вибухової речовини з позиції екологічної безпеки та ресурсозбереження

На сьогоднішній день енергія вибуху досить широко використовується для проведення відкритих гірничих робіт на території України. Широкий асортимент ВР різного хімічного складу дає можливість вибору серед них тих, які найбільше задовільнятимуть конкретні умови.

До останнього часу більшість вибухових робіт в Україні проводилась з використанням тротилу (тринітротолуолу) і ВР, що містять тротил, – амонітів

і амоналів. Тим часом застосування тротилу в цивільних цілях заборонено практично в усьому світі (крім країн СНД): у США останній завод із виробництва промислового тринітротолуолу закрито кілька десятиліть тому.

За шкідливістю впливу на організм людини тротил належить до високонебезпечних речовин (потрапляючи в організм, навіть через неушкоджену шкіру, викликає онкологічні захворювання, катаракту, уражає печінку). Не менш небезпечними є й ПВ тринітротолуолу, основна частина яких – чадний газ (CO). Альтернативою тринітротолуолу в усьому світі служать ЕВР. Вони абсолютно безпечні в процесі зберігання (готуються безпосередньо на місці вибуху шляхом змішування кількох компонент), менш екологічно небезпечні (добре збалансовані за вмістом кисню й розкладаються майже повністю) та економічно вигідні.

Зважаючи на небезпечність подальшого застосування тротиловмісних ВР, постає необхідність не лише пошуку, вивчення, розроблення та виробництва ВР нового складу, який дозволить зробити підривні гірничі роботи безпечними та економічно вигідними, а й розроблення підходу щодо вибуру найбільш безпечних з екологічної точки зору ВР серед уже відомих [214].

Забруднення навколишнього середовища під час ПР відбувається через виділення шкідливих газів і пилу з ПГХ і газів з підірваної гірської маси. Основними шкідливими газами під час вибуху сучасних промислових ВР є оксиди Карбону  $CO_x$  та оксиди Нітрогену  $NO_x$ .

Відомо, що в процесі роботи всього устаткування кар'єру утворюється в три рази менше газів ніж під час здійснення одного масового вибуху. У зв'язку з цим оцінювання об'ємів шкідливих газів, що розповсюджуються з ПГХ, їх поширення в атмосфері кар'єру і прилеглої території під час масових вибухів залежно від характеристик ВР набуває особливої актуальності.

На сьогодні основними критеріями екологічної безпечності ВР вважаються висота ПГХ з урахуванням термічної стратифікації атмосфери та її об'єм. Під час розрахунку даних критеріїв враховуються сухоадіабатичний

і вертикальний градієнти температури в шарі атмосфери, прискорення вільного падіння, температура ПГХ і навколишнього середовища, стала Кармана, характерний вертикальний масштаб турбулентної пульсації, час після вибуху, швидкість динамічного тертя, швидкість виходу ПД (визначається за формулою Мінделі), швидкість детонації ВР в заряді, довжина забійки, довжина заряду, об'ємна маса забійки, об'ємна маса ВР, коефіцієнт, що враховує взаємодію тіла, що метається, із стінками висаджуваної породи, ширина та довжина блоку, що підривається, кут між напрямком руху повітряного потоку та великою віссю еліпса в перерізі ПГХ.

Оцінку небезпечності ВР для навколишнього середовища можна провести і за кількістю утворених внаслідок масового вибуху шкідливих газів. Однак, на думку автора [178], сама по собі кількість утворених газів не несе у собі інформації щодо дійсного впливу викидів на навколишнє середовище. Тому в роботі [178] запропоновано задатись певним параметром, за допомогою якого можна було б характеризувати ВР з точки зору екологічної безпеки і співставляти отримані результати для виділення менш та більш екологічно безпечних ВР. В якості такого параметру пропонується використовувати концентрацію шкідливих газів на момент формування ПГХ під час проведення масового вибуху.

Цей показник можна визначити, використовуючи формулу [178]:

$$C_{шг} = \frac{M_{сум}}{V_{ПГХ}},$$

де  $C_{шг}$  – концентрація шкідливого газу в ПГХ на момент її формування (від 60 с до 120 с), мг/м<sup>3</sup>;

$M_{сум}$  – сумарна маса викиду шкідливого газу, мг;

$V_{ПГХ}$  – об'єм ПГХ на момент її формування після вибуху, м<sup>3</sup>.

Сумарна маса викиду шкідливого газу:

$$M_{\text{сум}} = m_{\text{шг}} M_{\text{ВРсум}} \cdot 10^{-3},$$

де  $m_{\text{шг}}$  – питомий викид шкідливого газу під час підривання 1 кг ВР, мг/кг;

$M_{\text{ВРсум}}$  – сумарна маса ВР, що підривається, в процесі масового вибуху, кг.

$$m_{\text{шг}} = \nu_{\text{шг}} M_{\text{шг}},$$

де  $\nu_{\text{шг}}$  – кількість шкідливого газу, що виділяється під час вибухового перетворення 1 кг ВР (визначається за рівнянням вибухового перетворення), моль;

$M_{\text{шг}}$  – молярна маса шкідливого газу, г/моль.

Однак такий підхід не є коректним, оскільки не враховує матеріал забійки та його здатність адсорбувати утворені внаслідок вибуху газу. Більш доцільним та раціональним може бути комплексний підхід щодо вибору ВР у поєднанні з забійковим матеріалом за наступним алгоритмом (рис. 5.4).

На першому етапі здійснюється вибір за коефіцієнтом передачі енергії вибуху в масив, на другому – відбувається, за можливості, коригування хімічного складу ВР без зміни рецептури, на третьому – підбирається відповідний тип забійкового матеріалу, на четвертому етапі – за наявності альтернативних ВР проводиться їх порівняльна оцінка за впливом на довкілля з урахуванням матеріалів забійки, на п'ятому – проводиться оцінка за економічними показниками.

Водночас оцінку впливу ВР на навколишнє середовище пропонується здійснювати за концентрацією шкідливих газів у ПГХ, розрахованій з урахуванням газів, поглинутих забійкою:

$$C_{\text{шг}} = \frac{M_{\text{сум}} - M_{\text{погл.г.}}}{V_{\text{ПГХ}} - V_{\text{погл.г.}}},$$

де  $M_{\text{погл.г.}}$  – маса газів, поглинутих забійкою, кг;

$V_{\text{погл.г.}}$  – об'єм поглинутих забійкою газів, м<sup>3</sup>.

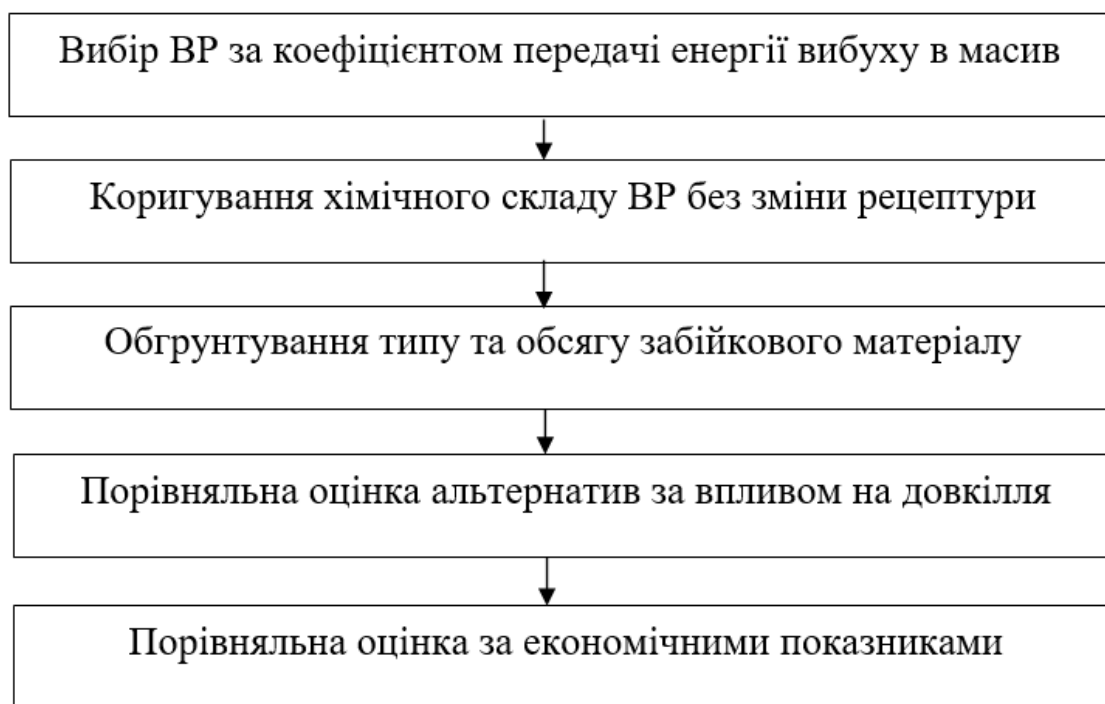


Рисунок 5.4 – Алгоритм вибору вибухових речовин

З метою підвищення економічних та водночас екологічних показників ГПК з виробництва щебеню удосконалено науково-методичний підхід щодо вибору ВР на підставі рішення задачі оптимізації, де в якості функції приймається прибуток підприємства, який залежить від витрат на закупівлю ВР ( $B_{BP}$ ), величини сплати екологічного податку ( $EP$ ) за забруднення атмосферного повітря шкідливими газами, витрат на закупівлю адсорбента (в забійку свердловини) ( $B_{ad}$ ) та доходу підприємства від продажу щебеню ( $D$ ), який в свою чергу залежить від величини коефіцієнта трансформації енергії вибуху в масив ( $\eta$ ).

Функція:

$$D - (B_{BP} + B_{ad} + EP) \rightarrow \max,$$

з обмеженнями:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{ад} \leq EP \\ \frac{V_{BP}}{2C_{BP}\rho_{BP}} = \frac{3V_{ад}}{C_{ад}\rho_{ад}} \\ \frac{EP}{P_2 m_2} = \frac{V_{BP}}{C_{BP}} \end{array} \right.$$

де  $C_{BP}$  – ціна 1 кг ВР, грн;

$\rho_{BP}$  – щільність ВР, кг/м<sup>3</sup>;

$C_{ад}$  – ціна 1 кг адсорбента для забійки, грн;

$\rho_{ад}$  – щільність адсорбента, кг/м<sup>3</sup>;

$P_2$  – ставка податку за відповідною забруднюючою речовиною, грн/кг;

$m_2$  – маса шкідливих газів з 1 кг вибухової речовини, кг.

Підставляючи показники кожної із альтернативних ВР та запропонованого забійкового матеріалу, з урахуванням системи обмежень, можна за допомогою симплекс-методу розрахувати очікуваний прибуток за використання кожної ВР. Порівняння величин отриманих прибутків дозволить обрати найбільш оптимальну ВР як з позиції економічної ефективності, так і екологічної безпеки.

## Висновки до розділу 5

1. З метою зменшення кількості утворюваних у результаті вибуху газів запропоновано, за можливості, коригувати хімічний склад ВР без зміни рецептури. Встановлено закономірність зміни кількості утвореного Нітроген (II) оксиду під час вибуху від хімічного складу дизельного палива у ВР. Зміна хімічного складу дизельного палива дає можливість змінити величину КБ і, відповідно, кількість утворених під час вибухів газів з 10,75 л NO на 1 кг ВР



для дизельного палива  $C_{13}H_{10}$  до 2,22 л NO на 1 кг ВР для дизельного палива  $C_{13}H_{23}$ , що у 5 разів менше.

2. Проведено кількісну оцінку коефіцієнта передачі енергії вибуху в масив гірських порід для різних типів ВР. Коефіцієнт передачі енергії вибуху ВР запропоновано використовувати під час вибору ВР з метою підвищення ефективності процесу вибухового руйнування.

3. Запропоновано підходи щодо оцінки впливу ВР на навколишнє середовище та щодо вибору ВР для проведення вибухових робіт у кар'єрах. Підхід щодо оцінки впливу ВР на навколишнє середовище відрізняється тим, що оцінка здійснюється за концентрацією шкідливих газів у ПГХ, розрахованою з урахуванням газів, поглинутих забійкою.

4. Розроблений підхід щодо вибору ВР у поєднанні з забійковим матеріалом відрізняється від відомих тим, що на першому етапі здійснюється вибір за коефіцієнтом передачі енергії вибуху в масив, на другому – відбувається за можливості коригування хімічного складу ВР без зміни рецептури, на третьому – підбирається відповідний тип забійкового матеріалу, на четвертому етапі – за наявності альтернативних ВР проводиться їх порівняльна оцінка за впливом на довкілля з урахуванням матеріалів забійки, на п'ятому – проводиться оцінка за економічними показниками.

5. З метою забезпечення високих економічних та екологічних показників діяльності підприємств запропоновано підхід щодо вибору ВР на основі рішення задачі оптимізації. В якості критерія оптимізації прийнято прибуток підприємства, як функцію, що залежить від доходу підприємства від продажу щебеню, витрат на закупівлю ВР, витрат на закупівлю адсорбента для забійки свердловин та величини сплати екологічного податку.

Результати проведених досліджень опубліковані у роботах [208], [214], [311], [324].

## **РОЗДІЛ 6 НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ ТА НАПРЯМКУ ВІДБІЙКИ ПІД ЧАС ВИДОБУТКУ СКЕЛЬНИХ ПОРІД З МЕТОЮ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**

6.1 Цільова оцінка тріщинуватості і блочності гірничого масиву скельних порід під час проведення вибухових робіт у кар'єрах

Прогрес в галузі управління енергією вибуху в процесі розробки родовищ корисних копалин, представлених скельними породами з різними фізико-механічними властивостями і структурними особливостями, пов'язаний з ціленаправленим досягненням необхідної якості продукції, що випускається. Позитивне вирішення цього завдання нерозривно пов'язане з дослідженнями властивостей і будови гірничого масиву з подальшим урахуванням отриманих результатів під час проектування параметрів вибухових робіт. Водночас цільовий підхід до удосконалення управління параметрами вибухових робіт повинен враховувати головну мету роботи кожного підприємства (кар'єру, розрізу) – досягнення високих показників за усіма технологічними операціями і по підприємству в цілому відповідно до встановлених планів.

Одним із основних і початкових етапів в удосконаленні технологій вибухових робіт є районування кар'єрних полів за вибуховістю на основі вивчення геологічної будови масиву гірських порід і його фізико-механічних властивостей. Використання отриманих даних під час складання класифікацій за вибуховістю і в процесі проектування параметрів вибухових робіт повинно сприяти підвищенню якості гірської маси в кар'єрі, а також щебеню на каменедробильному заводі. Очевидний спосіб підвищення показників якості продукції – це проведення масових вибухів у кожній встановленій зоні видобувного горизонту кар'єру з характерними для неї значеннями параметрів ПР, розрахованими з урахуванням будови масиву та

властивостей порід. Відомі методики [325]–[327] визначення характеристик гірничого масиву за середніми розмірами практично одного параметра (відстані між тріщинами) виключають диференціацію масиву за складністю будови, яку з позиції впливу вибуху на масив можна характеризувати декількома показниками. Окрім того, в зазначених класифікаціях межі між категоріями порід визначено за неявним принципом – можливим розміром природних окремоностей, орієнтованим на узагальнений ланцюжок механізмів технологічної схеми кар'єру. Такий підхід до оцінки властивостей і будови масиву гірських порід ускладнює розрахунки під час проектування параметрів масових вибухів.

Ефективність оптимізації параметрів вибухових робіт на стадії їх проектування в значній мірі залежить від достовірності оцінки властивостей і будови гірничого масиву. Відомі методики [325]–[332] не містять рекомендацій з урахування низки характеристик блочності та тріщинуватості як фізично самостійних чинників. У зв'язку з цим виникає необхідність блочність масиву гірських порід додатково характеризувати розміром, формою та орієнтацією блоків (табл. 6.1). Орієнтуючись на універсальність значень, що використовуються під час розрахунків параметрів вибухових робіт, запропоновано усі блоки в масиві гірських порід ділити на чотири класи за крупністю: дрібний ( $d_{др}$ ), кондиційний ( $d_k$ ), крупний ( $d_{кр}$ ) та негабаритний ( $d_n$ ) [333].

Оцінюючи вихід підірваної гірської маси такими ж класами крупності шматків, можна визначити фактичну міру дроблення і ефективність того чи іншого способу вибухових робіт.

Форму природних окремоностей можна класифікувати за співвідношенням взаємно перпендикулярних лінійних розмірів. У цьому випадку виділено три класи:

- симетричний, за різниці у розмірах не більше ніж 1,5 рази;
- з односторонньою симетрією – один розмір відрізняється від решти більш ніж у 1,5 рази;

– асиметричний – усі розміри відрізняються один від одного більше ніж у 1,5 рази.

Таблиця 6.1 – Класифікація та схема визначення категорії блоків (природних окремоостей) у масиві гірських порід [333]

Параметри	Класи і схема визначення категорії			
Розмір	Дрібний $0 < d_{др} < d_k^н$	Кондиційний $d_k^н \leq d_k \leq d_k^в$	Крупний $d_k^в < d_{кр} \leq d_{кр}^в$	Негабаритний $d_{кр}^в < d_n$
Коди	1	2	3	4

Форма	Симетрична $d_I \cong d_{II} \cong d_{III}$ (різниця в межах 50%)	Односторонньо асиметрична $d_I \cong d_{II} \neq d_{III}$ (різниця більше 50%)	Асиметрична $d_I \neq d_{II} \neq d_{III}$ (різниця більше 50%)
Коди	1	2	3

Орієнтація	Площиною $\alpha_1 \leq 30^\circ$	Ребром $\alpha_{1,2} \leq 30^\circ$	Вершиною $\alpha_{1,2,3} \leq 30^\circ$
Коди	1	2	3

$B_{3,1,2}$

Примітка.  $d_{др}$ ,  $d_k$ ,  $d_{кр}$ ,  $d_n$  – розмір блока відповідного класу за крупністю;  $d_k^н$ ,  $d_k^в$  – нижня і верхня межа розмірів кондиційних класів;  $d_I$ ,  $d_{II}$ ,  $d_{III}$  – розміри блоків між протилежними гранями в різних (I, II, III) вимірах;  $\alpha_1$ ,  $\alpha_{1,2}$ ,  $\alpha_{1,2,3}$  – кут між фронтом УХ і однією, двома і трьома гранями блока

Орієнтація окремоостей відносно напрямку поширення вибухової хвилі впливає на характер руйнування масиву по причині різної опірності динамічному навантаженню. Для цього випадку виділено три класи: окремість відносно фронту вибухової хвилі орієнтована площиною, ребром або вершиною. Для асиметричних блоків в якості орієнтуючих слід приймати площину або ребро з великими розмірами. Орієнтація окремості площиною приймається за умов співвідношення її з фронтом вибухової хвилі не більше

ніж на  $30^\circ$ . За умов співвідношення більше ніж  $30^\circ$  фронт хвилі попадає на ребро або вершину окремої.

Така класифікація дозволяє віднести окремість (блок) до однієї із 36 категорій ( $4 \times 3 \times 3$ ). Масив гірських порід характеризується наявністю окремої декількох категорій. Наявність у ньому окремої однієї категорії мало ймовірна.

Запропонована оцінка гірничого масиву за блочністю пов'язана з виділенням за структурою однорідних зон. Розрізняти зони можна за значенням наступних оціночних показників:

- кількістю категорій окремої, що складають масив;
- варіацією значень параметрів окремої;
- середнім значенням параметрів окремої і т.д.

Для символічного запису категорій природних окремої класи параметрів пропонується нумерувати за крупністю ( $i$ ): 1 – дрібний, 2 – кондиційний, 3 – крупний, 4 – негабаритний; за формою ( $j$ ): 1 – симетричний, 2 – односторонньо симетричний, 3 – асиметричний; за орієнтацією ( $\alpha$ ): 1 – площиною, 2 – ребром, 3 – вершиною. Тоді запис категорії згідно з правилами кодування буде мати вигляд  $B_{ija}$ . Наприклад,  $B_{1,2,3}$  – блок дрібного класу, односторонньо асиметричний, орієнтований вершиною (табл. 6.1). Таке кодування полегшує визначення категорії за записом візуально і дозволяє використовувати її в разі автоматизованих розрахунків.

Тріщинуватість гірничого масиву характеризується мірою розкриття тріщин, відстанями між ними у кожній системі тріщин, орієнтацією за простяганням і кутом падіння площини тріщин (табл. 6.2). Виділено три класи: тріщини з жорстким контактом їх площин, тріщини з нежорстким контактом окремої і відсутність контакту. Дані про відстані між тріщинами необхідні для визначення їх кількості. Масив гірських порід оцінюється показником тріщинуватості ( $V$ ) по кожній системі тріщин. Класифікуються ці показники відповідно до класу окремої за крупністю:

- вельми тріщинуваті  $v_{\epsilon} = 1/d_{\kappa}^H$ ;
- тріщинуваті  $1/d_{\kappa}^H \geq v_m \geq 1/d_{\kappa}^{\epsilon}$ ;
- середньотріщинуваті  $1/d_{\kappa}^{\epsilon} > v_{cp} \geq 1/d_{\kappa p}^{\epsilon}$ ;
- слаботріщинуваті  $v_c < 1/d_{\kappa p}^{\epsilon}$ .

Простягання тріщин зумовлює вибір оптимального напрямку відбійки (за величиною азимута простягання тріщин). Кут падіння площини тріщин зумовлює вибір конструкції заряду, кут нахилу свердловин і тип ВР.

Таблиця 6.2 – Класифікація і схема визначення категорії тріщин у масиві гірських порід [333]

Параметри	Класи (значення параметра) і схема визначення категорії		
Міра розкриття	Жорсткий контакт	Нежорсткий контакт	Відсутність контакту
Коди	1	2	3

Тріщинуватість	Вельми тріщинуваті	Тріщинуваті	Середньотріщинуваті	Слабо тріщинуваті
	$v_{\epsilon} > \frac{1}{d_{\kappa}^H}$	$\frac{1}{d_{\kappa}^H} \geq v_m > \frac{1}{d_{\kappa}^{\epsilon}}$	$\frac{1}{d_{\kappa}^{\epsilon}} > v_{cp} \geq \frac{1}{d_{\kappa p}^{\epsilon}}$	$v_c < \frac{1}{d_{\kappa p}^{\epsilon}}$
Коди	1	2	3	4

Орієнтація за простяганням	$\alpha_m = 0^{\circ} - 180^{\circ}$
----------------------------	--------------------------------------

Кут падіння площини тріщин	$\beta_m = 90^{\circ} - 0^{\circ}$
----------------------------	------------------------------------

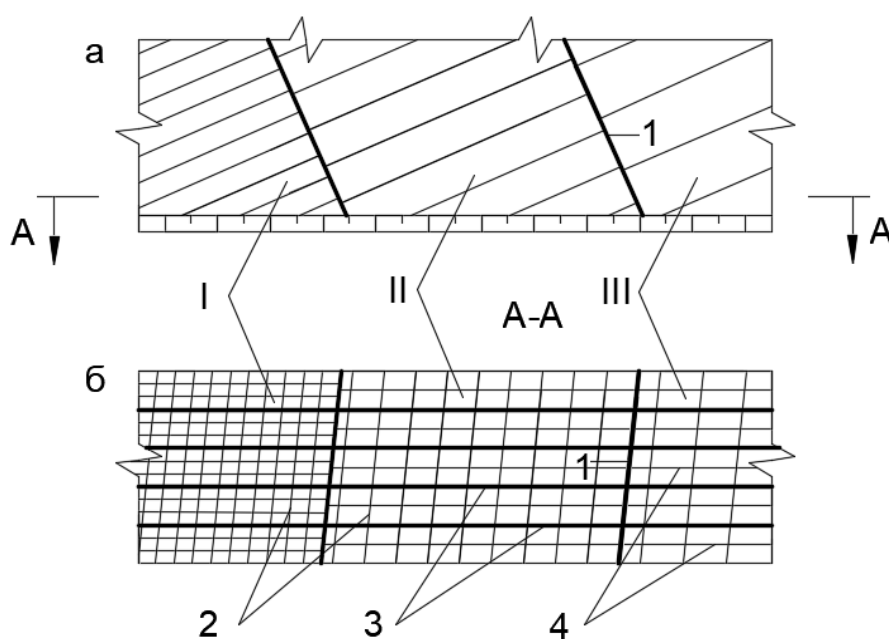
T<sub>2,2,120°,85°</sub>

Примітка.  $v_{\epsilon}$ ,  $v_m$ ,  $v_{cp}$ ,  $v_c$  – показник тріщинуватості відповідного класу;  $\alpha_m$  – кут простягання тріщин;  $\beta_m$  – кут падіння площини тріщин

Таким чином, тріщинуватість гірничого масиву можна характеризувати одним із 12 (3x4) класів, а також значеннями кутів простягання ( $\alpha_m$ ) і падіння ( $\beta_m$ ).

Запропонований принцип класифікації універсальний і прийнятний для різних гірничо-технологічних умов розробки родовищ корисних копалин. Він дозволяє оцінити гірничий масив за будовою, виконати вимоги щодо результатів вибухового дроблення порід, підвищити ефективність способів підривання, яка визначається значеннями техніко-економічних показників підприємства.

На рис. 6.1, як приклад цільової оцінки блочності та тріщинуватості масиву, наведено умовну схему блоку порід на уступі кар'єру, яка характеризується трьома різними за будовою зонами.



I, II, III – зони різної структури; 1 – вертикальні тріщини нежорсткого контакту; 2 – те ж, жорсткого контакту; 3 – горизонтальні тріщини нежорсткого контакту; 4 – те саме, жорсткого контакту

Рисунок 6.1 – Схема блоку гірничого масиву в плані (а) і в розрізі по фронті уступу (б)

У I-ій зоні переважає одна категорія природних окреможностей: крупного класу, симетричної форми, вертикально орієнтованих під кутом  $15^\circ$  до лінії забою. Наявність інших категорій з переважанням крупної несиметричної і кондиційної форми незначна. У II-ій зоні приблизно порівну розподілені дві

категорії: крупного та негабаритного класів тієї ж орієнтації, що і в I-й зоні. У III зоні переважає аналогічна категорія негабаритного класу. У середині зон природні окреmostі розділені тріщинами жорсткого контакту з простяганням приблизно  $105^\circ$  до лінії забою.

Характерні оцінки блочності та тріщинуватості стосовно даного випадку наведено в табл. 6.3 і 6.4.

Таблиця 6.3 – Оцінка блочності гірничого масиву (на прикладі гранітного кар'єру)

Найменування параметрів оцінки	Зони		
	I	II	III
Кількість категорій окреmostей	1	2	2
Форма окреmostей	симетрична площиною		
Орієнтація до лінії забою			
Розмір (клас)	крупний	крупний, негабаритний	негабаритний, крупний
Варіація значень розміру, м	0,4-0,8	0,4-0,7 0,9-2,5	1,2-3 0,7-0,9
Середнє значення розміру, м	0,6	0,6; 1,7	2,1; 0,8
Наявність основних класів, в.о.	0,9	0,5; 0,45	0,8; 0,15
Категорія блоків	$B_{311}$	$B_{311}; B_{411}$	$B_{411}; B_{311}$

Таким чином, застосування алгоритму цільової оцінки блочності і тріщинуватості масиву [333] є додатковим елементом у загальній методології районування кар'єрів за вибуховістю [211], [212]. Він дозволяє:

- диференціювати гірничий масив за однорідністю характеристик його будови;
- орієнтувати розробників на складання методик розрахунку параметрів вибухових робіт з урахуванням способу цільової оцінки характеристик гірничого масиву.



Таблиця 6.4 – Оцінка тріщинуватості гірничого масиву (на прикладі гранітного кар'єру)

Найменування параметрів оцінки	Системи тріщин			
	1	2	3	4
Характер контакту окреможестей	нежорсткий	жорсткий	нежорсткий	жорсткий
Простягання, град.	135	135	-	-
Падіння, град.	80	80	0	0
Інтенсивність, шт/м: За зоною I	0,05	1,66	0,55	1,66
За зоною II	0,05	0,5	0,55	0,9
За зоною III	0,05	0,3	0,55	0,9

Окрім того, такий метод дозволить не лише підвищити екологічні та техніко-економічні показники гірничого підприємства, а й істотно зменшити витрати на першому етапі житлового будівництва [334], а також може стати частиною програм соціально-економічного розвитку регіонів [335].

## 6.2 Удосконалення технології районування гранітних кар'єрів

Районування кар'єрів за вибуховістю є одним з основних процесів, що визначає вибір раціональних параметрів вибухових робіт на стадії проектування, їх технологічну, екологічну безпеку і в цілому техніко-екологічну ефективність роботи підприємства. Водночас результати районування кар'єрних полів, окрім встановленого взаємозв'язку природних (показники властивостей і будови гірничого масиву) і технологічних (параметри вибуху і видобувних уступів) чинників, повинні обов'язково містити обґрунтовані рекомендації щодо диференційованого вибору параметрів ПР з метою максимальної трансформації енергії вибуху в масив в процесі руйнування порід застосуванням вибухових технологій. Такий підхід повинен забезпечувати необхідну якість дроблення масиву гірських порід і виключати негативний вплив вибуху як на стан уступів, що відпрацьовуються в кар'єрі і одержувану продукцію, так і на навколишнє середовище.

Сучасний стан районування кар'єрних полів за вибуховістю скельних порід базується на використанні карт вибуховості, розроблених на основі геолого-маркшейдерських даних, зокрема на основі даних щодо тріщинуватості і блочності гірничого масиву [326], [336], [337]. В умовах відкритої розробки родовищ корисних копалин складання класифікацій тріщинуватості та блочності масивів відіграє важливу роль, так як показники, що входять до їх структури, в подальшому використовуються для оцінки ділянок порід, що відпрацьовуються, за складністю підривання. Водночас дані щодо вибуховості певною мірою відображають опірність скельних порід вибуховому руйнуванню. Усі відомості щодо вивчення структурно-текстурних особливостей гірничого масиву наносяться на карти (або план-схеми) районування з віднесенням їх до певної категорії для використання в проектуванні параметрів ПР [108], [109], [338], [339].

У роботі [338] наведено результати районування кар'єрів за тріщинуватістю під час розробки родовищ гранітів, у [108], [109], [339] – залізистих кварцитів, у [329] – апатитових руд. Шляхом поєднання даних щодо тріщинуватості, представлених у вигляді карт, з місцевою класифікацією порід за вибуховістю, розробляється карта вибуховості порід в межах кар'єрного поля, як, наприклад, показано в роботах [109], [338], [340].

У роботі [341] відзначено різні підходи до оцінки вибуховості гірських порід за показниками складності їх підривання. Як показники приймалися енергоємність буріння [342], розрахункова критична швидкість руйнування гірничого масиву [343], акустична жорсткість порід [344]. У сучасній практиці проектування вибухових робіт вибуховість порід визначається через питому витрату еталонної ВР [336], [345], яка покладена в основу міжгалузевої класифікації за вибуховістю [336] відповідно до категорій (класів) за тріщинуватістю і блочністю.

Слід зазначити, що використання класифікацій і карт вибуховості порід на кар'єрах безумовно сприяє підвищенню ефективності вибухових робіт. Однак у кожному конкретному випадку необхідний виборчий підхід до

районування, який визначається гірничо-геологічними умовами та типами розроблюваних порід. Так, наприклад, проблема досягнення необхідної якості дроблення гірської маси під час підривання гранітів стоїть гостріше у порівнянні з залізистими кварцитами. Граніти є міцними і в'язкими, а залізисті кварцити – міцними і крихкими. Тому, у зв'язку з великим опором гранітів вибуховим навантаженням, вихід негабариту на таких кар'єрах перевищує у 1,5–3 рази цей показник на залізородних кар'єрах [338]. До того ж форма і розмір природних окремоостей з елементами залягання тріщин у зазначених породах мають різний розподіл як в плані кар'єрного поля, так і по глибині розробки родовища. Це і зумовлює основну особливість в процесі розроблення карт вибуховості гранітів. Разом з цим, під час оцінки вибуховості порід доцільним і більш прийнятним є використання удосконаленої шкали тріщинуватості [328] замість шкали тріщинуватості Міжвідомчої комісії з вибухової справи [326], що відзначено в роботі [346].

Для вибору раціональних параметрів вибухових робіт з метою підвищення якості підірваної гірської маси на гранітних кар'єрах запропоновано карту районування гірничого масиву за тріщинуватістю [338] з виділенням однорідних зон. На карті вказано порядок відпрацювання блоків порід, що підриваються, розмір мережі свердловин з урахуванням анізотропії масиву. Для цих же умов розробки гранітів запропоновано цільову класифікацію гранітів за вибуховістю, що містить 6 класів вибуховості, для яких визначено середній діаметр природної окремості, питому витрату ВР і вихід негабаритної фракції гірської маси. Ці дані ранжовані під дробарки першої стадії механічного подрібнення типу ЩКД з розмірами приймальних щілин 900 мм x 1200 мм, 1200 мм x 1500 мм і 1500 мм x 2100 мм, що зумовлює різний вихід негабариту під час його нормування на одному і тому ж кар'єрі і за однієї і тієї ж технології підривання.

Таким чином, наявність карт вибуховості в значній мірі спрощує процес проектування параметрів ПР. Разом з тим традиційні підходи до

розроблення карт районування порід за вибуховістю, розглянуті вище, є недостатніми з точки зору досягнення необхідних результатів вибуху за їх реалізації. Доцільним було б на картах районування кар'єрів за тріщинуватістю і блочністю для кожної виділеної зони порід вказувати параметри вибуху з урахуванням способу підривання зарядів та схеми короткосповільненого підривання (КСП) [338], [347], [348], що забезпечить оптимальний напрямок відбійки гірської маси. Проектування параметрів під схеми підривання поки не обґрунтовано.

Як відомо, ефективність БПР на кожному кар'єрі залежить від великої кількості чинників. У процесі проектування масових вибухів визначаються основні параметри ПР відповідно до прийнятих методик розрахунку [336], [349], [350].

Карти вибуховості порід, що використовуються у практиці вибухових робіт, базуються на основному енергетичному параметрі – питомій витраті ВР відповідно до виділених зон за коефіцієнтом міцності (за М. М. Протод'яконовим), тріщинуватості і класами блочності. Додатково до такої структури в роботі [338] для гранітів вказано розміри мережі свердловин і коефіцієнт анізотропії, а в роботі [109] для залізистих кварцитів – мережа свердловин під діаметри свердловин, що дорівнюють 250 мм і 450–600 мм.

Аналіз практики ПР показує, що використання карт районування кар'єрів за вибуховістю не завжди забезпечує досягнення необхідних кінцевих результатів. Пояснити таке становище можна наступними двома причинами.

Перша – розрахунок параметрів підривання проводиться за традиційними методиками наближено з подальшим експериментальним уточненням. Порядок розрахунку параметрів вибуху не завжди відповідає умовам підривання і прив'язці до виділених зон районування. Зміст проектів проведення масових вибухів включає, зазвичай, недостатнє число даних із залученням емпіричних коефіцієнтів, прийнятих часто суб'єктивно.

Друга – буріння свердловин на уступі кар'єру за розрахованою мережею їх розташування не враховує способи підривання (миттевий, КСП). Тим самим, можливості схем КСП з урахуванням геометрії мережі свердловинних зарядів і відстаней між ними, що зумовлюють оптимальний напрямок відбійки, не реалізуються.

У зв'язку з цим, необхідною умовою диференційованого розподілу енергії вибуху по масиву в процесі його руйнування є наступна послідовність виконання операцій (рис. 6.2) [211]:

- вивчення та обґрунтування характеру залягання в масиві системних тріщин і природних окремоностей зі встановленням кількісних показників їх оцінки;
- розроблення класифікацій і карт районування за тріщинуватістю і блочністю з виділенням однорідних зон і меж між ними в межах видобувного горизонту;
- обґрунтування оптимального напрямку відбійки, що реалізує ефект найбільш легкого розколу порід, за рахунок впливу фронту хвилі напруження під час КСП зарядів;
- визначення усередненого радіуса зони дроблення по висоті уступу, виходячи з діаметра свердловин для наявних на підприємстві бурових верстатів і типів ВР;
- розрахунок відстаней між зарядами з урахуванням властивостей і структурно-текстурних особливостей порід;
- вибір схеми КСП зарядів ВР для забезпечення оптимального напрямку фронту відбійки, орієнтованого під напрямок найбільш легкого розколу порід, з урахуванням мережі свердловин;
- розроблення карти районування за вибуховістю порід і на її основі складання проекту масового вибуху;
- перенесення даних районування порід за вибуховістю в натуру з розміткою місць для буріння свердловин під вибрану схему КСП;

– буріння свердловин, монтаж вибухової мережі та підривання серії свердловинних зарядів.

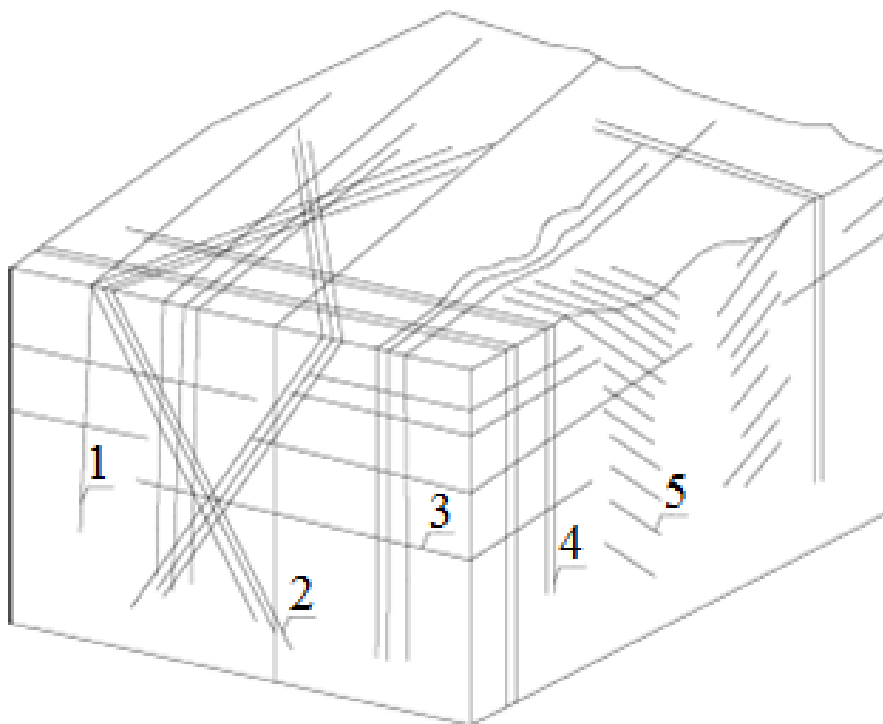


Рисунок 6.2 – Алгоритм послідовності виконання операцій під час проектування параметрів вибухів під схеми КСП на основі карт районування кар'єрів за вибуховістю порід

Наведений на рис. 6.2 алгоритм і карта районування порід за вибуховістю є основою для проектування параметрів вибуху під конкретні схеми КСП, що забезпечують оптимальний напрямок відбійки гірської маси на кар'єрі.

Відомо, що позитивні результати вибуху, значною мірою, залежать від правильного врахування природної тріщинуватості гірничого масиву. У масивах гранітних порід виділяють 4 основних системи тріщин [337], [338], [351], які більшою мірою впливають на процес руйнування: вертикальні поперечні (розкриті) тріщини розтягу  $Q$ , вертикальні повздовжні

(щільнозімкнені) тріщини стиснення  $S$ , діагональні тріщини сколювання  $D$  і горизонтальні (пластові) тріщини  $L$  (рис. 6.3). Тріщини систем  $Q$  і  $S$  практично взаємно перпендикулярні.

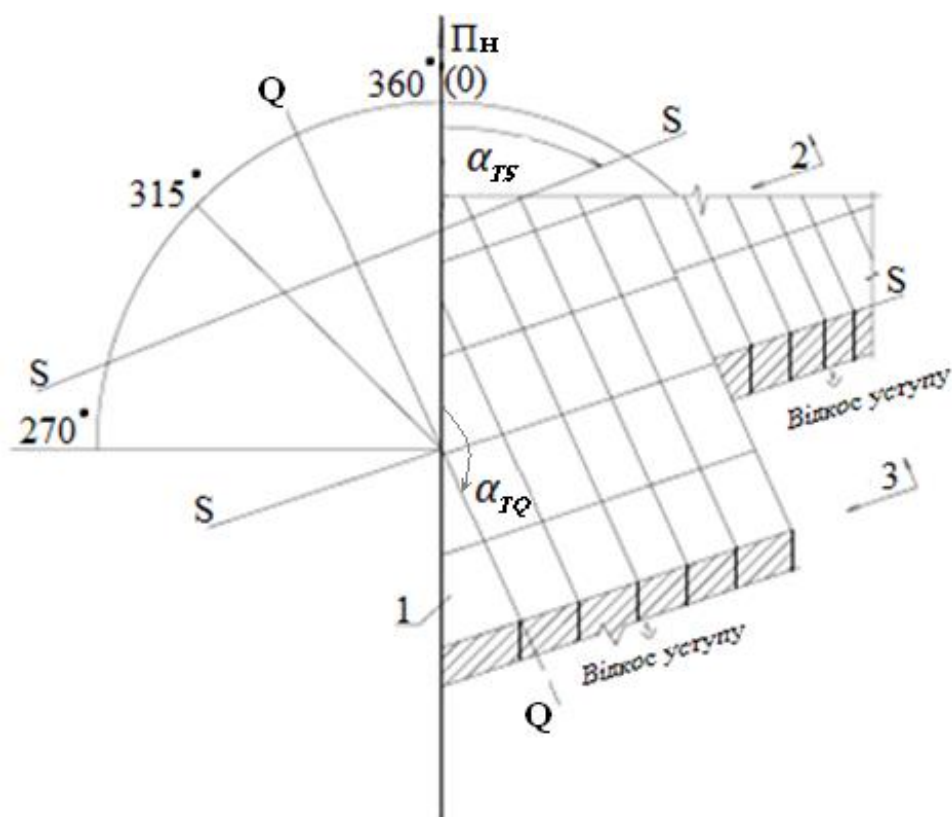


1 – тріщини стиснення,  $S$ ; 2 – діагональні,  $D$ ; 3 – горизонтальні,  $L$ ; 4 – тріщини розтягу,  $Q$ ; 5 – крайові тріщини розтягу

Рисунок 6.3 – Основні системи тріщин гранітного масиву [351]

Взаємне розташування системних тріщин у гранітному масиві може зумовлювати наявність природних окремоностей у формі куба, паралелепіпеда з різними розмірами граней та ін. [337], [351]. Як правило, природна окремість у гранітному масиві обмежена тріщинами систем  $Q$  і  $S$ . Під час проектування вибухових робіт необхідно орієнтувати фронт відбійки в сторону окремоності з більшою площею грані, оскільки зі збільшенням площі знижується опір руйнуванню вибуховими навантаженнями (рис. 6.4). Або ж залежно від умов підривання фронт відбійки можна орієнтувати перпендикулярно тріщинам системи як  $Q$ , так і  $S$ . Однак перевагу слід

віддавати системі  $Q$ . Дана умова підтверджена результатами раніше виконаних досліджень [337], [338] і тому сумнівів не викликає.

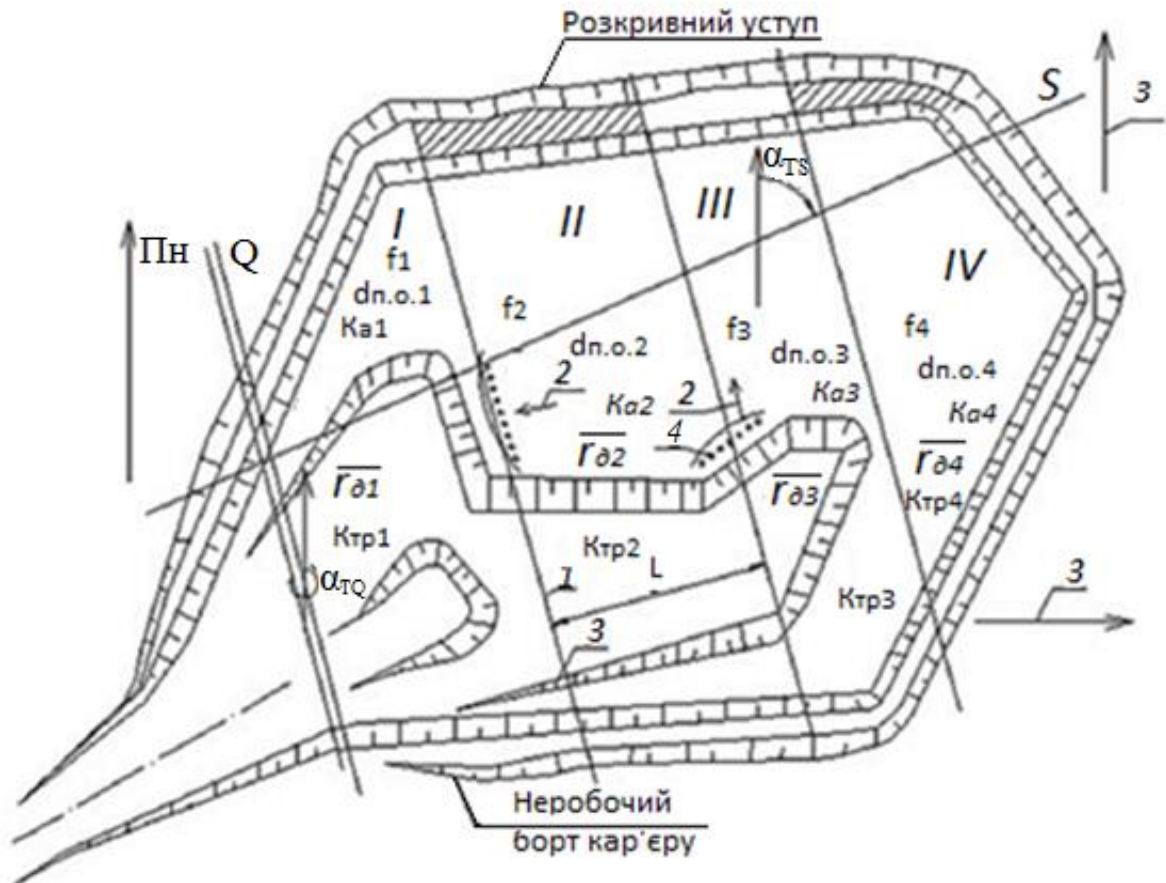


1 – природна окремість масиву; 2 – напрямок розвитку фронту робіт; 3 – напрямок найбільш легкого розколу;  $\alpha_{TQ}$  – азимут простягання тріщин системи  $Q$ ;  $\alpha_{TS}$  – те ж, тріщин системи  $S$

Рисунок 6.4 – Принципова схема взаємозв'язку структурних елементів гранітного масиву з оптимальним напрямком відбійки зарядами ВР

Основною особливістю використання карт районування кар'єрів за вибуховістю, на відміну від традиційного підходу, є послідовність виконання розрахунків параметрів ПР, а також наявність на план-карті більш повної інформації, зокрема щодо врахування взаємозв'язку властивостей і будови масиву із схемами КСП (рис. 6.5).





I–IV – однорідні зони; 1 – межа між зонами; 2 – напрямок оптимальної відбійки; 3 – напрямок розвитку фронту робіт; 4 – заряди ВР;  $d_{n.o.1}$ – $d_{n.o.4}$  – середній діаметр природної окремоті, мм;  $K_{тр1}$ – $K_{тр4}$  – коефіцієнт тріщинуватості;  $K_{a1}$ – $K_{a4}$  – коефіцієнт анізотропії;  $\overline{r_{\delta 1}}$ – $\overline{r_{\delta 4}}$  – усереднений радіус зони дроблення, м;  $L$  – ширина однорідної зони, м (інші позначення як на рис. 6.4)

Рисунок 6.5 – Карта районування гранітного кар'єру за вибуховістю з урахуванням взаємозв'язку структурних елементів та напрямків оптимальної відбійки гірської маси

Через неможливість наочно представити на карті всі дані, необхідні для проектування масових вибухів, до неї додаються таблиці із зазначенням кількісних показників за відповідними формами (табл. 6.5 і табл. 6.6).

Таблиця 6.5 – Показники властивостей і будови гранітних порід на уступі кар'єру

№ зони	$L_0, м$	$f$	$d_{n.o.}, м$	$K_{mp}$	$K_a$	$r_{\partial}, м$	$\alpha_3,$ градус	$\alpha_6,$ градус
I	$L_1$	$f_1$	$d_{n.o.1}$	$K_{mp1}$	$K_{a1}$	$r_{\partial 1}$	$\alpha_{31}$	$\alpha_{61}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
n	$L_n$	$f_n$	$d_{n.o.n}$	$K_{mpn}$	$K_{an}$	$r_{\partial n}$	$\alpha_{3n}$	$\alpha_{6n}$

Примітка.  $L_0$  – довжина блоку порід, що підривається, м;  $\alpha_3$  – азимут простягання забою, градус;  $\alpha_6$  – те ж, великої осі зони дроблення, градус

Таблиця 6.6 – Параметри вибухових робіт за зонами гранітного кар'єру

№ зони	$a, м$	$b, м$	$W, м$	$H_y, м$	$L_c, м$	$N_{св.}, шт.$	$q, кг/м^3$	$l_{зар.}, м$	$l_{пер.}, м$	$l_{заб.}, м$	$h_6, м$	$Q_{оз.}, кг$	$Q_{зр.}, кг$	$n_{зр.}, шт.$	$n_{зар.}, шт.$
I	$a_1$	$b_1$	$W_1$	$H_{y1}$	$L_{c1}$	$N_{св.1}$	$q_1$	$l_{зар.1}$	$l_{пер.1}$	$l_{заб.1}$	$h_{61}$	$Q_{оз.1}$	$Q_{зр.1}$	$n_{зр.1}$	$n_{зар.1}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n	$a_n$	$b_n$	$W_n$	$H_{yn}$	$L_{cn}$	$N_{св.n}$	$q_n$	$l_{зар.n}$	$l_{пер.n}$	$l_{заб.n}$	$h_{6n}$	$Q_{оз.n}$	$Q_{зр.n}$	$n_{зр.n}$	$n_{зар.n}$

Примітка.  $a$  – відстань між зарядами в ряду, м;  $b$  – відстань між рядами, м;  $W$  – лінія найменшого опору, м;  $H_y$  – висота уступу, м;  $L_c$  – глибина свердловини, м;  $N_{св.}$  – кількість свердловин, шт;  $q$  – питома витрата ВР, кг/м<sup>3</sup>;  $l_{зар.}$  – довжина заряду, м;  $l_{пер.}$  – довжина перебуру, м;  $l_{заб.}$  – довжина забійки, м;  $h_6$  – рівень води у свердловині, м;  $Q_{оз.}$  – маса одного заряду ВР, кг;  $Q_{зр.}$  – маса заряду в групі, кг;  $n_{зр.}$  – кількість груп зарядів, шт;  $n_{зар.}$  – кількість зарядів, шт.

Таким чином, проектування параметрів вибухових робіт під схеми КСП дозволяє збільшити обсяг подрібненої гірської маси з досягненням заданої міри дроблення за рахунок врахування взаємодії хвильових полів, зумовлених орієнтацією напрямку найбільш легкого розколу гірського масиву вибухами одиночних і групових зарядів в серії на уступі кар'єру [348], [352]. Під час КСП за допомогою різних схем з'єднання зарядів відповідно до виділених зон відстані між ними повинні також відрізнятися у кожному окремому випадку, а орієнтація фронту відбійки гірської маси – здійснюватися в оптимальному для кожної зони напрямку.

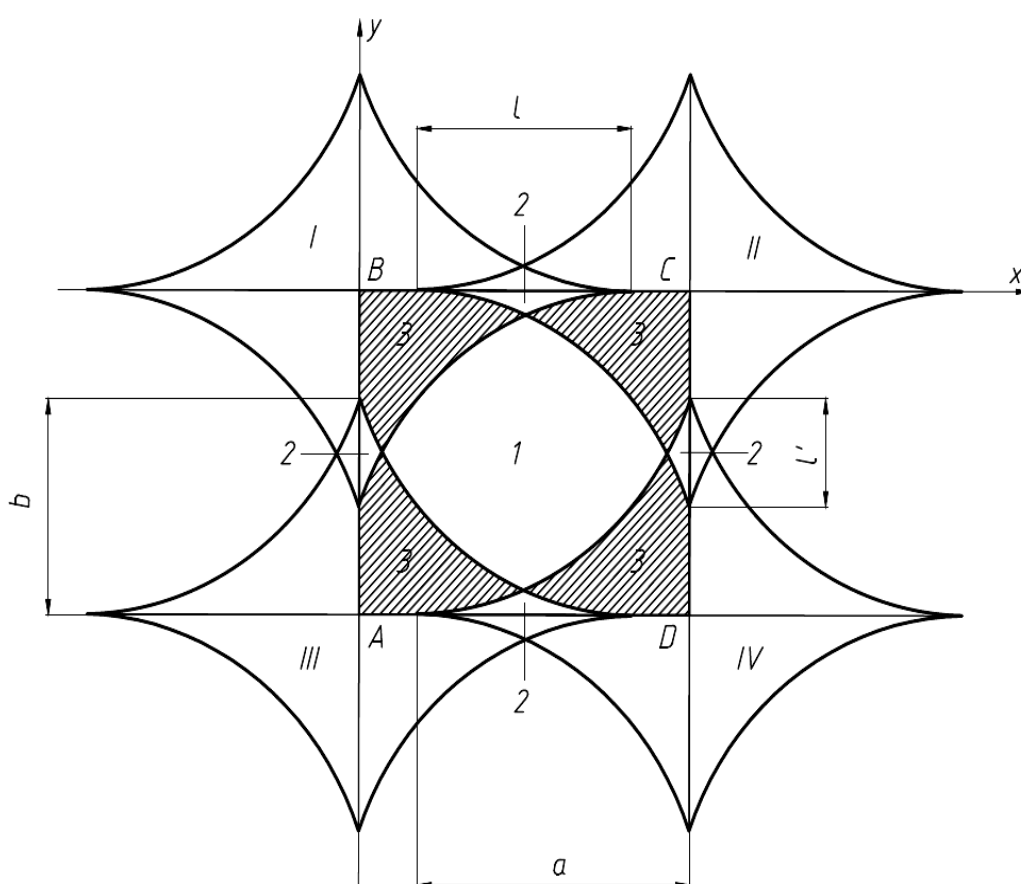
6.3 Обґрунтування раціональних розмірів і геометрії мережі свердловин за чинником пропрацювання підшви уступу для тріщинуватих скельних порід

Під час проведення вибухових робіт на кар'єрах скельних порід з метою одержання гірської маси високої якості виникає ряд труднощів. Після вибуху часто спостерігається високий вихід негабаритних фракцій, «пороги» по підшві уступу, а також переподрібнення гірської маси. Все це зумовлює додаткові трудозатрати і втрати корисної копалини. Досягнення необхідного дроблення гірської маси з мінімальним вмістом некондиційних фракцій і якісним пропрацюванням підшви уступу під час вибухових робіт на кар'єрі залежить, в першу чергу, від правильного вибору геометричних параметрів розташування свердловинних зарядів [99].

Відомо достатню кількість аналітичних і емпіричних формул для розрахунку відстаней між зарядами [90], [111], [353]–[357]. В основному вони базуються на припущеннях про раціональну величину перекриття зон дроблення і не мають достатнього наукового обґрунтування. Водночас мається на увазі, що зона дроблення має еліпсоподібний контур, який характерний для слаботріщинуватих масивів гірських порід. Такі розрахунки є суб'єктивними, так як залежно від тріщинуватості гірської породи зона дроблення може приймати і іншу форму. Відомо, що в процесі підривання тріщинуватих або сильно тріщинуватих масивів гірських порід спостерігається більший обсяг дрібних фракцій та пилоутворення ніж під час підривання монолітного або слаботріщинуватого масиву. Тому обґрунтування раціональних відстаней між зарядами за різних схем їх розташування саме для сильнотріщинуватих масивів є актуальною науково-практичною задачею.

Під час проведення вибухових робіт на уступах тріщинуватих скельних порід утворюються зони дроблення хрестоподібної форми (астроїди). У процесі підривання зарядів, розташованих як за прямокутною, так і шаховою

мережею, між чотирма сусідніми зарядами А, В, С, D утворюється чотири види областей руйнування масиву: 1 – недопрацьована і утворена між контурами зон дроблення внаслідок вибуху чотирьох зарядів; 2 – утворена внаслідок накладення зон дроблення від двох сусідніх зарядів по великому і малому радіусах зони руйнування; 3 – пропрацьована дією вибуху чотирьох зарядів без 1-ї, 2-ї і 4-ї областей руйнування; 4 – утворена внаслідок накладення зон дроблення від трьох сусідніх зарядів по великому і малому радіусах зони руйнування (рис. 6.6) [358].



$a, b$  – радіус, відповідно, великої і малої осей зони дроблення;  $l, l'$  – величини перекриття зон дроблення, відповідно, по горизонталі і вертикалі;  $I, II, III, IV$  – порядкові номери зон дроблення; 1–3 – області, утворені дією вибуху чотирьох зарядів

Рисунок 6.6 – Схема до розрахунку величин пропрацьованої одним зарядом і недопрацьованої площ під час вибуху за розташування зарядів прямокутною мережею

Величини цих областей, а отже, якість гірської маси, витрати на її досягнення та екологічні показники за пиловим чинником безпосередньо залежать від відстаней між зарядами в ряду  $a_3$  і між рядами  $b_3$ . Тому під час їх визначення необхідно враховувати відносну величину пропрацьованої одним зарядом площі  $V_n^n$  і недопрацьованої площі руйнування  $V_H^n$ .

Пропрацьованими і недопрацьованими областями є фігури, утворені за умов перекриття зон дроблення. Розрахунок їх площ можна виконати, виходячи з рівнянь астроїда.

Відносна величина недопрацьованої площі  $V_H^n$  розраховується як відношення її абсолютної величини до площі між зарядами  $S_{ABCD}$ :

$$V_H^n = \frac{S_H^n}{S_{ABCD}} \cdot 100\%.$$

Абсолютна величина недопрацьованої площі:

$$S_H^n = (2 \cdot a - l) \cdot (2 \cdot b - l') - 4 \cdot \int_0^a \frac{a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}}}{K_a} dx +$$

$$+ 4 \cdot \int_{a - \frac{l}{2}}^a \frac{a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}}}{K_a} dx + 4 \cdot \int_{b - \frac{l'}{2}}^b (a^{\frac{2}{3}} - (K_a^{\frac{2}{3}} y^{\frac{2}{3}}))^{\frac{3}{2}} dy,$$

де  $K_a$  – коефіцієнт анізотропії.

Площа між зарядами:

$$S_{ABCD} = (2 \cdot a - l) \cdot (2 \cdot b - l'),$$

де  $l = k_l \cdot a$ ;  $l' = k_{l'} \cdot a$  ( $k_l, k_{l'}$  – коефіцієнти перекриття, відповідно, по горизонталі і вертикалі).

Відносна величина пропрацьованої одним зарядом площі руйнування гірської породи показує яка її частина використовується раціонально і визначається за формулою:

$$V_n^n = \frac{S_n^n}{S_{ABCD}} \cdot 100\%.$$

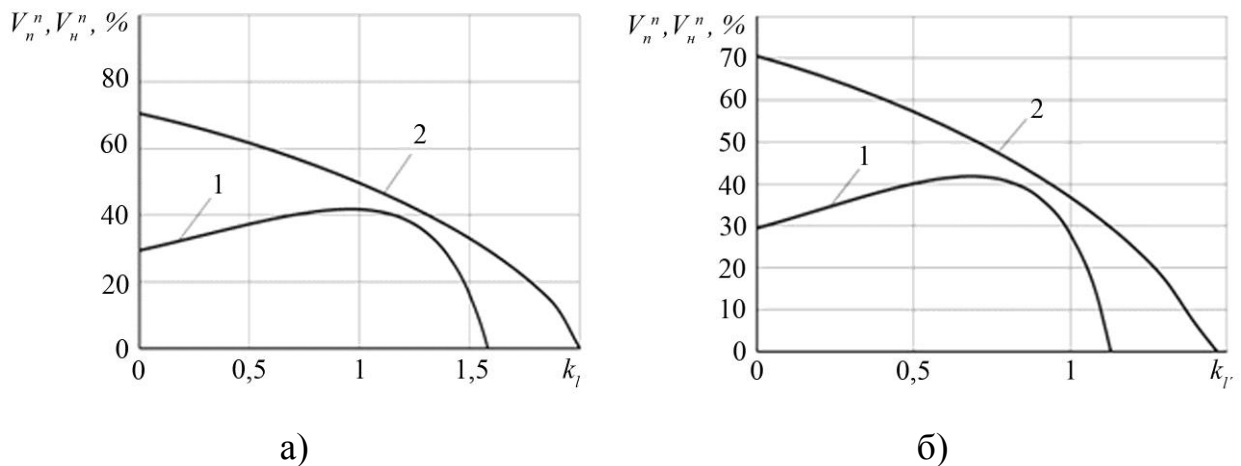
Абсолютна величина пропрацьованої одним зарядом площі:

$$S_n^n = 4 \cdot \left[ \int_0^a \frac{a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}}}{K_a} dx - \frac{4 \cdot \int_0^a \frac{(a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}})^{\frac{3}{2}}}{K_a} dx}{a^{\frac{l}{2}} \cdot 2} \right] -$$

$$- 4 \cdot \left[ \frac{\int_0^b \frac{b^{\frac{2}{3}} - (K_a^{\frac{2}{3}} y^{\frac{2}{3}})^{\frac{3}{2}}}{K_a} dy}{b^{\frac{l'}{2}} \cdot 2} \right].$$

Розрахунок  $V_H^n$  та  $V_n^n$  проводився для горизонтального (рис. 6.7а) і вертикального перекриттів (рис. 6.7б) за умови, що  $a=3,5$  м,  $K_a=1,4$ . Як видно з рис. 6.7а, найбільша величина  $V_n^n$  спостерігається при  $k_l=1$ , водночас

$V_H^n = 50\%$ , за умови, що  $k_l = 1,5$  –  $V_H^n = 32\%$ . За умов зміни  $k_l$  від 0 до 1,2 пропрацьована одним зарядом площа руйнування змінюється від 30% до 0, максимальне її значення спостерігається при  $k_l = 0,7$ , водночас  $V_H^n = 50\%$  (рис. 6.7б).



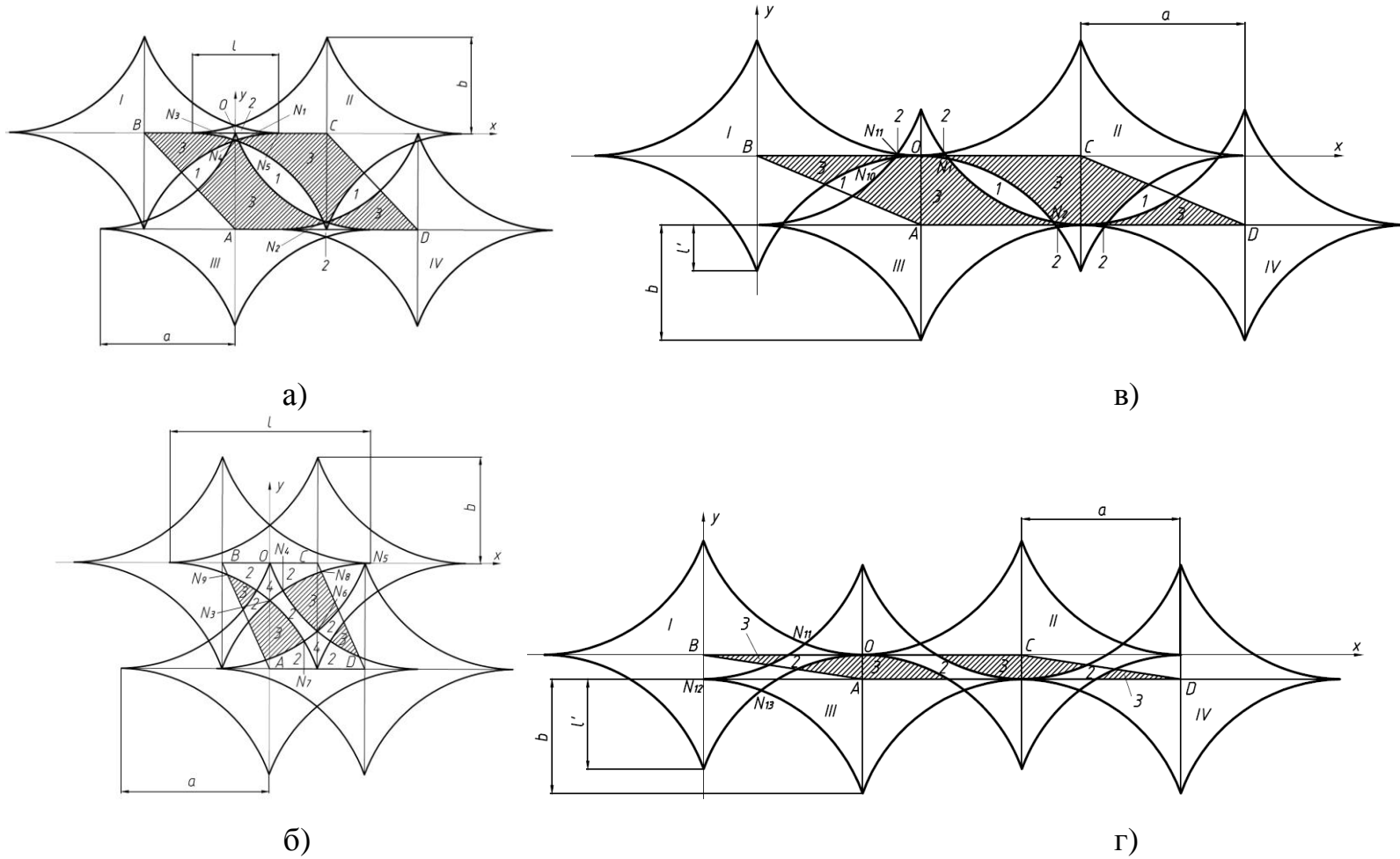
а) –  $V_n^n$  (1) і  $V_H^n$  (2) від  $k_l$ ; б) –  $V_n^n$  (1) та  $V_H^n$  (2) від  $k_l$ .

Рисунок 6.7 – Залежність зміни величин пропрацьованої одним зарядом і недопрацьованої площ за розташування зарядів прямокутною мережею

За використання шахової мережі (рис. 6.8) недопрацьована область в масиві більш розосереджена у порівнянні з прямокутною і розраховується як:

$$S_H^{III} = \left[ 2 \cdot \frac{N_2}{N_1} \int \left[ 1 - \left( \frac{-x + (a - \frac{l}{2})}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b \, dx - \frac{N_2}{N_1} \int \left[ 1 - \left( \frac{x}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot \left( b - \left( b - \frac{m}{2} \right) \right) dx \right].$$

На основі наведених формул можна розрахувати відносну величину недопрацьованої області для шахової мережі  $V_H^{III}$ . Відносна величина



а) –  $l' = 0, l \leq 1,1a$ ; б) –  $l' = 0, l \geq 1,1a$ ; в) –  $l = 0, l' \leq 0,35a$ ; г) –  $l = 0, l' \geq 0,35a$ ; 1–4 – області, утворені вибухом чотирьох зарядів

Рисунок 6.8 – Схема до розрахунку величин пропрацьованої одним зарядом і недопрацьованої площ за розташування зарядів шаховою мережею



пропрацьованої одним зарядом площі  $V_n^{III}$ , у даному випадку, визначається, використовуючи як абсолютну її величину такий вираз:

$$S_n^{III} = S_{ABCD} - [S_H^{III} + S_2]$$

де

$$S_2 = 4 \cdot S_{N_3 N_4 N_5 O} + 4 \cdot S_{N_1 N_3 N_4}, \text{ якщо } l' = 0, l \geq 0, S_{N_1 N_2} \geq 0 \text{ (рис. 6.8а),}$$

$$S_2 = S_2' = 2 \cdot S_{N_6 N_7 N_8 N_9} + 2 \cdot S_{N_6 N_7 N_{10} CO} + 2 \cdot S_{N_6 N_{12} N_{13} BO}, \text{ якщо } l' = 0, \\ l \geq 0, S_{N_1 N_2} \leq 0 \text{ (рис. 6.8б),}$$

$$S_2 = S_2'' = 2 \cdot S_{N_1 N_{15} N_{16}}, \text{ якщо } l = 0, l' \geq 0, S_{N_1 N_2} \geq 0 \text{ (рис. 6.8в),}$$

$$S_2 = S_2''' = 2 \cdot S_{N_{15} N_{16} N_{17} N_{18}}, \text{ якщо } l = 0, l' \geq 0, S_{N_1 N_2} \leq 0 \text{ (рис. 6.8 г),}$$

$$S_{N_3 N_4 N_5 O} = \int_0^{N_5} \left[ \left[ 1 - \left( \frac{x + (a - \frac{l}{2})}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b \right] dx,$$

$$S_{N_1 N_3 N_4} = \int_{N_3}^{N_4} \left[ \left[ 1 - \left( \frac{x + (a - \frac{l}{2})}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b - \left[ \left[ 1 - \left( \frac{-x + (a - \frac{l}{2})}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b \right] dx +$$

$$\begin{aligned}
& + \int_{N_4}^{N_1} \left[ \left[ 1 - \left( \frac{x}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b - \left( b - \frac{l'}{2} \right) - \left[ 1 - \left( \frac{-x + (a - \frac{l}{2})}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b \right] dx, \\
S_{N_6 N_7 N_8 N_9} &= 2 \cdot \int_{N_6}^{N_7} \left[ \left[ 1 - \left( \frac{x + (a - \frac{l}{2})}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b - \left[ 1 - \left( \frac{-x + (a - \frac{l}{2})}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b \right] dx + \\
& + \int_{N_7}^{N_9} \left[ \left[ 1 - \left( \frac{x}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b - \left( b - \frac{l'}{2} \right) - \left[ 1 - \left( \frac{-x + (a - \frac{l}{2})}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b \right] dx,
\end{aligned}$$

$$S_{N_6 N_7 N_{10} CO} = S_{N_6 N_7 N_{10} N_{11} O} - S_{N_{10} N_{11} C},$$

$$S_{N_6 N_7 N_{10} N_{11} O} = \int_0^{N_{11}} \left[ \left[ 1 - \left( \frac{x + (a - \frac{l}{2})}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b \right] dx,$$

$$S_{N_{10} N_{11} C} = \frac{N_{10} N_{11} \cdot CN_{11}}{2},$$

$$S_{N_6 N_7 N_{10} CO} = S_{N_6 N_{12} N_{13} BO} + S_{N_{13} N_{14} B},$$

$$S_{N_6 N_{12} N_{13} N_{14} O} = \int_0^{N_{14}} \left[ 1 - \left( \frac{-x + (a - \frac{l}{2})}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b \, dx,$$

$$S_{N_{13} N_{14} B} = \frac{N_{13} N_{14} \cdot B N_{14}}{2},$$

$$S_{N_1 N_{15} N_{16}} = \int_{N_1}^{N_{15}} \left[ \left[ 1 - \left( \frac{-x + a}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b - (b - \frac{l'}{2}) \right] - \left[ \left[ 1 - \left( \frac{x}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b - \frac{l'}{2} \right] dx +$$

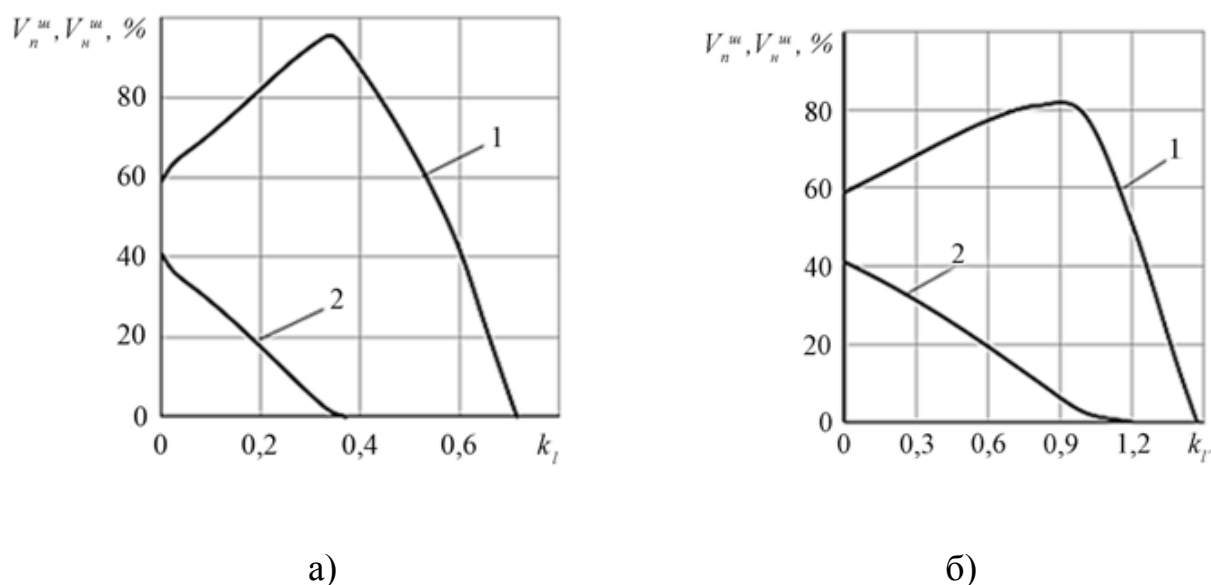
$$+ \int_{N_{15}}^{N_{16}} \left[ \left[ 1 - \left( \frac{x}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b - \frac{l'}{2} \right] - \left[ \left[ 1 - \left( \frac{x}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b - \frac{l'}{2} \right] dx,$$

$$S_{N_{15} N_{16} N_{17} N_{18}} = \int_{N_{18}}^{N_{17}} \left[ \left[ 1 - \left( \frac{-x + a}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b - (b - \frac{l'}{2}) \right] - \left[ \left[ 1 - \left( \frac{x - a}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b - (b - \frac{l'}{2}) \right] dx +$$

$$+ \int_{N_{17}}^{N_{15}} \left[ \left[ 1 - \left( \frac{-x + a}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b - (b - \frac{l'}{2}) \right] - \left[ \left[ 1 - \left( \frac{x}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b - \frac{l'}{2} \right] dx +$$

$$+ \int_{N_{15}}^{N_{16}} \left[ \left[ 1 - \left( \frac{x}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b - \frac{l'}{2} \right] - \left[ \left[ 1 - \left( \frac{x}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \cdot b - \frac{l'}{2} \right] dx.$$

Розрахунок пропрацьованої одним зарядом і недопрацьованої площ, що утворюються під час підривання зарядів, розташованих у шаховому порядку, проводився аналогічно прямокутній мережі. Залежності зміни  $V_H^u$  та  $V_n^u$  від  $k_l$  за умови, що  $k_l=0$  та від  $k_l$  за умови, що  $k_l=0$  наведено на рис. 6.9.



а) –  $V_n^u$  (1) та  $V_H^u$  (2) від  $k_l$ ; б) –  $V_n^u$  (1) та  $V_H^u$  (2) від  $k_l$

Рисунок 6.9 – Залежності зміни величин пропрацьованої одним зарядом і недопрацьованої площ за розташування зарядів шаховою мережею

Аналіз рис. 6.9а показав, що за умов збільшення коефіцієнта перекриття  $k_l$  величина  $V_n^u$  зменшується. При  $k_l=0,34$  спостерігається максимальне значення  $V_n^u=96\%$ , водночас  $V_H^u$  становить  $1,21\%$ .

За допомогою формули, наведеної у [359], проведено розрахунок радіусів великої і малої осей зони дроблення залежно від величини діаметру заряду. В якості вихідних даних для розрахунку прийнято: щільність ВР  $\rho_{BP}=950 \text{ кг/м}^3$ ; швидкість детонації ВР  $D=3300 \text{ м/с}$ ; щільність породи  $\rho_n=2500 \text{ кг/м}^3$ ; коефіцієнт Пуассона  $\mu=0,2$ ; межа міцності гірської породи на розрив  $\sigma_p=10^7 \text{ Па}$ ; розмір кондиційного шматка  $d_k=0,8 \text{ м}$ ; розмір природної

окремовості  $d_{n.o.}=1$  м; величина розкриття тріщин  $\delta=10^{-2}$  м; модуль Юнга матеріалу заповнювача  $E_3=5 \cdot 10^7$  Па; коефіцієнт анізотропії  $K_a = 1,2$ . Виходячи з отриманих даних, визначались величини  $a_3$  і  $b_3$  (табл. 6.7). Як видно з табл. 6.7, під час використання бурового верстата Atlas Copco ( $d_3 = 125$  мм) величина  $a_3 = 53,8d_3$ , водночас  $b_3 = 13,3d_3$ . За використання верстату Pantera ( $d_3 = 127$  мм) величина  $a_3 = 54,8d_3$ ,  $b_3$  відповідно  $13,5d_3$ .

Таблиця 6.7 – Розрахунок відстаней між зарядами в залежності від діаметра коронки буріння

Параметри вибухових робіт	Діаметр коронки буріння, $d_3$ (мм) для верстатів							
	Pantera		Atlas Copco			СБШ		
	102	127	110	115	125	200	220	250
$a_3$ , м	2,8	3,5	3	3,1	3,4	5,4	5,9	6,7
$b_3$ , м	2,3	2,9	2,5	2,6	2,8	4,5	4,9	5,6
$a_3$ , м	5,5	7	6	6,2	6,7	10,8	11,8	13,4
$b_3$ , м	1,4	1,7	1,5	1,5	1,7	2,7	2,9	3,3
$a_3/d_3$	54,1	54,8	54,5	54,3	53,8	54	53,5	53,8
$b_3/d_3$	13,3	13,5	13,5	13,4	13,3	13,3	13,2	13,3

У результаті проведених досліджень набули подальшого розвитку технологічні рішення щодо визначення раціональних, з урахуванням вимог екологічної безпеки, відстаней між зарядами в ряду і між рядами, що враховують, окрім ефективності пропрацювання уступу, конфігурацію зони дроблення, характерну для тріщинуватих масивів скельних порід, та її розміри для випадків прямокутної і шахової мереж розташування зарядів. Показано, що відстані між зарядами за шахової мережі розташування, у порівнянні з прямокутною, зумовлюють високу ефективність використання площі руйнування, і за перекриття зон дроблення на 0,34 радіуса великої осі зони дроблення можна досягти величини недопрацьованої площі руйнування масиву 1,21 %.

6.4 Мінімізація некондиційної фракції під час дроблення тріщинуватих скельних порід за рахунок оптимального напрямку відбійки свердловинними зарядами та відносної відстані між ними

Руйнуванню тріщинуватих масивів скельних порід енергією вибуху присвячено значну кількість досліджень та публікацій. Розглянуто різні погляди щодо фізичної суті процесу вибуху в гірських породах, які базуються на уявленнях про необхідність врахування різних чинників, що впливають на процес вибуху і, тим самим, свідчать про відсутність єдиної думки щодо даного напрямку.

Дія вибуху в тріщинуватих масивах гірських порід відрізняється принциповими особливостями, що впливають на опірність руйнуванню. Тому під час проведення вибухових робіт інтенсивність руйнування визначається не стільки міцністю породного масиву, скільки ступенем його тріщинуватості, що формується природними окремостями різних геометричних форм і розмірів. У порівнянні з руйнуванням монолітних гірничих масивів наявність тріщинуватості зменшує обсяг зони дроблення і збільшує параметри зони розвалу підірваної гірської маси [303].

Під час проектування параметрів КСП на кар'єрах тріщинуватість масивів гірських порід рекомендують оцінювати і враховувати за допомогою різних показників: питомої частоти тріщин, питомої тріщинуватості, показника тріщинуватості, коефіцієнта частоти тріщин, коефіцієнта тріщинуватості. Останній показник отримав широке застосування у практиці. За результатами досліджень встановлено функціональні залежності деяких параметрів і показників ефективності вибухів від величини коефіцієнта тріщинуватості ( $K_m$ ) та обґрунтовано їх використання у практиці під час проектування масових вибухів.

Слід зазначити, що окрім оптимізації параметрів масового вибуху, в тому числі з урахуванням  $K_m$ , ефективним методом управління його енергією є використання орієнтації напрямку фронту відбійки ( $\alpha_\phi$ , градус) зарядами

під час КСП відносно азимута простягання ( $\alpha_m$ , градус) переважаючих систем тріщин гірничого масиву. Відомі рекомендації за даним напрямом не мають достатнього обґрунтування і не дають кількісної оцінки величини  $K_m$  залежно від  $\alpha_\phi$  і лінії відкосу уступу ( $\alpha_y$ , градус), не показують вплив її на результати вибуху. Це є однією з причин відсутності єдиних і ефективних способів розрахунку параметрів вибухових робіт і технологічних рішень з управління якістю дроблення порід [212].

У роботі [303] показано, що від ступеня тріщинуватості гірничого масиву залежить регульованість якості дроблення порід, що характеризується її фракційним складом. Зі збільшенням тріщинуватості розмір шматків зменшується.

Рубцов В. К. зазначає, що зі збільшенням тріщинуватості масиву важче роздрібнити великі природні окремість, які містяться в ньому. Тому однією з основних умов є визначення вмісту природних окремістей ( $N$ , %) в гірничому масиві, що руйнується, тобто встановлення залежності  $N=f(d_{n.o.})$ , де  $d_{n.o.}$  – середній діаметр окремісті (м). Інтенсивність тріщинуватості змінюється як за фронтом видобувних робіт, так і з глибиною розробки, чергуючись зонами з різними  $d_{n.o.}$  (рис. 6.10).



а

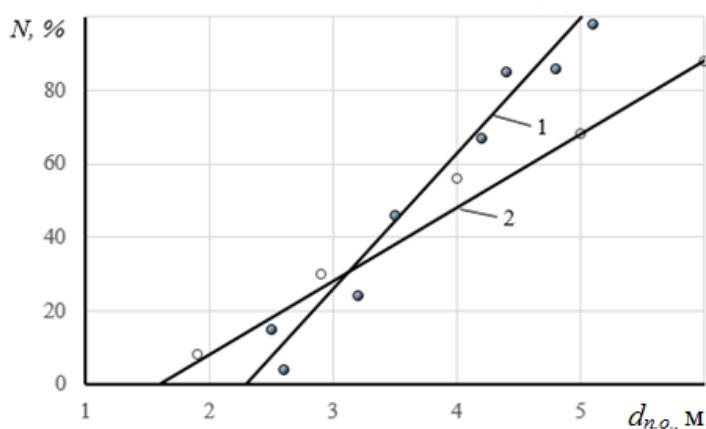


б

$S$  і  $Q$  – площини систем тріщин (одна поділка мірної рейки 10 см): а – загальний вигляд; б – виділена ділянка уступу

Рисунок 6.10 – Характерна будова видобувного уступу на гранітному кар'єрі «Селище-2», гор. +157 м

Водночас основний обсяг зон масиву, які важко роздробити, характеризується середнім діаметром окремої від 1,5 м до 2,5 м і більше [360]. Залежність  $N=f(d_{n.o.})$  для крупноблочних вапняків і гранітів наведено на рис. 6.11, із аналізу якого видно, що зі збільшенням  $d_{n.o.}$  крупноблочного масиву величина  $N$  збільшується.



1 – граніти; 2 – вапняки

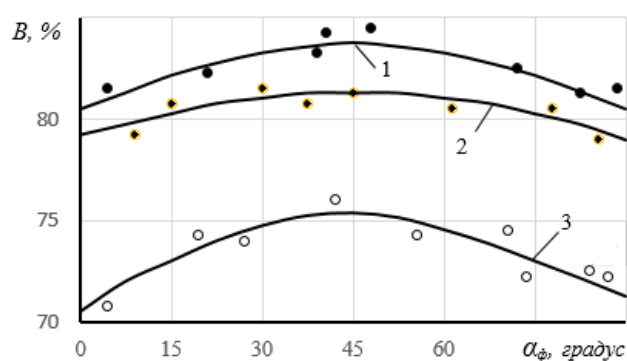
Рисунок 6.11 – Вміст природних окремоств в масиві залежно від їх розмірів для гранітів [360] і вапняків (за В. К. Рубцовим)

Проведеними раніше дослідженнями [103], [337], [361], [362] встановлено, що на інтенсивність дроблення тріщинуватих масивів, окрім інших факторів, значний вплив чинить напрямок фронту відбійки щодо розташування тріщин. Показано [361], що за умови розташування тріщин в моделі під кутом до вільної поверхні моделі від  $0^\circ$  до  $30^\circ$  інтенсивність дроблення знижується, а від  $45^\circ$  до  $90^\circ$  – підвищується. Найбільш висока інтенсивність дроблення досягається при куті  $90^\circ$  між тріщиною і вільною поверхнею моделі. На основі теоретичних розрахунків показано [337], що орієнтація лінії забою видобувного уступу повинна збігатись з основною системою тріщин, тобто бути паралельною їй, а напрямок фронту відбійки – перпендикулярним їй. Під час руйнування дрібноблочних масивів орієнтація фронту відбійки рівнозначна у будь-яких напрямках щодо систем тріщин. За результатами експериментальних промислових вибухів [103] встановлено,



що підвищення якості дроблення порід досягається в процесі відбійки вхрест простяганню шарів.

Узагальнення результатів промислових вибухів на кар'єрах [360], [362] показало, що вплив напрямку відбійки на якість дроблення тріщинуватих масивів вибухом підтверджується і результатами визначення виходу дрібних фракцій ( $B$ , %) гірської маси (рис. 6.12).



1 – породи середньої важкості підривання; 2 – породи, підривання яких ускладнене; 3 – породи, підривання яких дуже ускладнене

Рисунок 6.12 – Залежність виходу дрібних фракцій гірської маси від напрямку відбійки порід

Із аналізу рис. 6.12 видно, що максимальна величина  $B$  спостерігається за умов орієнтації напрямку відбійки під кутом до основної системи тріщин в межах від  $35^\circ$  до  $50^\circ$  (коефіцієнт зближення зарядів  $m=1$ ). У роботі [363] показано, що найкраще дроблення порід досягнуто за використання діагональної схеми підривання з орієнтацією напрямку відбійки під кутом до шаруватості масиву від  $80^\circ$  до  $90^\circ$ , а за умови, що величина кута становить від  $40^\circ$  до  $50^\circ$  якість дроблення порід погіршується майже вдвічі.

Виходячи з виконаного короткого аналізу в області удосконалення параметрів вибухових робіт, видно, що в останні роки простежується тенденція урахування напрямку відбійки під час КСП зарядів в неоднорідних тріщинуватих масивах гірських порід. Однак використання отриманих рекомендацій щодо оптимального напрямку відбійки порід не забезпечує в

достатній мірі необхідної багатоваріантності розрахунків і можливості варіювання результатами промислових вибухів. Зокрема, відсутня оцінка мінливості будови масиву за величиною  $K_m$ . Це вносить певні відхилення від раціональних значень енергетичного параметра – питомої витрати ВР ( $q$ ) і геометричних параметрів – розмірів мережі свердловин ( $a$ ,  $b$ ) і лінії найменшого опору ( $w$ ). Тому обґрунтування ефективності врахування напрямку відбійки під час КСП зарядів у тріщинуватих масивах скельних порід на кар'єрах є невирішеним актуальним питанням.

Під час проектування параметрів ПР використовують класифікації масивів гірських порід за тріщинуватістю і блочністю, запропоновані низкою авторів для конкретних гірничо-технологічних умов [326], [337], [339], [364]. В основному ці класифікації базуються на даних тимчасової класифікації Міжвідомчої комісії з вибухової справи [326]. Відповідно до структури цих класифікацій розроблено також класифікації за категоріями вибуховості порід, доповнені показниками фізико-механічних властивостей порід і параметрами ПР [109], [328], [329], [303].

У табл. 6.8 наведено узагальнені дані за трьома класифікаціями [337], [326], [109]. Дві з них [326], [109] містять 5 категорій, а одна [337] – 4 категорії за тріщинуватістю (блочністю). Запропонована класифікація доповнена показниками  $\overline{d_{n.o.}}$  і  $\overline{K_m}$ . Величина  $\overline{K_m} = 1/\overline{d_{n.o.}}$ . У двох класифікаціях [337], [326] відсутня розрахункова питома витрата ВР ( $q_p$ ).

В даних класифікаціях спостерігається відсутність співпадіння деяких категорій за тріщинуватістю, блочністю і вибуховістю, в тому числі і оцінки порід за величиною  $K_m$ . Лише за III та IV категоріями при  $d_{n.o.}$  від 0,5 м до 1,0 м і від 1,0 м до 1,5 м дані практично співпадають. Залежність  $\overline{K_m} = f(\overline{d_{n.o.}})$  має криволінійний характер (рис. 6.13). Зі збільшенням  $\overline{d_{n.o.}}$  значення  $\overline{K_m}$  зменшуються. Зі збільшенням  $\overline{d_{n.o.}}$  від 0,3 м до 3,0 м  $\overline{K_m}$  змінюється від 3,3 до 0,5. Невідповідність даних у класифікаціях пов'язана з різними типами порід і методами вивчення їх структурних елементів.

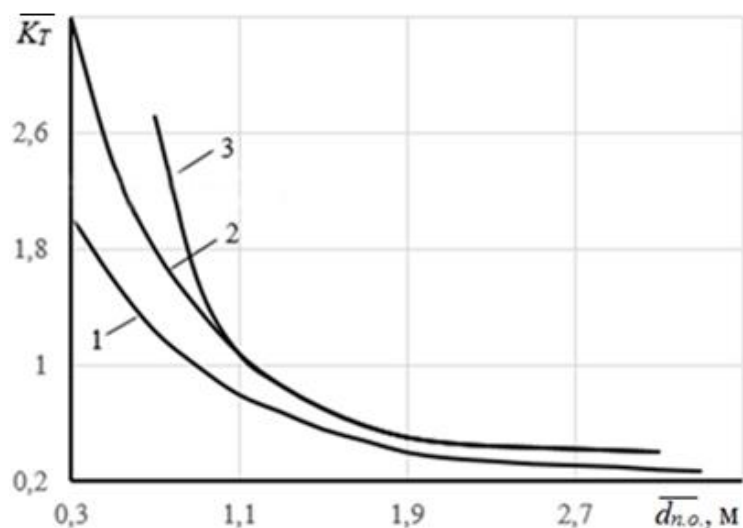
Таблиця 6.8 – Узагальнена класифікація за тріщинуватістю, блочністю і вибуховістю доповнена показниками структурної будови масивів

Категорія тріщинуватості	Для всіх типів гірських порід [326]					Залізисті кварцити [109]		
	Ступінь тріщинуватості (блочності)	$d_{н.о.},$ м	$\overline{d}_{н.о.},$ м	$\overline{K}_m$ [337]	$q_e, \text{кг/м}^3$	Категорія вибуховості	$d_{н.о.},$ м	$\overline{d}_{н.о.},$ м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	Надзвичайно тріщинуваті (дрібноблочні), ДБ	До 0,1	0,05	20	До 20	I – підриваються легко, ЛВ	0,1–0,25	0,18
II	Сильнотріщинуваті (середньоблочні), СБ	0,1–0,5	0,30	3,3	20,1–40	II – середньої важкості підривання, СВ	0,25–0,50	0,38
III	Середньотріщинуваті (крупноблочні), КБ	0,5–1,0	0,75	1,33	40,1–60	III – підривання яких ускладнене, УВ	0,50–1,0	0,75
IV	Малотріщинуваті (надзвичайно крупноблочні), НКБ	1,0–1,5	1,25	0,8	60,1–80	IV – підривання яких дуже ускладнене, ДУВ	1,0–1,5	1,25
V	Практично монолітні (виключно крупноблочні), ВКБ	>1,5	2,0*	0,5	80,1–100	V – підривання яких у вищій мірі ускладнене, ВМУВ	>1,5	2,0*

Продовження таблиці 6.8

Категорія тріщинуватості	Граніти [337]						
	$\overline{K}_m$ [337]	$q_p, \text{кг/м}^3$	Категорія тріщинуватості (вибуховості)	$L, \text{м}$	$\overline{d}_{н.о.},$ м	$K_m$	$\overline{K}_m$
1	10	11	12	13	14	15	16
I	5,56	1,0	–	–	–	–	–
II	2,63	1,15	I – сильнотріщинуваті (ЛВ)	До 0,5	0,4	2 і більше	2,5
III	1,33	1,22	II – середньотріщинуваті (СВ)	0,5–1,0	0,75	1–2	1,3
IV	0,8	1,34	III – слабкотріщинуваті (УВ)	1,0–2,5	2,0	1–0,4	0,5
V	0,5	1,5	IV – нетріщинуваті (СУВ)	2,5 і більше	2,5 і більше	До 0,4	0,4

Примітка. 1)  $q_e$  – еталонна витрата ВР,  $\text{кг/м}^3$ ;  $L$  – відстань між тріщинами, м; 2) у стовпчиках 4, 5, 9, 14, 16 наведено розрахункові середні значення показників; 3) зірочкою у стовпчиках 4 і 9 показники прийнято умовно



1 – за [337]; 2 – за [326]; 3 – за [109]

Рисунок 6.13 – Графічна залежність  $\overline{K_m}$  від  $\overline{d_{n.o.}}$  у класифікаціях

В якості прикладу на рис. 6.14 показано вплив  $\overline{d_{n.o.}}$ , що характеризує блочність і тріщинуватість гірничого масиву, на величину радіуса зони дроблення  $R_\delta$  (залежність 1) і питому витрату ВР  $q$  (залежність 3). При цьому  $R_\delta=f(\overline{d_{n.o.}})$  прийнято згідно роботи [365], а  $q=f(\overline{d_{n.o.}})$  і  $\overline{K_m}=f(\overline{d_{n.o.}})$  побудовано за даними класифікації порід за вибуховістю [328].

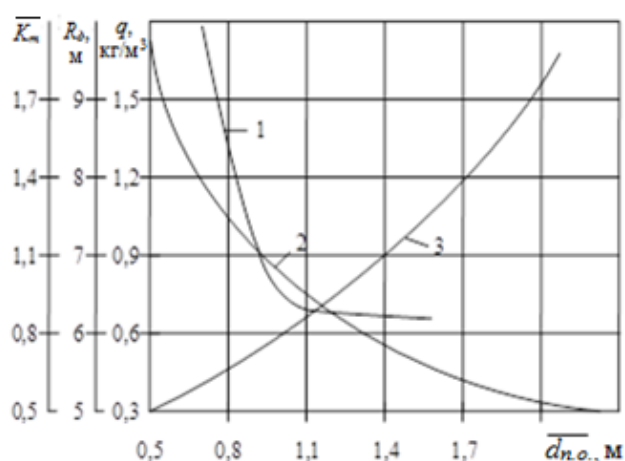


Рисунок 6.14 – Залежність радіуса зони дроблення  $R_\delta$  (1), коефіцієнта тріщинуватості  $\overline{K_m}$  (2) та питомої витрати ВР  $q$  (3) від середнього діаметра природної окремої частини  $\overline{d_{n.o.}}$

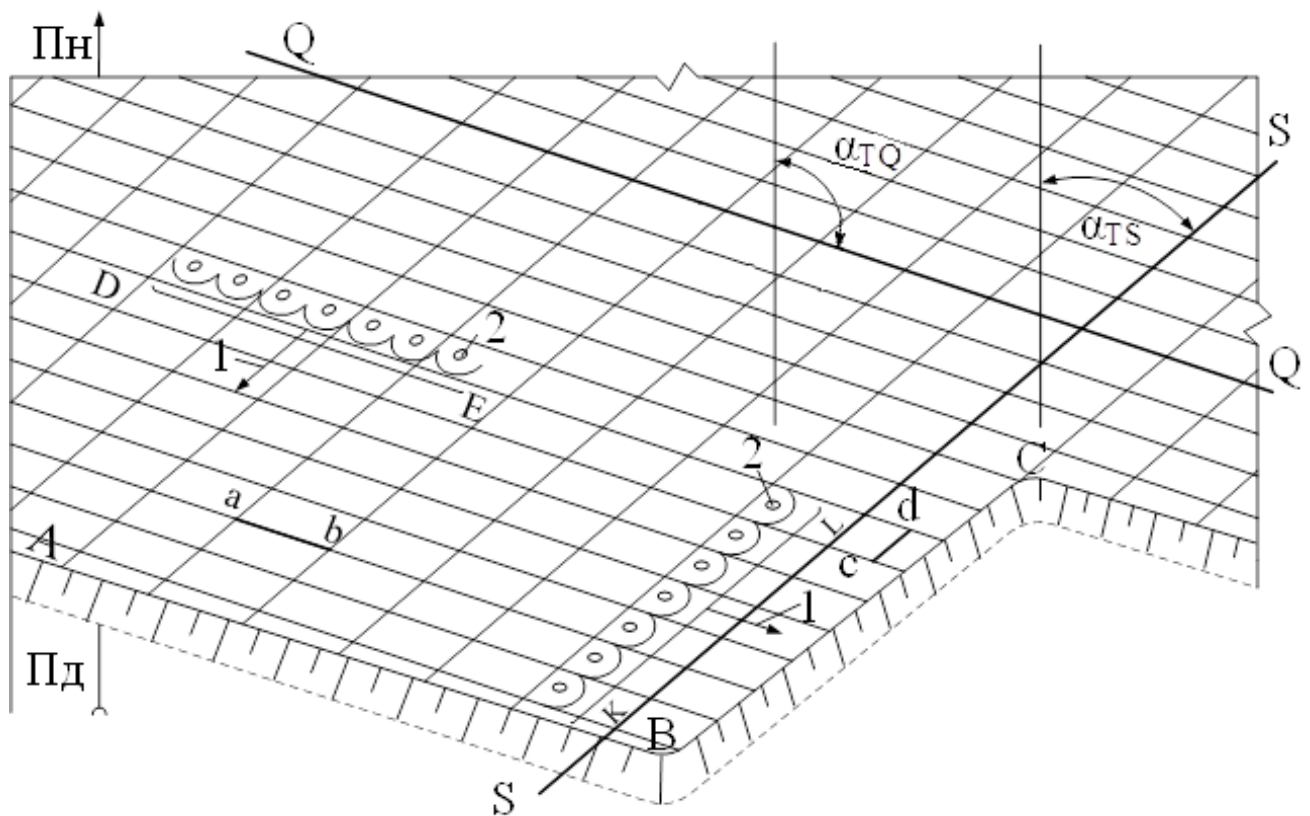
Із аналізу рис. 6.14 видно, що зі збільшенням  $\overline{d_{n.o.}}$  величина  $K_m$  зменшується, а  $q$  зростає. Останній показник регламентується для кожної категорії тріщинуватості та блочності [328], [303]. Для кожного видобувного уступу в кар'єрі зі зміною напрямку відбійки по відношенню до систем тріщин  $S$  і  $Q$ , що характеризують ступінь тріщинуватості і блочності, параметри масового вибуху повинні бути різними. Це пояснюється неоднаковими розмірами граней природних окремоостей і їх кількістю під час поширення фронту вибухової хвилі, що зумовлюють різну опірність вибуховому навантаженню. Чим більша площа грані окремоості, тим опірність її навантаженню буде менша. Взаємне розташування ліній фронту відбійки  $DE$  і  $KL$  відносно тріщин систем  $S$  і  $Q$ , а також ліній відкосу уступу  $AB$  і  $BC$  показано на план-схемі рис. 6.15. При цьому середній розмір окремоості характеризується лінійними розмірами її ребер  $ab$  і  $cd$  ( $ab > cd$ ) і в загальному випадку оцінюється величиною  $K_m$ .

Для порівняльної оцінки впливу тріщинуватості і блочності на величину  $q$  виконано розрахунки за формулами, що застосовуються у практиці проектування параметрів вибухових робіт [328], [336], [350]. Значення  $q$  і  $K_m$  визначено за усередненими даними роботи [328]. При цьому величина  $K_m$  визначалась за максимальним значенням середньої відстані між тріщинами  $\overline{d_{n.o.}}$ , починаючи від 0,5 до 1,85 м, а саме:

$d_{n.o.}, \text{ м}$	0,5	0,75	1,0	1,25	1,50	1,70	1,85
$K_m(1/d_{n.o.})$	2,0	1,33	1,0	0,80	0,67	0,59	0,54
$q, \text{ кг/м}^3$	0,32	0,45	0,60	0,78	0,99	1,24	1,55

Аналіз результатів розрахунку показав, що зі збільшенням  $d_{n.o.}$  від 0,5 м до 1,85 м, що те ж саме що і зі зменшенням  $K_m$  від 2 до 0,54, значення  $q$  збільшуються від  $0,32 \text{ кг/м}^3$  до  $1,55 \text{ кг/м}^3$ . Це цілком узгоджується і підтверджується практикою проектування параметрів вибухових робіт. Однак з урахуванням напрямку фронту відбійки з двох взаємноперпендикулярних сторін блоку порід, що підривається, параметри

вибухових робіт можуть відрізнятися через різну опірність вибуховому навантаженню природних окремоностей. Так, наприклад, у напрямку фронту відбійки  $KL$  (рис. 6.15) енергетичні затрати будуть більші ніж у напрямку фронту відбійки  $DE$ . Досягнути збільшення енергетичних затрат можна за рахунок звуження мережі свердловинних зарядів або збільшення маси ВР за однакових розмірів мережі свердловин для обох випадків. Або ж, за інших рівних параметрів зарядів і розмірів мережі свердловин ефект руйнування порід може бути підвищений з боку фронту відбійки  $KL$  за рахунок застосування довгої діагоналі у схемі підривання із більшою величиною коефіцієнта наближення зарядів  $m$ , як це розглянуто у роботі [366].



1 – напрямок відбійки; 2 – заряди ВР;  $\alpha_{TQ}$  і  $\alpha_{TS}$  – азимуту простягання тріщин систем  $Q$  і  $S$ ;  $DE$  і  $KL$  – лінії фронту вибухової хвилі;  $ab$  і  $cd$  – розміри окремості

Рисунок 6.15 – План-схема відпрацювання видобувного уступу в кар'єрі двома забоями

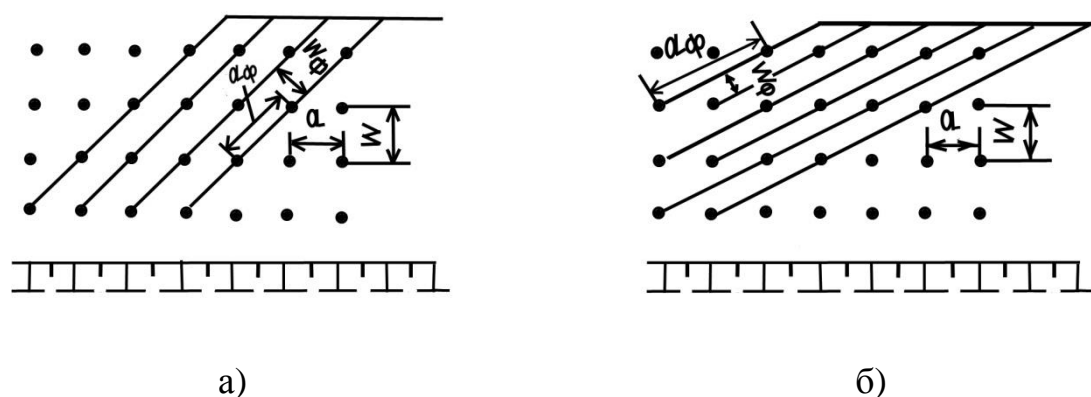
Наведена на рис. 6.15 схема видобувного блоку порід з двома секціями (забоями), що перетинаються під кутом в межах від  $80^\circ$  до  $100^\circ$ , може бути реалізована під час одночасного та роздільного їх підривання.

Одним із основних напрямків підвищення якості підготовки гірської маси на кар'єрах є науково-обгрунтоване застосування схем багаторядного КСП. Кожен із відомих варіантів таких схем має свою конструкцію і визначає ефективність розподілу енергії вибуху по масиву гірських порід в процесі його руйнування [367]. За допомогою схем КСП можна змінювати відносну відстань (коефіцієнт зближення) між зарядами  $m$  і лінію найменшого опору  $W$ . Водночас максимальний ефект дроблення порід, за інших оптимальних параметрів, досягається тоді, коли найбільше число зарядів в схемі КСП забезпечує плоский фронт хвильового поля, паралельний переважній системі тріщин. Таку умову більшою мірою задовільняють порядно-діагональні схеми підривання, які в останні роки набули широкого поширення на кар'єрах і застосовуються для підривання порід різної міцності та блочності за великої протяжності блоків порід, що руйнуються, на уступах кар'єру [368].

Ефективність використання діагональних схем КСП полягає не лише в можливості регулювання орієнтації фронту хвильового поля під час вибуху зарядів, але і зменшення величини  $W$  і збільшення відносної відстані між зарядами  $m$ . Однак щодо вибору раціональної величини  $m$  до теперішнього часу існують суперечливі думки: 0,7–1,2; 1–1,4; 2 (Риковський Б. В.; Сенук В. М.) і навіть 8 (Суханов А. Ф., Кутузов Б. Н.). Водночас у схемі КСП з найбільшим значенням  $m$  кожен заряд працює як одиночний [369].

Слід зазначити, що комутація вибухової мережі із застосуванням неелектричної системи ініціювання може здійснюватись за короткою або довгою діагоналлю по рядах зарядів. Така особливість дозволяє змінювати орієнтацію фронту хвильового поля і зумовлює різні значення  $a$  і  $W$  (рис. 6.16).

На рис 6.16 прийнято наступні позначення:  $a$  – відстань між зарядами в ряду ( $a=b=W$ , квадратна мережа свердловин);  $b$  – відстань між рядами свердловин. Індексом « $\phi$ » позначено фактичне значення параметра за схемою підривання. Так, за результатами буріння свердловин за квадратною мережею з короткою діагоналлю з'єднання зарядів в рядах (рис. 6.16а)  $m=a/W=1$ , а фактично  $m_\phi=a_\phi/W_\phi=2$ . У разі застосування довгої діагоналі (рис. 6.16б)  $m=a/W=1$ ,  $m_\phi=a_\phi/W_\phi=4,5$ .



а) – з'єднання зарядів за короткою діагоналлю; б) – з'єднання зарядів за довгою діагоналлю

Рисунок 6.16 – Схема комутації зарядів

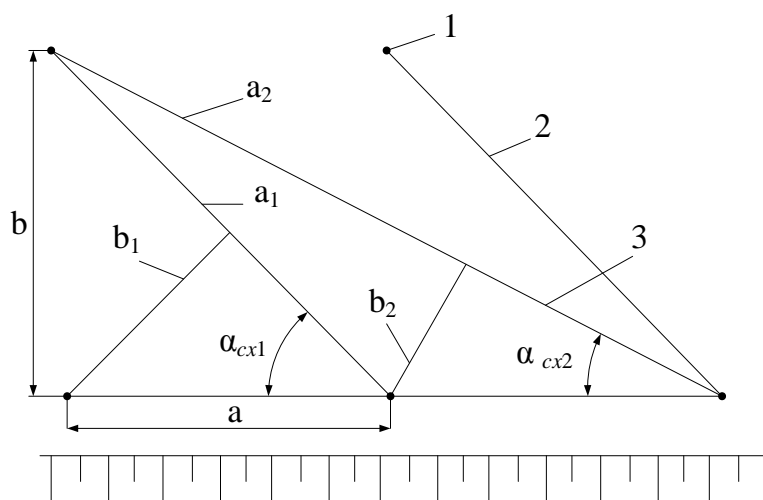
Для кількісної оцінки  $m$  та інших геометричних показників ( $a$ ,  $b$ ,  $\alpha_{cx}$  – кут між діагоналлю і лінією оголеної поверхні уступу) розглянуто 13 варіантів порядно-діагональних схем підривання з комутацією рядів зарядів за короткою та довгою діагоналями (рис. 6.17) [99].

Залежно від діаметру заряду відстань між ними змінювалась: для  $a$  – від 3 до 9 м, для  $b$  – від 3 до 8 м у відповідності з іншими параметрами (табл. 6.9).

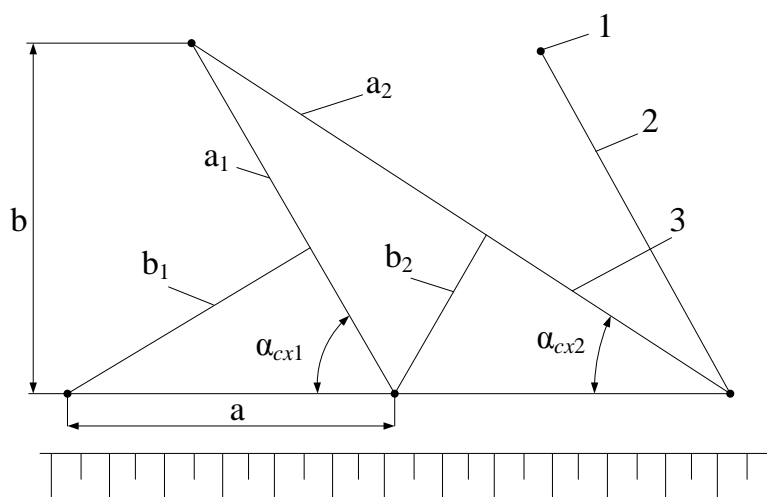
Аналіз табл. 6.9 показав, що у схемах підривання з короткою діагоналлю за різних розмірів мережі свердловин величина  $m_I$  змінюється в межах від 0,9 до 2, а з довгою діагоналлю – в межах від 0,9 до 6,1. Водночас



величина  $\alpha_{cx1}$  знаходиться в межах від  $36^\circ$  до  $76^\circ$ , а  $\alpha_{cx2}$  – в межах від  $20^\circ$  до  $45^\circ$ .



а)



б)

1 – заряд ВР; 2 – коротка діагональ (індекс 1); 3 – довга діагональ (індекс 2)

Рисунок 6.17 – Характерні схеми розташування зарядів за квадратною (а) і шаховою (б) мережами свердловин

Зі збільшенням  $\alpha_{cx}$  відносно відкосу уступу зменшується ширина розвалу гірської маси в 2,5 рази і збільшується його висота, а також збільшується рівномірність дроблення гірських порід зі зменшенням виходу негабаритних шматків.

Таблиця 6.9 – Розрахункові значення параметрів для порядно-діагональних схем підривання зарядів

№ варіанту мережі свердловин	Під час буріння на блоці порід			Під час підривання зарядів за порядно-діагональними схемами							
	$a$	$b$	$m$	$a_1$	$b_1$	$m_1$	$a_2$	$b_2$	$m_2$	$\alpha_{cx1}$	$\alpha_{cx2}$
1	3–8	3–8	1	4,2–11,3	2,1–5,7	2	6,7–18,2	1,9–3,5	5,2	45	26
2	3–8	4–9	0,8–0,9	5–12,3	2,4–5,9	2	7,2–16,4	1,6–3,9	4,5–4,7	53–48	33–29
3	4–9	3–8	1,3–1,1	5–12	2,4–6	2	8,5–19,7	4,2–3,7	6,1–5,3	36–42	20–24
4	3–8	2,5–6,9	1,2	3–8	2,6–6,9	1,2	5,2–13,9	1,5–4	3,5	60	30
5	3–8	3–8	1	3,4–8,9	2,7–7,2	1,3	5,4–14,4	1,7–4,4	3,2	63	33
6	3–8	4–9	0,8–0,9	4,3–9,9	2,8–7,5	1,5–1,3	6–15,5	2,1–5,6	2,9–2,8	70	41
7	4–9	3–8	1,3–1,1	3,6–9,2	3,2–7,2	1,1–1,3	6,7–15,7	1,6–3,6	4,2–4,4	55	24
8	3–8	3–8	1	3,6–9,6	2,4–6,4	1,5	5,8–15,5	1,5–4	3,9	55	31
9	3–8	4–9	0,8–0,9	4,5–10,5	2,7–7,2	1,7–1,5	6,4–16,1	1,9–4,5	3,4–3,6	64–60	39–34
10	4–9	3–8	1,3–1,1	4–10	3–7,1	1,3–1,4	7,3–17	1,6–4,2	4,7–4	48–53	24–28
11	3–8	3–8	1	3,2–8,4	2,9–7,6	1,1	5–13,4	1,8–4,8	1,1	71	37
12	3–8	4–9	0,8–0,9	8,4–9,4	2,9–7,7	1,2	5,7–14	2,1–5,1	1,4–1,2	76–73	45–40
13	4–9	3–8	1,3–1,1	3,3–8,5	3,7–8,4	0,9–1	6,1–14,4	2–4,9	0,9–1	66–69	29–34

Примітка. 1 – квадратна ( $a=b$ ); 2 – прямокутна поперечна ( $a<b$ ); 3 – прямокутна поздовжня ( $a>b$ ); 4 – трикутна рівностороння ( $a>b$ ); 5 – трикутна рівнобедренна ( $a=b$ ); 6 – те ж ( $a<b$ ); 7 – те ж ( $a>b$ ); 8 – зміщена на  $1/3a$  до правого флангу ( $a=b$ ); 9 – те ж ( $a<b$ ); 10 – те ж ( $a>b$ ); 11 – зміщена на  $1/3a$  до лівого флангу ( $a=b$ ); 12 – те ж ( $a<b$ ); 13 – те ж ( $a>b$ )

За результатами понад 200 масових вибухів, виконаних за порядно-діагональним схемами, під час розробки Селещанського родовища гранітів (Рівненська обл.) кар'єрами № 1 і № 2 встановлено залежності виходу негабариту  $n_n$  від середнього діаметру шматка гірської маси  $d_{сер}$  та часу сповільнення між зарядами  $t_3$  [99]. Залежності  $n_n=f(d_{сер})$  для кар'єрів № 1 і № 2 апроксимуються, відповідно, формулами:  $n_n=d_{сер}/101$  і  $n_n=d_{сер}/80$  (рис. 6.18).

Проведення масових вибухів здійснювалось за  $t_3$ , що дорівнює 35 і 50 мс. Встановлено, що за  $t_3=35$  мс у порівнянні з  $t_3=50$  мс спостерігається зменшення виходу негабариту та середнього діаметру шматка, відповідно, в 1,1 і 1,3 рази.

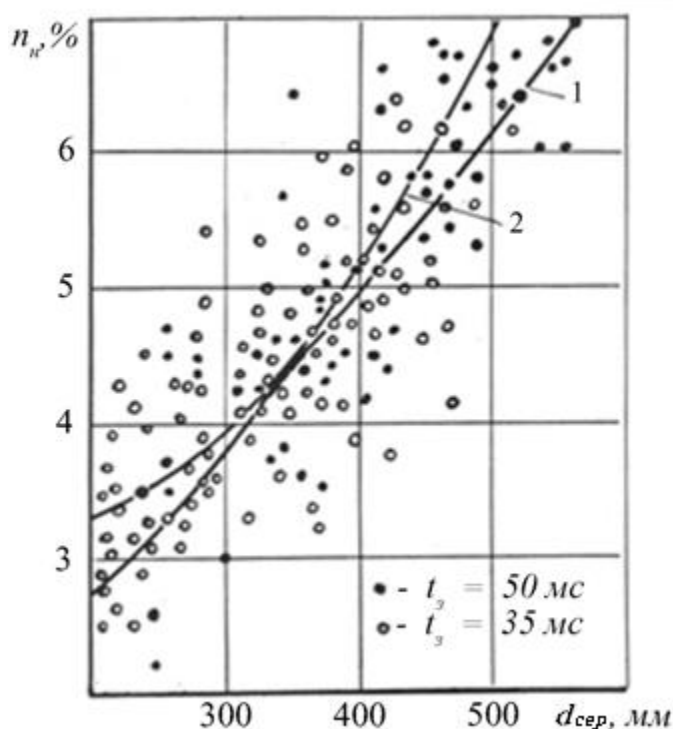
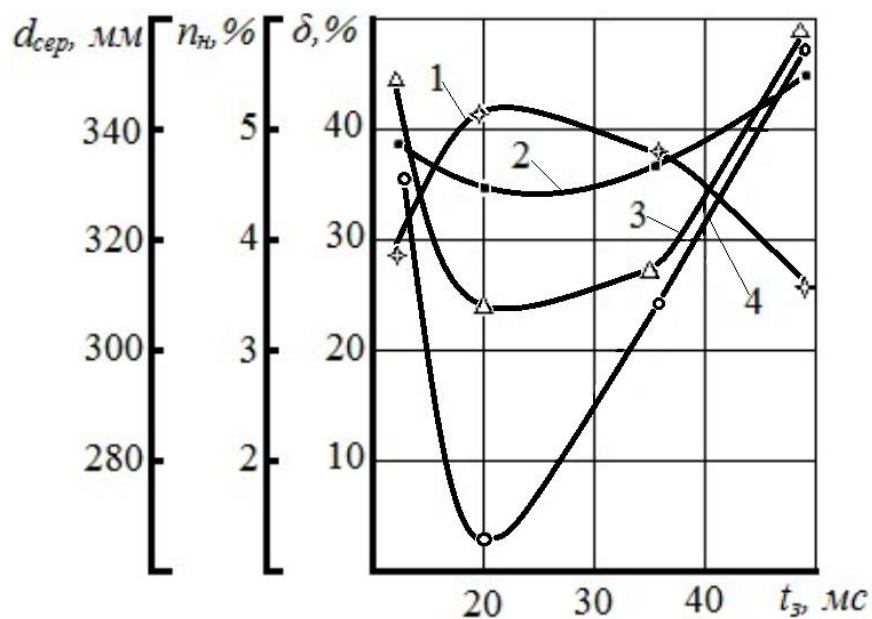


Рисунок 6.18 – Залежність виходу негабариту від середнього діаметру шматка гірської маси під час вибухів на кар'єрі № 1 (1) і № 2 (2)

Зміну критеріїв оцінки якості масових вибухів свердловинних зарядів на зазначених кар'єрах у більш широкому діапазоні  $t_3$  показано на рис. 6.19, а їх числові значення наведено в табл. 6.10.



1 – фракція гірської маси 0–200 мм; 2 – вихід негабариту; 3 – фракція розміром +500 мм; 4 – середній діаметр шматка

Рисунок 6.19 – Залежності критеріїв оцінки якості гірської маси від часу сповільнення

Залежності, наведені на рис. 6.19, в порядку їх нумерації, апроксимуються наступними рівняннями:

$$\delta_{-200}=42-(0,165t_3-4)^2,$$

$$\delta_{+500}=23+(0,2t_3-5)^2,$$

$$n_n=4,3+(0,045t_3-1)^2,$$

$$d_{сер}=265+(0,115t_3-22).$$

Таблиця 6.10 – Показники якості підірваної гірської маси за фракціями

Показники	Час уповільнення, мс			
	10	20	35	50
Вихід фракції 0–200 мм, %	29	41,6	37,4	24,7
Те ж, +500 мм, %	49,2	23,4	36,7	59
Те ж, >800 мм, %	4,8	4,4	4,6	5,4

Застосування порядно-діагональних схем підривання на кар'єрах забезпечує оптимальний напрямок відбійки гірських порід зарядами ВР.

Отримані дані свідчать про необхідність і доцільність проектування параметрів масових вибухів під схеми КСП з урахуванням взаємозв'язку показників властивостей, будови гірського масиву і параметрів вибухових робіт. Це може сприяти зниженню енергетичних втрат на дроблення гірських порід, підвищенню якості підірваної гірської маси та рівня ресурсозбереження на кар'єрах скельних порід, а також зменшенню обсягу пилоутворення.

#### 6.5 Підвищення рівня екологічної безпеки процесу відбійки за рахунок управління параметрами розвалу гірської маси

Поряд з досягненням високої якості дроблення гірських порід на кар'єрах вибухові роботи повинні забезпечувати параметри розвалу (ширину і висоту) гірської маси, що зумовлюють мінімальну площу пиління та високопродуктивну і безпечну роботу екскаваторів. Водночас ширина і висота розвалу залежать від потужності вибуху і сил опору масиву гірських порід, що руйнується. Правильне управління такими керованими факторами як: схеми КСП, лінія найменшого опору, мережа свердловин, тип ВР, конструкція заряду, діаметр свердловин та інші, дасть змогу регулювати параметри розвалу гірської маси з метою підвищення рівня екологічної безпеки. Істотне значення під час регулювання параметрів розвалу має відпрацювання уступів висотою від 20 м до 30 м, тобто тоді, коли можуть бути випадки перевищення висоти розвалу встановлених норм за максимальною висотою черпання екскаватором [370].

Для визначення параметрів розвалу гірської маси запропоновано формули ряду авторів [363], [371], які в достатній мірі не враховують структурно-текстурні особливості гірського масиву і приймаються апріорно. Для отримання раціональних параметрів розвалу гірської маси, що задовільняють за нормованими показниками конструктивні моделі одноковшових екскаваторів, необхідно здійснювати відбійку гірської маси

застосуванням порядно-діагональних схем КСП. За допомогою таких схем підривання можна забезпечити напрямок відбійки зарядів, орієнтований відносно тріщин основних систем вертикального залягання, а не відносно лінії відкосу уступу [212]. Дана умова забезпечить більш компактний розвал гірської маси і підвищення продуктивності екскаваторів в процесі її навантаження в транспортні засоби.

Важливими чинниками, що впливають на дальність розльоту і параметри розвалу, є схеми КСП з інтервалами уповільнення не менше 25 мс і конструкція заряду. Для отримання висоти розвалу  $H_p$  не більше висоти уступу  $H$  слід застосовувати порядно-діагональні схеми підривання. Водночас необхідно зазначити, що застосування свердловинних зарядів з повітряними проміжками збільшує дальність переміщення гірської маси і, таким чином, знижує величину  $H_p$  в 1,2–1,3 рази. У той же час використання схем КСП повинно враховувати напрямок відбійки відносно основних систем тріщин. За рахунок кута орієнтації фронту вибухової хвилі відносно систем тріщин  $\alpha_m$  можна регулювати параметри розвалу гірської маси.

Емпірична залежність, що дозволяє оцінити вплив перерахованих факторів на величину  $H_p$ , може бути представлена у наступному вигляді:

$$H_p = K_c \cdot K_k \cdot (H/q) \cdot (1,3 + 0,11 \sin \alpha_m),$$

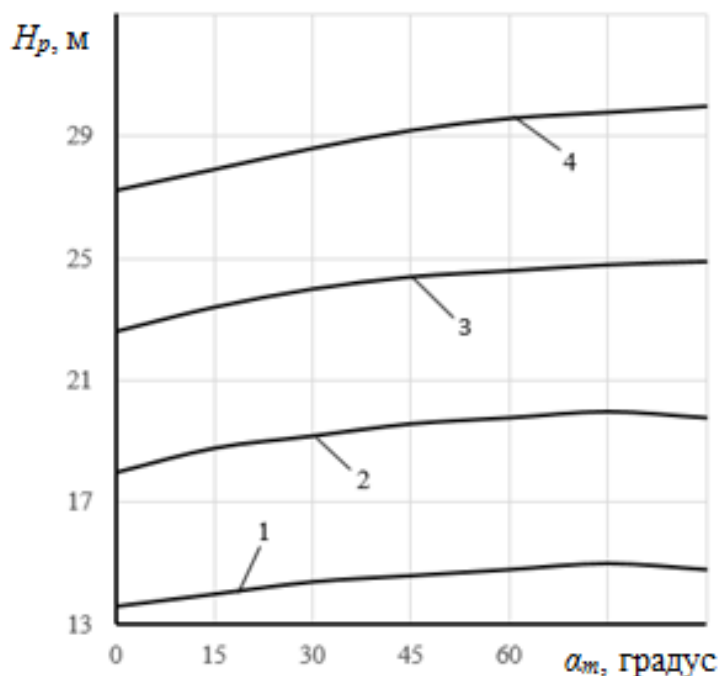
де  $K_c$  – коефіцієнт, що враховує тип схеми КСП (від 0,6 до 0,7);

$K_k$  – коефіцієнт, що враховує конструкцію заряду вибухової речовини (від 0,7 до 0,8).

На рис. 6.20 наведено залежність  $H_p = f(\alpha_m, H)$ . У розрахунках прийнято наступні значення параметрів:  $K_c = 0,7$ ;  $K_k = 0,8$ ;  $q = 0,8$  кг/м<sup>3</sup>.

З аналізу рис. 6.20 видно, що зі збільшенням  $\alpha_m$  від 0° до 90° значення  $H_p$  зростає від 13,7 м до 14,8 м за умови, що  $H = 15$  м. За умови, що  $H = 20$  м значення  $H_p$  зростає від 18,2 м до 19,7 м, а за умови, що  $H = 30$  м – від 27,3 м до 29,6 м.

Зі збільшенням  $q$  від  $0,8 \text{ кг/м}^3$  до  $1,2 \text{ кг/м}^3$  значення  $H_p$  зменшуються. Максимальна  $H_p$  спостерігається за умови, що  $q=0,8 \text{ кг/м}^3$  і в середньому за прийнятих значень  $\alpha_m$  ( $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ ) дорівнює  $14,3 \text{ м}$ .



висота уступу  $H$ : 1 – 15 м; 2 – 20 м; 3 – 25 м; 4 – 30 м

Рисунок 6.20 – Графічна залежність  $H_p$  від  $\alpha_m$

Зміна ширини розвалу гірської маси  $B_p$  залежно від  $\alpha_m$  може бути розрахована за такою залежністю:

$$B_p = \Delta B_p + (H/q) \cdot (1,2 - 0,11 \sin \alpha_m),$$

де  $\Delta B_p$  – ширина буропідривної заходки на блоці порід, що підривається, м.

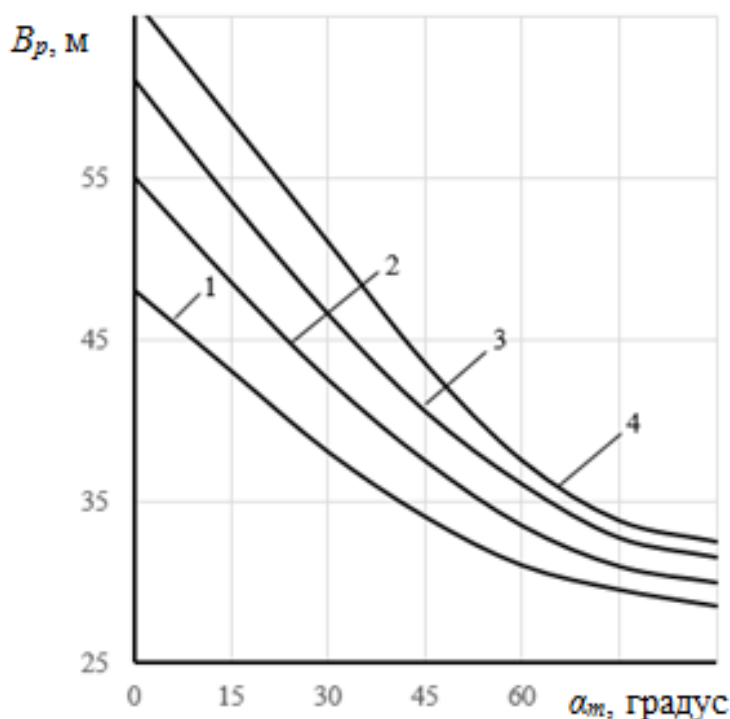
За наведеною формулою виконано розрахунки величини  $B_p$  для різних  $\alpha_m$  за умов різної висоти уступу  $H$ . Водночас  $\Delta B_p$  розраховувався за наступним виразом:

$$\Delta B_p = W + b(n-1), \quad (6.1)$$

де  $b$  – відстань між рядами свердловинних зарядів, м;

$n$  – кількість рядів зарядів на блоці, що підривається.

У розрахунках прийнято:  $W=b=5$  м,  $n = 5$  рядів. Тоді  $\Delta B_p=5+5\cdot4=25$  м. Зміну величини  $B_p$  від  $\alpha_m$  і  $H$  наведено на рис. 6.21, з аналізу якого видно, що зі збільшенням  $\alpha_m$  від  $0^\circ$  до  $90^\circ$  значення  $B_p$  зменшуються. Максимальна величина  $B_p$  спостерігається коли  $\alpha_m=0^\circ$ , а мінімальна – коли  $\alpha_m=90^\circ$ . За умов зміни  $H$  від 15 до 30 м ( $\alpha_m=0^\circ$ )  $B_p$  збільшується від 47,6 м до 67 м, тобто в 1,4 рази, а за умови, що  $\alpha_m=90^\circ$  – в 1,1 рази (від 28,8 м до 32,5 м).



висота уступу  $H$ : 1 – 15 м; 2 – 20 м; 3 – 25 м; 4 – 30 м

Рисунок 6.21 – Графічна залежність  $B_p$  від  $\alpha_m$

Оцінка величини  $B_p$  за відомими і рекомендованою формулою виконана для наступних параметрів:  $H=15$  м;  $q=1,2$  кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta B_p=25$  м;  $F=9$ ;  $V_f=40$  м (табл. 6.11).

З аналізу табл. 6.11 видно, що за умови збільшення  $\alpha_m$  значення  $B_p$  за [363] зростає, а за [371] і рекомендованою формулою (6.1), навпаки, зменшується. Такі результати можуть спостерігатись за різних підходів до



орієнтації лінії фронту відбійки або його напрямку (до вільної поверхні відкосу уступу або до систем тріщин). Залежно від цього величина  $B_p$  може приймати протилежні значення.

Таблиця 6.11 – Порівняльна оцінка зміни  $B_p$  від  $\alpha_m$

Джерело або формула	Значення $B_p$ залежно від $\alpha_m$ , градус						
	0	15	30	45	60	75	90
[363]	0	10,4	20,0	28,4	34,8	38,4	40,0
[371]	45,4	45,0	43,1	40,0	37,7	33,6	29,5
(6.1)	47,6	42,7	38,2	34,2	31,7	29,5	28,8

Перевагу слід віддавати порядно-діагональним схемам КСП з напрямком фронту відбійки щодо систем тріщин масиву гірських порід. У цьому випадку досягається мінімальна величина  $B_p$  і максимальна  $H_p$ , а отже і більш інтенсивне дроблення порід з мінімальним вмістом негабаритної фракції у розвалі гірської маси.

Встановлена залежність  $B_p=f(\alpha_m)$  підтверджується результатами виконаних раніше експериментальних досліджень процесу вибуху за використання діагональних схем КСП (табл. 6.12).

Таблиця 6.12 – Результати обробки даних за експериментальними масовими вибухами на гранітних кар'єрах

Селище – 1				Селище – 2			
Горизонт, м	Кількість вибухів	$\alpha_m$ , градус	$B_p$ , м	Горизонт, м	Кількість вибухів	$\alpha_m$ , градус	$B_p$ , м
162	4	30	41–49	183	4	50	31–38
150	5	36	37–42	170	3	67	22–27

З аналізу наведених даних видно, що збільшення  $\alpha_m$  сприяє зниженню  $B_p$ . Під час збільшення  $\alpha_m$  від  $30^\circ$  до  $67^\circ$  значення  $B_p$  зменшуються від 49 м до 22 м або у 2,2 рази.

## Висновки до розділу 6

1. Розроблено алгоритм цільової оцінки блочності та тріщинуватості масиву, який, крім розмірів блоків та міри тріщинуватості масиву, враховує форму та орієнтацію блоків, а також напрямок простягання та падіння тріщин. Застосування цільового методу оцінки наявності природних окремоостей у масиві і його тріщинуватості є додатковим елементом у загальній методології районування кар'єрів за вибуховістю.

2. Встановлено, що обов'язковою умовою для досягнення рівномірного дроблення гірської маси за рахунок диференційованого розподілу енергії вибуху в масиві, що руйнується, є обґрунтування напрямку найбільш легкого розколу природних окремоостей, який можна реалізувати під час вибухового руйнування скельних порід зарядами ВР за допомогою схем КСП.

3. Розроблено алгоритм послідовності виконання операцій під час підготовки до вибухових робіт, який включає: вивчення та обґрунтування характеру залягання в масиві системних тріщин і природних окремоостей; розроблення класифікацій і карт районування за тріщинуватістю і блочністю; обґрунтування оптимального напрямку відбійки; визначення усередненого радіуса зони дроблення по висоті уступу; розрахунок відстаней між зарядами з урахуванням властивостей і структурно-текстурних особливостей порід; вибір схеми КСП зарядів ВР; розроблення карти районування за вибуховістю порід і на її основі складання проекту масового вибуху; перенесення даних районування порід за вибуховістю в натуру з розміткою місць для буріння свердловин під вибрану схему КСП; буріння свердловин, монтаж вибухової мережі та підривання серії свердловинних зарядів.

4. У результаті проведених досліджень набули подальшого розвитку технологічні рішення щодо визначення раціональних, з урахуванням вимог екологічної безпеки, відстаней між зарядами в ряду і між рядами, що враховують, окрім ефективності пропрацювання уступу, конфігурацію зони

дроблення, характерну для тріщинуватих масивів скельних порід, та її розміри для випадків прямокутної і шахової мереж розташування зарядів. Показано, що відстані між зарядами за шахової мережі розташування, у порівнянні з прямокутною, зумовлюють високу ефективність використання площі руйнування, і за перекриття зон дроблення на 0,34 радіуса великої осі зони дроблення можна досягти величини недопрацьованої площі руйнування масиву 1,21 %.

5. Встановлено, що для кожного видобувного уступу в кар'єрі зі зміною напрямку відбійки щодо систем тріщин  $S$  і  $Q$ , що характеризують ступінь тріщинуватості та блочності, параметри масового вибуху повинні бути різними. Це пояснюється неоднаковими розмірами граней природних окремоостей і їх кількістю під час поширення фронту вибухової хвилі, що зумовлює різну опірність вибуховому навантаженню.

6. Встановлено залежність питомої витрати ВР від діаметру природної окремоості і коефіцієнта тріщинуватості. Запропоновано підхід диференційованого вибору напрямку відбійки та параметрів вибухових робіт з урахуванням тріщинуватості гірського масиву. Застосування порядно-діагональних схем підривання на кар'єрах забезпечує оптимальний напрямок відбійки зарядів за рахунок формування їх за короткою та довгою діагоналями у загальній схемі на блоці порід.

7. Дана кількісна оцінка відносної відстані між зарядами для різних мереж їх розташування та конструкцій діагональних схем. Наведено показники оцінки якості гірської маси залежно від середнього діаметра шматка і часу сповільнення під час вибухів за порядно-діагональними схемами з'єднання зарядів на уступах кар'єру.

8. Отримані дані свідчать про необхідність і доцільність проектування параметрів масових вибухів під схеми КСП з урахуванням взаємозв'язку показників властивостей, будови гірничого масиву і параметрів вибухових робіт. Це сприятиме зниженню енергетичних втрат на дроблення гірських

порід, підвищенню якості гірської маси та зниженню втрат на переподрібнених фракціях, а також зменшенню викидів пилу в атмосферу.

9. Запропоновано підхід до розрахунку висоти та ширини розвалу гірської маси під час вибуху з метою зменшення пилоутворення в процесі руйнування гірських порід та в процесі екскавації через його компактність ( $H_{max}, B_{p min}$ ).

10. Запропоновано залежність висоти розвалу гірської маси від типу конструкції заряду, напрямку залягання тріщин масиву та типу схеми КСП, а також залежність ширини розвалу гірської маси від ширини буропідривної заходки на блоці порід, що підривається, та напрямку залягання тріщин.

Результати проведених досліджень опубліковані у роботах [211], [212], [213], [333], [358], [366], [370].

## **РОЗДІЛ 7 ПРОМИСЛОВА АПРОБАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ, ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИЙ ЕФЕКТ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСІВ ВИБУХОВОГО РУЙНУВАННЯ**

### **7.1 Умови проведення експерименту**

Промислові випробування розроблених заходів проводились на ПрАТ «Товкачівський ГЗК», розташованому на території Першотравневої селищної Ради Овруцького району Житомирської області України.

ПрАТ «Товкачівський ГЗК» є діючим підприємством, що випускає кварцит фракцією 5–25, 25–60 і 25–100 мм, який є сировиною для металургійних заводів. Кварцити не кондиційні (не придатні для феросплавів, динасів і вогнетривів) використовуються як щебінь для будівельних цілей. Виробнича потужність за корисною копалиною 1000 тис. т на рік [372].

Видобувні роботи на 2018 рік плануються в об'ємі 1 000 000 т. Буріння свердловин проводиться станками шарошкового буріння типу СБШ-250-МНА з подальшим підриванням зарядів свердловин. Навантаження корисної породи в кар'єрі проводиться екскаватором типу ЕКГ-5 в автосамоскиди БЕЛАЗ, які транспортують породу на дробарно-сортувальний комплекс. Кар'єр підприємства розташований на відстані 0,5 км від дробарно-сортувального комплексу. Відвал розташований на відстані 100 м від кар'єру на північ.

У геологічній будові розвіданої Товкачівської ділянки Овруцького родовища беруть участь метаморфічні кварцити Овруцької серії верхнього протерозоя і верхньочетверткові, сучасні нерозчленовані і сучасні четверткові відкладення.

Кварцит макроскопічний є породою світло-рожевого, рожевого і рожево-червоного кольору, відрізняється витриманістю мінералогічного

складу, текстури і структури. Залягають вони майже горизонтально з незначним нахилом на північ. Поверхню кварцитів майже повторює рельєф денної поверхні. Абсолютні відмітки поверхні кварцитів в межах контура розвідки змінюються від 163,68 м (св. 108) до 173,77 м (св. 99), складаючи різницю відміток 10,09 м.

Кварцити розбиті численними крутопадаючими (вертикальними) і пологопадаючими (горизонтальними) діагональними тріщинами, які складають від 10–25 до 40–60 см, рідше вони збільшуються до 50–80 см. Горизонтальні тріщини січуть кварцити на відстані одна від одної від 30–40 см до 1,2–1,5 м, з глибиною тріщинуватість майже не зменшується.

Матеріали, що складають породу, містяться в наступних об'ємах: кварцит – 90–98 %, пірофіліт – 1–9 %, рудний мінерал – 0,3–1 %.

На нерівній поверхні кварцитів залягають нерозчленовані верхньочетверткові і сучасні відкладення, представлені сірувато-бурими, сірими, жовтувато-сірими щільними супісками і дрібнозернистими кварцовими уламками, з глибами і уламками кварцитів до 5–35 %.

На супісках залягають піски, потужність яких в межах розкривного вибою кар'єру змінюється від 1,5 м до 7,7 м. Вони зустрічаються майже у всіх виробках. Піски всюди перекриваються ґрунтово-рослинним шаром, представленим тим же гумусованим піском, потужністю від 0,1 м до 0,4 м.

У гідрогеологічному відношенні родовище характеризується наявністю двох водоносних горизонтів. Перший водоносний горизонт приурочений до дрібно-тонкозернистих пісків, супісків і має повсюдне розповсюдження. Водовміщуючими породами є піски і супіски. Джерело живлення горизонту – атмосферні опади. Амплітуда коливання рівня 2,0 м.

Другий водоносний горизонт приурочений до тріщинуватої зони кварцитів. Потужність водоносної частини порід залежить від ступеня тріщинуватості. Обидва водоносні горизонти гідравлічно зв'язані між собою. Живлення другого горизонту відбувається за рахунок атмосферних опадів і перетікання вод з першого горизонту. Режим тріщинних вод також схильний

до сезонних коливань з амплітудою від 0,5 м до 1,0 м. Загальний напрям потоку ґрунтових вод з північного заходу на південний схід. Максимальний очікуваний приток води в кар'єрі (за умов досягнення ним контура і глибини підрахунку запасів) складає 2794 м<sup>3</sup> на добу, існуючий приток води в кар'єрі 800 м<sup>3</sup> на добу.

Кар'єр має чотири видобувних уступи. Висота уступу від 12 м до 15 м. Кут укосу робочих уступів – 80°. Довжина фронту робіт за видобувними уступами від 300 м до 400 м. Ширина робочого майданчика 45 м. Абсолютна відмітка підшови 1-го горизонту – 155 м, 2-го – 140 м, 3-го – 128 м і 4-го – 116 м.

Під час бурових робіт буровий верстат встановлюється на спланованому майданчику і розташовується так, щоб гусениці верстата на уступі знаходились не ближче 3 м від бровки уступу, поза призмою обвалення. Під домкрати верстатів підкладаються дерев'яні підкладки, забороняється підкладати шматки породи. Під час буріння першого ряду свердловин буровий верстат встановлюється так, щоб його вісь була перпендикулярна бровці уступу.

Переміщення бурового верстата з піднятою щоглою по уступу допускається тільки по спланованому майданчику. Під час пересування верстата під лініями електропередачі щогла опускається. Буріння свердловин проводиться із застосуванням обсадних труб. Всі свердловини перекриваються пробками.

Вибухові роботи проводяться в повній відповідності з «Єдиними правилами безпеки при вибухових роботах» спеціалізованою підрядною організацією на договірних умовах відповідно до затвердженого типового проекту.

Радіус вибухонебезпечної зони приймається рівним 400 м. Для осіб, що проводять вибухові роботи встановлюються спеціальні укриття. Місця розташування укриття визначаються місцевими умовами, паспортом на буровибухові роботи, узгоджуються з Держгірпромнаглядом.

Поверхня уступу в радіусі не менше 0,7 м від гирла кожної свердловини перед виробництвом робіт очищається від уламків породи, сторонніх предметів, сміття і іншого. Гирла свердловин в нестійких породах закріплюються обсадними трубами і по закінченню буріння закриваються клапанами. Подрібнення негабариту здійснюється за допомогою бутобою Hyundai L-320LC-7.

ПрАТ «Товкачівський ГЗК» в процесі експлуатації родовища у сфері охорони навколишнього середовища керується «Конституцією України», «Гірничим законом України», «Кодексом України про надра», Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища», іншими законами України і прийнятими відповідно до них нормативно-правовими актами.

Проведення гірничих робіт відкритим способом чинить на навколишнє середовище вплив у вигляді забруднення атмосфери, водних ресурсів і зміни рельєфу. Основними джерелами забруднення атмосфери є бурові роботи, масові вибухи і вантажні роботи.

Для охорони атмосфери від забруднення буріння свердловин передбачене верстатами, обладнаними пилопридушуючими установками. Придушення пилу на дорогах, під час навантаження порід в забої в теплий період року (безморозний) здійснюється зрошуванням дороги і породи в забої поливомієчною машиною. Зниження пилу під час проведення масових вибухів відбувається за рахунок того, що свердловини є обводненими, а також зрошуванням ділянок, що готуються до вибуху. Є дозвіл на викиди забруднюючих речовин в атмосферу стаціонарними джерелами. Крім того намічені наступні заходи щодо скорочення викидів шкідливих речовин:

- у дробарці, місцях інтенсивного пилоутворення здійснювати гідропилопридушення;
- виробництво масових вибухів і розробку негабариту проводити в неробочий час;



- заборона роботи двигунів автосамоскидів на холостому ходу під час значних стоянок;
- заборона роботи автосамоскидів з несправною системою подачі палива.

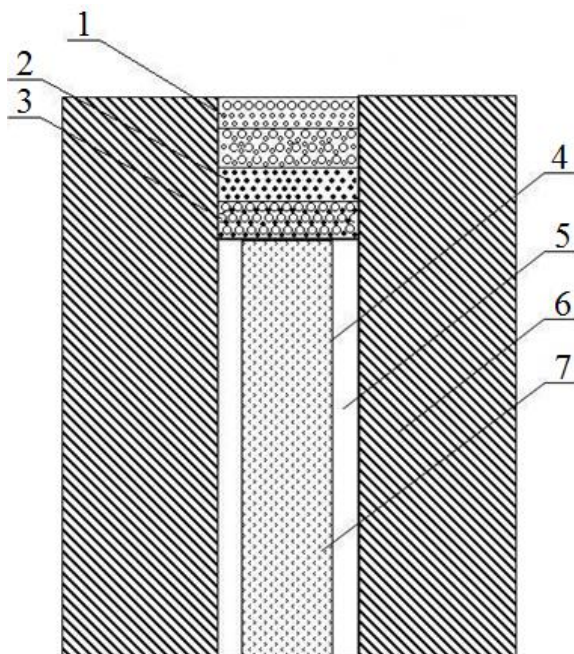
## 7.2 Результати промислових випробувань

Для дослідження впливу конструкції свердловинних зарядів ВР (рис. 7.1) на результат дроблення масиву гірських порід проведено масовий вибух, який розділено на 2 серії. Вибух проводився на уступі № 4, блоці № 8, горизонт +116. Загальна кількість свердловин – 30 шт. Діаметр свердловин – 250 мм. Довжина свердловини – 14 м. Довжина перебуру – 2–3 м. Свердловини бурились порядно згідно квадратної мережі свердловин, розмірами 7 м × 7 м у 4 ряди (рис. 7.2). Обводненість уступу від 0 м до 6 м. Буріння проводилось станком СБШ-250 МНА 32. Вибухова речовина – Гранеміт И-30 У. Засоби ініціювання: шашка тротилова Т-400Г, електродетонатор ЕД-8Ж, неелектрична система ініціювання (УНС). Інтервал уповільнення прийнято рівним 20–30 мсек.

Перші від вільної поверхні два ряди свердловин заряджались з урахуванням розроблених рекомендацій (табл. 7.1). У свердловини опускався поліетиленовий рукав діаметром 160 мм. Рукав заповнювали ЕВР Гранеміт И-30 У. У проміжок між рукавом і стінкою свердловини подавалась вода до рівня рукава. Після чого у воду засипався Ферум (III) сульфат. Враховуючи, що об'єм необхідного розчину  $0,3 \text{ м}^3$  або 300 л, необхідна кількість води становила 260 л, а Ферум (III) сульфату – 174 кг. Відповідно за такої пропорції (60:40) можна досягнути густини розчину  $1449 \text{ кг/м}^3$ .

Забійку формували наступним чином згідно рис. 7.1 та табл. 7.1. На першому етапі засипали  $2/3$  забійки сумішшю, утвореною щебнем фракції 5–25 мм і негашеним вапном. Необхідна маса негашеного вапна вираховувалась за формулою (4.7) і становила 59 кг на одну свердловину. На

другому етапі засипалась верхня частина забійки (1/3 забійки) сумішшю, утвореною щебнем фракції 5–25 мм та клиноптилолітом. Необхідна маса цеоліту визначалась за формулою (4.8) і становила 14 кг.



- 1 – цеоліт; 2 – негашене вапно; 3 – щебінь фракції 5–25 мм;  
 4 – поліетиленовий рукав; 5 – проміжок між зарядом і стінкою свердловини;  
 6 – гірська порода; 7 – вибухова речовина

Рисунок 7.1 – Розроблена конструкція заряду із забійкою

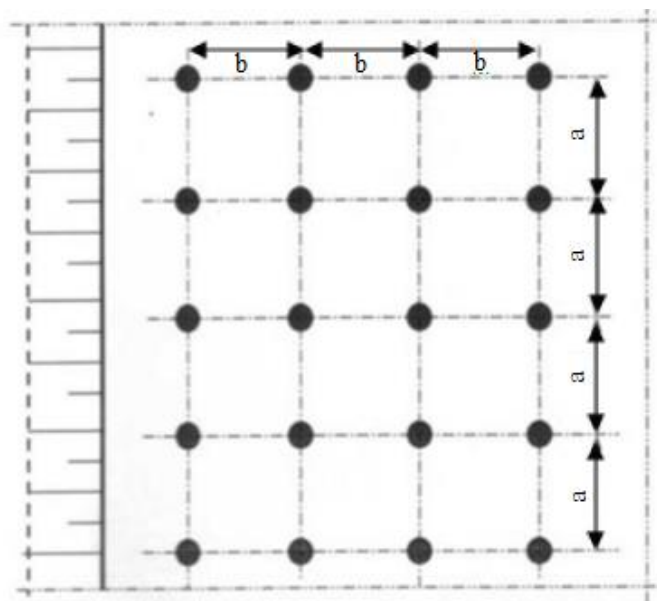


Рисунок 7.2 – Схема розташування зарядів

Таблиця 7.1 – Параметри конструкції заряду для першої серії вибуху

Показники	Величина показника
Діаметр свердловин, мм	250
Діаметр заряду, мм	160
Довжина свердловин, м	14
Довжина перебуру, м	2
Довжина забійки, м	3
Для формування проміжку між зарядом і стінкою свердловини:	
кількість води, л	260
кількість Ферум (III) сульфату для утворення водного розчину, кг	174
Для формування забійки:	
кількість щебеню, кг	459
кількість негашеного вапна, кг	59
кількість цеоліту, кг	14

Інші два ряди свердловин заряджали без застосування поліетиленового рукава на повний об'єм свердловин Гранемітом И-30 У (табл. 7.2). Забійку виконували із щебеню фракції 5–25 мм.

Таблиця 7.2 – Параметри конструкції заряду для другої серії вибуху

Показники	Величина показника
Діаметр свердловин, мм	250
Діаметр заряду, мм	250
Довжина свердловин, м	14
Довжина перебуру, м	2
Довжина забійки, м	4
Для формування забійки:	
кількість щебню, кг	530

Критеріями оцінки ефективності розробленої конструкції заряду приймалися: вихід переподрібненої фракції, вихід товарної фракції, кількість пилу та газів, викинутих в атмосферне повітря. Для визначення фракційного складу гірської маси застосовувався метод косокутної фотопланіметрії. Результати виходу переподрібненої фракції наведено у табл. 7.3 та на рис. 7.3.

Таблиця 7.3 – Фракційний склад гірської маси за результатами двох серій масових вибухів

Серія вибуху/Фракційний склад у %	0–5 мм	5–100 мм	> 100 мм
I	4	14	82
II	8	15	77

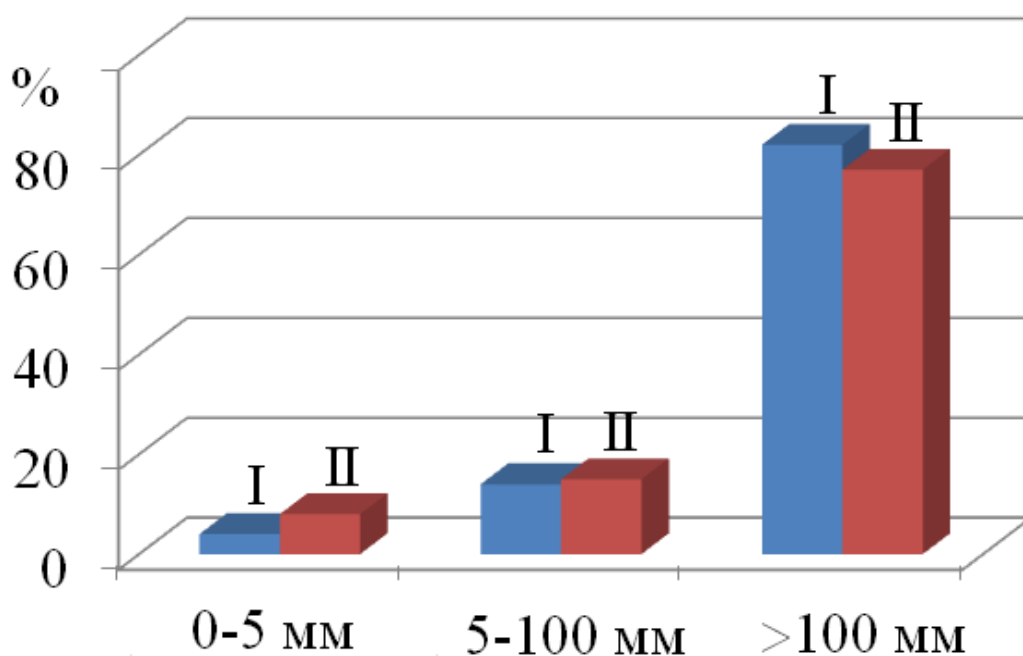


Рисунок 7.3 – Фракційний склад гірської маси за результатами I та II серій вибуху

Як видно з табл. 7.3 та рис. 7.3 об'єм зони переподрібнення зменшився з 8 до 4 % під час застосування розробленої конструкції заряду. Водночас обсяг товарної продукції майже не змінився. Зросла доля негабариту в загальному об'ємі роздробленої гірської маси на 5 %. Очевидно, що така ситуація зумовлена тим, що на підприємстві прийнята широка мережа свердловин 7 м × 7 м. Таким чином підприємство намагається уникати значних об'ємів переподрібнених фракцій і втрати ресурсу, віддаючи перевагу небариту, який роздрібнюється бутобоєм. З рис. 7.3 слідує, що основна доля фракцій є негабаритною і потребує додаткового подрібнення перед подрібненням її на дробарно-сортувальному комплексі.

У процесі використання запропонованої конструкції заряду за умови зменшеної мережі свердловин можна було б досягнути більш рівномірного фракційного складу зі зменшеним виходом переподрібнених фракцій (підвищення рівня ресурсозбереження), що підтверджено експериментом. Окрім того це дозволило б зменшити навантаження на навколишнє середовище. Водночас зросли б затрати на буріння і затрати на формування конструкції заряду. Еколого-економічна ефективність запропонованого рішення буде наведена у наступному пункті роботи.

Заміри концентрації пилу у повітрі робочої зони проводились через 1 годину після вибуху на відстані 50 м та на межі СЗЗ у напрямку населеного пункту (Першотравневе) аерометром. Результати вимірювань наведено у табл. 7.4 для обох серій вибуху. Як видно з табл. 7.4, концентрація пилу в процесі використання запропонованої конструкції забійки зменшилась на 23 % у порівнянні з традиційною на відстані 50 м від епіцентру вибуху і на 20 % на межі СЗЗ.

На тих же відстанях проводились заміри концентрацій шкідливих газів газоаналізатором ОКСІ-5М. Визначалась концентрація СО та NO<sub>2</sub>. Результати вимірювань наведено у табл. 7.5.

Таблиця 7.4 – Концентрація пилу на різних відстанях від епіцентру вибуху

Серія вибуху/Концентрація пилу, мг/м <sup>3</sup>	На відстані 50 м від епіцентру вибуху	На межі санітарно-захисної зони
I	1,4	0,08
II	1,8	0,1

Таблиця 7.5 – Концентрація шкідливих газів на різних відстанях від епіцентру вибуху

Серія вибуху/Концентрація шкідливих газів, мг/м <sup>3</sup>	Шкідливі гази	На відстані 50 м від епіцентру вибуху	На межі санітарно-захисної зони
I	CO	-	-
	NO <sub>2</sub>	-	-
II	CO	15	9
	NO <sub>2</sub>	1	-

Заміри концентрації газів у атмосферному повітрі показали (табл. 7.5), що за першої серії вибуху наявність CO та NO<sub>2</sub> не зафіксовано, а за другої – їх концентрація на відстані 50 м від епіцентру вибуху становила 15 мг/м<sup>3</sup> і 1 мг/м<sup>3</sup> відповідно, на межі СЗЗ – наявність NO<sub>2</sub> не зафіксовано, а концентрація CO склала 9 мг/м<sup>3</sup>. Результати вимірювань підтвердили ефективність використання забійки на основі негашеного вапна та цеолітів.

### 7.3 Еколого-економічна ефективність запропонованих рішень

Очевидний еколого-економічний ефект для гірничого підприємства може бути досягнутим за рахунок застосування розробленої конструкції заряду, яка передбачає розміщення заряду ВР у поліетиленовому рукаві, створення за рахунок цього проміжку між зарядом і стінкою свердловини і заповнення проміжку розчином з високою акустичною жорсткістю. А також за рахунок конструкції забійки, яка базується на хемосорбції газів негашеним вапном та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами.

За рахунок впровадження у технологію ПР розробленої конструкції свердловинного заряду можна досягнути зменшення зони переподрібнення, зниження викиду пилу, підвищити рівень ресурсозбереження та зменшити дію сейсмічного ефекту [373]. Однак, водночас ймовірно забруднення перетнутих водних горизонтів, що в подальшому зумовлює необхідність підготовки води в залежності від цільового призначення [374], [375].

На прикладі Товкачівського ГЗК розраховано, яку кількість гірської маси за затверджених уже параметрів вибуху можна перенести із переподрібненої фракції у товарну. Об'єм підірваної гірської маси у середньому, згідно даних підприємства, становить за рік 750 тис. т.

Таким чином, з урахуванням результатів експерименту обсяг переподрібненої фракції, за умов застосування традиційної конструкції заряду, становитиме близько 30 000 м<sup>3</sup>/рік, а за умов застосування запропонованої конструкції – близько 15 000 м<sup>3</sup>/рік. Додатковий дохід за реалізації товарної продукції в такому об'ємі складе:

$$15\,000\text{ м}^3/\text{рік} \cdot 2700\text{ кг/м}^3 \cdot 10^{-3} \cdot 100\text{ грн/т} = 4\,050\,000\text{ грн/рік.}$$

Водночас затрати, які понесе підприємство на закупку необхідних матеріалів, будуть включати:

- вартість поліетиленового рукава – 390 грн/500 м;
- вартість Ферум III сульфату – 1100 грн/т.

Вартістю води можна знехтувати, так як значна кількість свердловин є обводненими і її можна забирати не з комунального постачання. Необхідні витрати на закупку поліетиленових рукавів також можна зменшити у 2 рази, так як для обводнених свердловин підприємство змушене їх закуповувати і без впровадження нової конструкції заряду.

Виходячи із кількості свердловин на рік закупка поліетиленових рукавів необхідного діаметру обійдеться підприємству близько 8 000 грн з урахуванням середньої вартості на ринку. Сума на закупку Ферум III

сульфату, з урахуванням того, що на одну свердловину необхідно 175 кг, складе 121 275 грн/рік. Витрати на транспортування складуть близько 5 000 грн.

Таким чином, економічний ефект від впровадження лише розробленої конструкції заряду зі стандартною забійкою складе:

$$E_{зар} = 4\,050\,000 - 8\,000 - 121\,275 - 5\,000 = 3\,915\,725 \text{ грн.}$$

За умови впровадження запропонованої конструкції забійки з урахуванням [302] можна уникнути або мінімізувати податок за викиди забруднюючих речовин. Так, під час традиційного підривання в атмосферу з 1 кг Гранеміту И30-У викидається:  $\text{NO}_2$  – 21 л;  $\text{CO}$  – 27 л;  $\text{CO}_2$  – 78 л;  $\text{N}_2$  – 215 л. Орієнтовні витрати на виплату екологічного податку за такі викиди наведено у табл. 7.6. Обсяги викидів розраховано з урахуванням середньої кількості свердловин на рік, та відповідної маси ВР, що в них заряджається (360 кг ВР на 1 свердловину в середньому).

Однак для реалізації конструкції свердловинної забійки підприємству необхідно включити у статті своїх витрат витрати на негашене вапно та цеоліти:

- вартість негашеного вапна – 900 грн/т;
- вартість цеоліту – 5000 грн/т.

Виходячи із кількості свердловин на рік та необхідної кількості негашеного вапна (в середньому 60 кг на одну свердловину), така закупка обійдеться підприємству у близько 34 000 грн з урахуванням середньої вартості на ринку. Сума на закупку цеоліту, з урахуванням того, що на одну свердловину необхідно в середньому 15 кг, складе 50 000 грн/рік. Витрати на транспортування складуть близько 10 000 грн.



Таблиця 7.6 – Орієнтовні суми екологічного податку, які сплачує підприємство за рік

Забруднююча речовина	Ставка податку, грн/т	Обсяг викиду, т/ рік	Сума екологічного податку, грн/рік
Нітроген (IV) оксид	2451,84	329	806 655
Карбон (II) оксид	92,37	7655	707 092
Карбон (IV) оксид	0,41	35027	14 361
Сума			1 528 108

Таким чином, економічний ефект від впровадження лише розробленої конструкції забійки із традиційною конструкцією заряду складе:

$$E_{заб} = 1\,528\,108 - 34\,000 - 50\,000 - 10\,000 = 1\,434\,108 \text{ грн.}$$

Загальний еколого-економічний ефект запропонованих рішень складе:

$$E = 3\,915\,725 + 1\,434\,108 = 5\,349\,833 \text{ грн/рік.}$$

У результаті запровадження розроблених рішень підприємства гірничої галузі зможуть отримати не лише еколого-економічний ефект, а й соціальний, пов'язаний з мінімізацією ризиків для здоров'я працівників та населення прилеглих територій.

#### 7.4 Перспективи підвищення рівня екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню

Об'єми виробництва щебеню в Україні постійно зростають. Підвищений попит на високоякісний щебінь пов'язаний із виконанням державних програм будівництва доріг та доступного житла [215]. Під час відкритої розробки

родовищ скельних порід спостерігається значний вплив на навколишнє середовище. Основними джерелами забруднення є масові вибухи на кар'єрах (утворення ПГХ в атмосфері), навантаження та транспортування гірської маси (підняття пилу, газовиділення під час роботи дизельних двигунів), переробка мінеральної сировини на дробильно-сортувальних заводах (шум, вібрація, пиловиділення), відвалоутворення (пиловиділення, заняття родючих земель під відвали), складування готової продукції на відкритих складах (пиловиділення) [376].

Окрім того, всі кар'єри будіндустрії характеризуються підвищеним радіаційним фоном, а території радіаційного забруднення зростають за рахунок розширення кар'єрів, відвалів та розсіювання сировини [262]. В Україні, яка володіє значними запасами гранітної мінеральної сировини, близько 40 % родовищ розташовані поблизу населених пунктів, магістральних шляхів сполучення і інших об'єктів громадського призначення [376], що створює ризик не лише для навколишнього середовища, але й для населення прилеглих територій [204].

Отримання якісного дроблення гірської маси без зниження природної міцності і з мінімальним виходом некондиційних фракцій в умовах кар'єрів досягається застосуванням науково-обґрунтованих параметрів, що впливають на процес вибухового руйнування гірничого масиву. У результаті постійного розвитку науки про вибух розроблено практичні рекомендації щодо вибору раціональних параметрів ПР на стадіях проектування і виконання на практиці. Під час вирішення деяких задач в даній області використовуються комп'ютерні технології, що дозволяють підвищити точність розрахунків і скоротити витрати часу на їх виконання. В останні роки спостерігається наполеглива тенденція розроблення нових типів ВР місцевого приготування, систем неелектричного ініціювання зарядів і більш точних за часом спрацювання електродетонаторів. Це зумовило необхідність розроблення різноманітних конструкцій зарядів і схем КСП, а перед вченими підриwnиками і практиками постало завдання, використовуючи сучасні

досягнення, підвищити ефективність використання енергії вибуху в різних гірничо-технологічних умовах кар'єрів. Однак, крім рівномірності дроблення гірської маси, обов'язковою умовою є підвищення технологічної і екологічної безпеки з одночасним зниженням затрат на виконання робіт.

З метою підвищення економічної (в тому числі за рахунок ресурсозбереження) та екологічної ефективності ПР в кар'єрах виконано теоретичні та експериментальні дослідження, пов'язані з удосконаленням технології вибухового руйнування скельних порід. У результаті проведених досліджень розроблено ресурсозберігаючу конструкцію заряду, яка дозволяє зменшити обсяг пилоутворення; розроблено конструкцію забійки для нейтралізації шкідливих газів, утворених під час вибуху; обґрунтовано раціональну мережу свердловин та напрямок відбійки свердловинними зарядами на основі карт районування масивів гірських порід за вибуховістю; запропоновано нові підходи щодо вибору ВР, яка б забезпечувала високі екологічні показники вибуху.

Результати роботи пройшли апробацію (Додаток В) та впроваджені (Додаток Г) в практичну діяльність ПрАТ «Товкачівський ГЗК», прийняті до впровадження АТ «Коростенський кар'єр (Додаток Д). Окрім того, використані Науково-дослідним інститутом безпеки праці та екології в гірничорудній і металургійній промисловості (НДІБПГ КНУ) ДВНЗ «Криворізький національний університет» (Додаток Е), а також в процесі викладання дисциплін «Процеси та апарати природоохоронних технологій» та «Технології основних виробництв і промислової екології» для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» Сумського державного університету (Додаток Ж); «Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт» для студентів спеціальності 184 «Гірництво» Житомирського державного технологічного університету (Додаток И).

Вивчення екологічної обстановки навколо ГПК з виробництва щебеню, обґрунтування й розробка заходів для поліпшення цієї обстановки є важливою

складовою забезпечення екологічної безпеки значних територій. Тенденція розвитку науково-технічного прогресу в області розробки родовищ нерудних будівельних матеріалів сприяє цьому, однак залишається невирішеною низка проблем та задач.

Особливістю нерудної сировини для будівельних матеріалів є багатогалузевий характер її використання. За показником обсягу мінеральної сировини промисловість будматеріалів знаходиться поза конкуренцією у порівнянні з іншими галузями. Тому особливо важлива роль в даному випадку приділяється проблемі заощадження мінеральних, матеріальних і енергетичних ресурсів у всіх технологічних процесах підприємства з урахуванням необхідності зниження (або повного виключення) їх негативного впливу на навколишнє середовище. Комплексна оптимізація параметрів технологічних процесів визначає ефективність роботи підприємства в цілому (табл. 7.7). Кожен технологічний процес повинен розглядатись з урахуванням фізико-технічних і гірничо-геологічних характеристик порід. Під час розрахунку параметрів кожного технологічного процесу для конкретних умов повинні враховуватись сучасні вимоги щодо ресурсозбереження та підвищення рівня екологічної безпеки ГПК [206].

Таблиця 7.7 – Перспективи удосконалення технологічних процесів на ГПК з виробництва щебеню

<b>Технологічний процес</b>	<b>Перспективи удосконалення</b>
Бурові роботи	Використання сучасних бурових верстатів із спеціальною системою пилоподавлення, продувки і пиловловлення
Вибухові роботи	Розроблення технологічних рішень, які б дозволили збільшити потужність вибухової підготовки для застосування циклічної технології виробництва щебеню з мінімальним впливом на довкілля
Екسкавація гірської маси	Застосування високопродуктивних фронтальних навантажувачів для економії робочого часу і зниження енергозатрат
Транспортування гірської маси	Застосування крутопохилих конвеєрів або переведення приводів кар'єрних машин на електропривід
Механічне подрібнення гірської маси	Модернізація дробарного обладнання з метою виробництва щебеню різноманітних геометричних форм та розробка способів пилоподавлення під час роботи дробарного устаткування
Відвалоутворення	Вторинна переробка відвалів

*Бурові роботи.* Ефективність буріння вибухових свердловин визначається швидкістю буріння, яка залежить від конструктивних вузлів бурового верстата і властивостей гірських порід. В даний час на зміну широко поширеного шарошечного способу буріння приходять верстати зарубіжного виробництва типу Atlas Copco [377]. Підвищення продуктивності цих станків стало можливим завдяки розробці нової конструкції бурового обладнання Cop Rod у вигляді лінійних трубчатих секцій з розміщенням всередині ударних штанг і винесенням потужного гідроударника на їх вершину. На цих станках використовуються також спеціальні бурові коронки з подовженим хвостовиком для з'єднання з буровою штангою.

Для мінімізації інтенсивного пиловиділення в атмосферу станки Atlas Copco обладнані спеціальною системою пилоподавлення. Водночас системи продувки і пиловловлення забезпечують високу очистку свердловин від бурового шламу. Окрім того, бурові станки обладнані програмним управлінням, що дозволяє регулювати режим буріння з фіксацією енергетичних і міцнісних характеристик порід для використання їх в подальшому під час проектування параметрів масових вибухів.

Станки такого типу дозволяють бурити свердловини діаметром від 100 мм до 180 мм, що значно підвищує їх продуктивність, зменшує енергоємність процесу з одночасним зниженням пиловиділення і рівня шуму в робочій зоні.

*Вибухові роботи.* Ефективність даного процесу базується на встановлених закономірностях протікання фізичних і газодинамічних явищ як в зарядній порожнині під час підривання ВР, так і під час наступного руйнування гірничого масиву. Енергетичною основою процесу є ВР. Домінуюче застосування в Україні почали отримувати ЕВР марки «Україніт» [378], ВР з використанням конверсійних боєприпасів марки «ЕРА» [379], багатокomпонентні розсіпні ВР місцевого приготування типу комполайтів і поліміксів (розробки ПрАТ «Техновибух») [309] та ін. Розрахунок параметрів ПР здійснюється з урахуванням конкретних гірничо-технологічних умов на

основі районування кар'єрних полів з використанням програмного забезпечення.

Під час руйнування порід середньої і нижче середньої міцності альтернативою вибуховому способу може бути механічний з використанням гірничих комбайнів марки «Virtgen» [380]. За умови застосування цього способу виключаються буріння, підривання, екскавація, а у ряді випадків, і механічне подрібнення на каменедробильних заводах.

Перспективою за даним напрямком є розроблення технологічних рішень (параметрів ПР), які б дозволили збільшити потужність вибухової підготовки для можливості застосування циклічної технології виробництва щебеню та застосування техніки безперервної дії з мінімальним впливом на довкілля.

*Екскавація гірської маси.* У даному процесі провідне місце займають екскаватори типу мехлопати (ЕКГ), переваги та недоліки яких загальновідомі. Перспективним напрямком для умов нерудних кар'єрів, особливо глибоких, слід розглядати застосування високопродуктивних фронтальних навантажувачів, що забезпечить найменший ресурс робочого часу і зниження енергозатрат на одиницю об'єму гірської маси, що транспортується.

*Кар'єрний транспорт.* Застосування транспортних технологій і транспортних машин для конкретних умов виробництва варто розглядати з точки зору оптимізації енергозатрат, техніко-економічних показників і екологічних обмежень щодо забруднення навколишнього середовища. За умови збільшення глибини кар'єра, довжини і кута підйому транспортної дороги (30–80°) доцільним є застосування крутопохилих конвеєрів. У ряді випадків можуть використовуватись фронтальні навантажувачі, що відрізняються підвищеною швидкістю переміщення, ремонтпридатністю, безпекою і обслуговуванням.

На сьогодні, враховуючи динаміку росту цін на дизельне паливо, найбільш перспективним є використання або переведення приводів сучасних енергозатратних кар'єрних гірничих машин на електропривід, що дозволить

за умов правильного використання тарифних коефіцієнтів на електроенергію, значно покращити економічні показники гірничого підприємства.

*Механічне подрібнення гірської маси.* Даний процес має декілька варіантів технологічних схем переробки гірської маси на щебінь. Останнім часом застосовують схеми, які забезпечують отримання кубовидного щебеню з утилізацією відходів виробництва. Окрім вирішення питання підвищення ефективності роботи дробарно-сортувального комплексу обов'язковою умовою є розробка і практична реалізація засобів і способів пилоподавлення на всіх ланках технологічної лінії розподілення щебеневої продукції за фракціями з утилізацією відходів.

Перспективним напрямком для даного технологічного процесу є модернізація дробарного обладнання з метою виробництва щебеню різноманітних геометричних форм, зокрема кубовидної, а також у формі витягнутого та сплюсненого сфероїда. Щебінь такої форми характеризується високою стійкістю в процесі підготовки та експлуатації фундаментів, злітно-посадкових смуг аеропортів і може бути використаний для будівництва об'єктів спеціального призначення.

*Відвалоутворення.* Основною задачею даного процесу є вибір раціональної схеми формування відвалів внутрішнього і зовнішнього розташування із застосуванням різноманітного гірничого обладнання (екскаватори, бульдозери, конвеєри). Вибір того чи іншого варіанту повинен базуватись на науковому обґрунтуванні у взаємозв'язках з технологічними параметрами і проектними рішеннями, виходячи із конкретних умов функціонування підприємства. Водночас встановлення рівня впливу процесу відвалоутворення на навколишнє середовище є обов'язковою умовою.

Враховуючи цінність мінеральної сировини, а саме наявність у її складі кремнезему, перспективним напрямком є вторинна переробка відвалів. Цінність такої сировини безумовна, так як кремнезем використовують для виробництва скла, сонячних батарей, радіотехнічних деталей, мікропроцесорної техніки тощо. За результатами досліджень стану ґрунтів

прилеглих до відвалів територій можна зробити висновок, що породи з високим вмістом кремнезему можуть служити основою для виробництва добрив сільськогосподарського призначення, так як підтверджено їх позитивний вплив на активність росту культур.

У роботі розроблено науково-теоретичні основи екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню шляхом удосконалення вибухових робіт на кар'єрах скельних порід. Наступним кроком повинна бути оцінка впливу процесів транспортування та подрібнення гірської маси на стан прилеглих територій. Зокрема, розробка рекомендацій щодо підвищення рівня екологічної безпеки процесів транспортування та механічного подрібнення гірської маси. Окрему долю досліджень необхідно присвятити підвищенню рівня екологічної безпеки відвалів. Для зменшення радіаційного навантаження на довкілля – розробити заходи щодо його мінімізації в районі розміщення кар'єрів скельних порід.

#### Висновки до розділу 7

1. Проведено промислові випробування розроблених заходів на ПрАТ «Товкачівський ГЗК». Критеріями оцінки ефективності розробленої конструкції заряду приймались: вихід переподрібненої фракції, вихід товарної фракції, кількість пилу та газів викинутих в атмосферне повітря. Для визначення фракційного складу гірської маси застосовувався метод косокутної фотопланіметрії. Для визначення концентрацій шкідливих газів використовувався газоаналізатор OKSI-5M, пилу – аспіратор «АЕРА».

2. Результати випробувань показали, що розмір зони переподрібнення зменшився з 8 % до 4 % за умов застосування розробленої конструкції заряду. Водночас обсяг товарної продукції майже не змінився. Зросла доля негабариту в загальному об'ємі роздробленої гірської маси на 5 %.

3. Визначено, що концентрація пилу в процесі використання запропонованої конструкції забійки зменшилась на 23 % у порівнянні з



традиційною на відстані 50 м від епіцентру вибуху і на 20 % на межі СЗЗ. Заміри концентрації газів у атмосферному повітрі показали, що за першої серії вибуху наявність СО та NO<sub>2</sub> не зафіксовано, а за другої – їх концентрація на відстані 50 м від епіцентру вибуху становила 15 мг/м<sup>3</sup> і 1 мг/м<sup>3</sup> відповідно, на межі СЗЗ – наявність NO<sub>2</sub> не зафіксовано, а концентрація СО склала 9 мг/м<sup>3</sup>. Результати вимірювань підтвердили ефективність використання забійки на основі негашеного вапна та цеолітів.

4. Загальний еколого-економічний ефект запропонованих рішень склав 5 349 833 грн/рік. У результаті запровадження розроблених рішень підприємства гірничої галузі зможуть отримати не лише еколого-економічний ефект, а й соціальний, пов'язаний з мінімізацією ризиків для здоров'я працівників та населення прилеглих територій.

5. У роботі розроблено науково-теоретичні основи екологічної безпеки ГПК з виробництва щебеню шляхом удосконалення технології вибухових робіт на кар'єрах скельних порід. Наступним кроком повинна бути оцінка впливу процесів транспортування та подрібнення гірської маси на стан прилеглих територій. Окрему долю досліджень необхідно присвятити підвищенню рівня екологічної безпеки відвалів. Для зменшення радіаційного навантаження на довкілля – розробити заходи щодо його мінімізації в районі розміщення кар'єрів скельних порід.

Результати проведених досліджень опубліковані у роботах [204], [206], [373]–[375].

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна науково-практична задача, що полягає у розробленні науково-теоретичних основ екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню західного регіону України шляхом удосконалення елементів технології вибухових робіт на кар'єрах скельних порід.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному.

1. Встановлено залежність зміни радіаційного фону від висоти уступу кар'єра, яка носить лінійний характер, зокрема визначено, що гамма-фон відпрацьованого кар'єрного простору збільшується з заглибленням кар'єру за рахунок екранування радіаційного поля бортами і відкосами кар'єру та більшого вмісту стійких радіоактивних акцесорних мінералів в глибинних горизонтах.

2. Встановлено залежність кількості хромосомних патологій рослин-індикаторів від відстані до гірничопромислового комплексу та визначено, що головними типами аберацій, які виявлено у меристематичних клітинах корінців обраних тест-об'єктів є делеції та транслокації.

3. Встановлено закономірність проходження хвиль тиску в процесі вибуху залежно від акустичної жорсткості заповнювача проміжку між зарядом та стінкою свердловини, його величини. Визначено, що зі збільшенням акустичної жорсткості заповнювача під тиску у ближній до заряду зоні зменшується на 15–20 %. Зі збільшенням величини проміжку за рахунок застосування зменшених діаметрів зарядів ефект зниження обсягу пилоутворення посилюється.

4. Встановлено закономірності проходження хвиль тиску під час вибуху для різних типів скельних порід. Визначено, що зменшення піку тиску внаслідок використання в якості заповнювача проміжку водного розчину з високою акустичною жорсткістю спостерігається у всіх типах

скельних порід. Зокрема, найкраще цей ефект прослідковується у породах з меншою акустичною жорсткістю.

5. Встановлено, що розчини з більшою акустичною жорсткістю дозволяють зменшити обсяг пилоутворення та підвищити однорідність фракційного складу гірської маси. Це реалізується за рахунок зменшення амплітуди хвиль тиску на межі розподілу середовищ на 20 % і більше та збільшення ширини амплітуди на 25–30 %.

6. Розроблено конструкцію забійки, яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів, утворених у процесі вибухового руйнування скельних порід, і базується на хемосорбції газів негашеним вапном або відходами виробництва, які його включають, та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами. Вперше отримано та науково-обґрунтовано кількісно-якісні характеристики адсорбуючого складу в забійці свердловини залежно від типу вибухової речовини, кількості та типу шкідливих газів, утворюваних нею під час вибуху та параметрів свердловини. Оцінку впливу вибухової речовини на навколишнє середовище пропонується здійснювати за концентрацією шкідливих газів у пилогазовій хмарі, розрахованою з урахуванням газів, поглинутих забійкою.

7. З метою зменшення кількості утворюваних у результаті вибуху газів запропоновано, за можливості, коригувати хімічний склад вибухової речовини без зміни рецептури. Встановлено закономірність зміни кількості утвореного Нітроген (II) оксиду під час вибуху від хімічного складу дизельного палива у вибуховій речовині. Зміна хімічного складу дизельного палива дає можливість змінити величину кисневого балансу і, відповідно, кількість утворених під час вибухів газів з 10,75 л NO на 1 кг вибухової речовини для дизельного палива  $C_{13}H_{10}$  до 2,22 л NO на 1 кг вибухової речовини для дизельного палива  $C_{13}H_{23}$ , що у 5 разів менше.

8. Розроблено комплексний підхід щодо вибору вибухової речовини у поєднанні з забійковим матеріалом, який відрізняється від відомих тим, що на першому етапі здійснюється вибір за коефіцієнтом передачі енергії вибуху

в масив, на другому – відбувається за можливості коригування хімічного складу вибухової речовини без зміни рецептури, на третьому – підбирається відповідний тип забійкового матеріалу, на четвертому етапі – за наявності альтернативних вибухових речовин проводиться їх порівняльна оцінка за впливом на довкілля з урахуванням матеріалів забійки, на п'ятому – проводиться оцінка за економічними показниками.

9. Розроблено алгоритм цільової оцінки блочності та тріщинуватості масиву, який, крім розмірів блоків та міри тріщинуватості масиву, враховує форму та орієнтацію блоків, а також напрямок простягання та падіння тріщин.

10. Розроблено алгоритм послідовності виконання операцій під час проектування параметрів вибухових робіт, який включає: вибір схеми короткосповільненого підривання зарядів, що забезпечує орієнтацію фронту робіт в оптимальному напрямку; перенесення схеми короткосповільненого підривання в натуру; розрахунок розмірів і обґрунтування геометрії мережі свердловин під схему підривання з урахуванням усередненого радіуса зони дроблення; розмітку місць розташування свердловин на блоці порід і їх буріння; заряджання свердловин, монтаж вибухової мережі та підривання. Отримані дані наносяться на карту вибуховості, а інші параметри і показники додаються до карти у вигляді таблиць. Після цього складається проект масового вибуху.

11. Запропоновано відстані між зарядами в ряду і між рядами визначати за ступенем пропрацювання підосви уступу з урахуванням тріщинуватості масиву гірських порід, конфігурації і розмірів зони дроблення для випадків прямокутної і шахової мереж їх розташування. Показано, що відстані між зарядами за шахової мережі розташування, у порівнянні з прямокутною, зумовлюють високу ефективність використання площі руйнування, і за перекриття зон дроблення на 0,34 радіуса великої осі зони дроблення можна досягти величини недопрацьованої площі руйнування масиву 1,21 %.

12. Встановлено, що для кожного видобувного уступу в кар'єрі зі зміною напрямку відбійки щодо систем тріщин  $S$  і  $Q$ , що характеризують ступінь тріщинуватості та блочності, параметри масового вибуху повинні бути різними. Це пояснюється неоднаковими розмірами граней природних окремоостей і їх кількістю під час поширення фронту вибухової хвилі, що зумовлює різну опірність вибуховому навантаженню.

13. Проведено промислові випробування розроблених заходів на ПрАТ «Товкачівський ГЗК». Критеріями оцінки ефективності розробленої конструкції заряду приймалися: вихід переподрібненої фракції, вихід товарної фракції, кількість пилу та газів, викинутих в атмосферне повітря. Результати випробувань показали, що розмір зони переподрібнення зменшився з 8 до 4 % під час застосування розробленої конструкції заряду. Визначено, що концентрація пилу в процесі використання запропонованої конструкції забійки зменшилась на 23 % у порівнянні з традиційною на відстані 50 м від епіцентру вибуху і на 20 % на межі санітарно-захисної зони. Заміри концентрації газів у атмосферному повітрі показали, що за першої серії вибуху наявність CO та NO<sub>2</sub> не зафіксовано, а за другої – їх концентрація на відстані 50 м від епіцентру вибуху становила 15 мг/м<sup>3</sup> і 1 мг/м<sup>3</sup> відповідно, на межі санітарно-захисної зони – наявність NO<sub>2</sub> не зафіксовано, а концентрація CO склала 9 мг/м<sup>3</sup>. Результати вимірювань підтвердили ефективність використання забійки на основі негашеного вапна та цеолітів.

14. Загальний еколого-економічний ефект запропонованих рішень склав 5 349 833 грн/рік. У результаті запровадження розроблених рішень підприємства гірничої галузі зможуть отримати не лише еколого-економічний ефект, а й соціальний, пов'язаний з мінімізацією ризиків для здоров'я працівників та населення прилеглих територій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стегней Ж. Г., Роменська А. Вплив деяких антропогенних чинників на навколишнє середовище. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*. 2011. Том 13, № 4 (50), Частина 4. С. 337–340.
2. Гінзула М. Оцінка джерел забруднення повітряного басейну викидами промислового підприємства ТзОВ «Бурдяківський спецкар'єр». *Наукові записки*. 2011. № 2. С. 196–201.
3. Головин А. И. Оценка состояния окружающей среды Михайловского ГОКа. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2002. № 9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sostoyaniya-okruzhayuschey-sredy-mihaylovskogo-goka> (дата звернення: 20.02.2017).
4. Шувалов Ю. В., Ильченкова С. А., Гаспарьян Н. А., Бульбашев А. П. Снижение пылеобразования и переноса пыли при разрушении горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2004. № 10. С. 75–78.
5. Гендлер С. Г., Кузнецов В. С. Пространственное распределение экологического риска при работе железорудных карьеров. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2006. № 1. С. 196–200.
6. Сербінова Л. А., Водяник А. О. Оцінка забруднення пилом робочої зони та прилеглих територій при експлуатації гранітних кар'єрів. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2011. № 20. С. 189–197.
7. Звягинцева А. В., Завьялова А. Ю. Анализ основных технологических и инженерно-технических мероприятий, направленных на сокращение пылегазовых выбросов при массовых взрывах на карьерах горно-обогатительного комбината. URL: [https://updoc.site/download/5ad12b452ec12\\_pdf](https://updoc.site/download/5ad12b452ec12_pdf) (дата звернення: 06.02.2017).
8. Савоськин С. В. Особенности негативного воздействия открытых разработок месторождений строительных материалов на окружающую среду.

URL: [http://www.rusnauka.com/29\\_SSN\\_2013/Geographia/7\\_145906.doc.htm](http://www.rusnauka.com/29_SSN_2013/Geographia/7_145906.doc.htm)  
(дата звернення: 20.02.2017).

9. Сытенков В. Н. Управление пылегазовым режимом глубоких карьеров: монография. Москва: ООО «Геоинформцентр», 2004. 288 с.

10. Ахмедова Н. М., Хамраев Р. Б., Рахманова Д. Н. Воздействие горного производства на окружающую среду и здоровье человека. *Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве: сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (ТИМ'2013) с международным участием* (Екатеринбург, 28–29 марта 2013 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2013. С. 10–12.  
URL: [http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/38635/1/tim\\_2013\\_03.pdf](http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/38635/1/tim_2013_03.pdf) (дата звернення: 20.02.2017).

11. Распутна Т. А. Вплив гірничого виробництва на повітряний басейн. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2008. № 1 (44). С. 188–191.

12. Тверда О. Я., Лавриненко Ю. В. Оцінка впливу процесу механічного подрібнення гірської маси на навколишнє середовище та стан здоров'я працюючих. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2016. Вип. 31. С. 128–134.

13. Вовк А. А., Ткачук К. Н., Гоблер М. А. Взрывные работы в сложных горно-геологических условиях: монография. Киев: Наукова думка, 1980. 360 с.

14. Холоденко Т. Ф., Колесник В. Е., Павличенко А. В. Влияние «внутренних» (рецептурных) особенностей эмульсионных взрывчатых веществ на эмиссию загрязняющих веществ в продуктах взрыва в атмосферу. *Геотехнічна механіка*. 2016. № 131. С. 121–132.

15. Козловская Т. Ф., Чебенко В. Н. Пути снижения уровня экологической опасности в районах добычи полезных ископаемых открытым способом. *Вісник КНУ імені Михайла Остроградського*. 2010. Випуск 6/2010 (65), Частина 1. С. 163–168.

16. Розробка і впровадження емульсійних вибухових речовин на кар'єрах України: монографія / В. П. Купрін та ін. Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. 243 с.
17. Тверда О. Я. Удосконалення технології підривних робіт у вертикально шаруватих масивах скельних порід на кар'єрах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.03 / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Київ, 2013. 20 с.
18. Николаев А. В. Установка для проветривания неглубоких карьеров и очистки выдаваемого воздуха от пыли. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015. № 2. С. 250–254.
19. Савотченко О. М., Зберовський О. В. Дослідження параметрів пилогазових викидів при вибухових роботах у кар'єрах. *Збірник наукових праць НГУ*. 2017. № 51. С. 218–226.
20. Зберовский А. В. Охрана атмосферы в экосистеме «карьер-окружающая среда-человек». Днепропетровск: РИО АП ДКТ, 1997. 136 с.
21. Михайлов В. А., Бересневич П. В., Лобода А. И., Родионов Н. Ф. Борьба с пылью и ядовитыми газами при буровзрывных работах на карьерах. Москва: Недра, 1971. 121 с.
22. Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах / Э. И. Ефремов и др. Днепропетровск: Січ, 1996. 179 с.
23. Лучко І. А., Твердий В. В. Дослідження впливу вибуху нових промислових вибухових речовин на екологічний стан атмосфери кар'єру. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2009. Вип. 18. С. 110–116.
24. Тыщук В. Ю. Исследования удельного пылегазовыделения при массовых взрывах в карьерах и способы снижения вредных выбросов. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2010. Вип. 1/2010 (5). С. 127–132.
25. Шувалов Ю. В., Мохамеда А., Бульбашев А. П. Предотвращение пылегазовых выбросов и снижение запыленности атмосферы в карьерах. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2000. № 5. URL:



<https://cyberleninka.ru/article/n/predotvraschenie-pylegazovyh-vybrosov-i-snizhenie-zapylenosti-atmosfery-v-karierah> (дата звернення: 20.02.2017).

26. Колесник В. Е., Юрченко А. А., Литвиненко А. А., Павличенко А. В. Способы и средства повышения экологической безопасности массовых взрывов в железорудных карьерах по пылевому фактору. Днепропетровск: Литограф, 2014. 112 с.

27. Серебреніков Е. В. Розробка методики визначення концентрації пилу на ділянках робочих зон кар'єрів при перевантаженні гірничої маси: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Криворізький технічний університет. Кривий Ріг, 2010. 15 с.

28. Водяник А. О., Сербінова Л. А. Специфіка моделювання розсіювання пилу при бурінні підричних свердловин у кар'єрі. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2011. Вип. 21. С. 144–150.

29. Колесник В. Е., Бучавый Ю. В., Юрченко А. А. Методы оценки экологической опасности выбросов пыли при массовых взрывах в железорудных карьерах. *Науковий вісник НГУ*. 2011. № 5. С. 113–120.

30. Бруязцкий Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов. Киев: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. 443 с.

31. Kakosimos K., Assael M., Lioumbas J., Spiridis A. Atmospheric dispersion modelling of the fugitive particulate matter from overburden dumps with numerical and integral models. *Atmospheric Pollution Research*. 2011. № 2. P. 24–33. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1309104215305134> (дата звернення: 20.02.2017).

32. Машихина П. Б. Моделирование распространения примеси в атмосфере с учетом рельефа местности. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2009. Вип. 27. С. 138–142.

33. Пшинько А. Н., Беляев Н. Н., Машихина П. Б. Численное моделирование распространения загрязняющего вещества в атмосфере с

учетом рельефа местности на базе модели отрывных вихревых течений идеальной жидкости. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2009. Вип. 26. С. 86–89.

34. Мірошніченко Н. С. Застосування відеозйомки для визначення концентрації двоокису азоту в пилогазовій хмарі при вибухах. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 1999. Вип. 1. С. 136–141.

35. Юрченко А. А., Литвиненко А. А., Павличенко А. В., Гузь К. С. Оценка экологической опасности рассеивания газопылевого облака при массовых взрывах в карьерах. *Forum of mining engineers: international scientific and technical conference*. Том 3. Екологічні і правові проблеми техногенно навантажених регіонів. Рудникова аерологія та безпека праці. Дніпропетровськ, 2013. С. 31–39. URL: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/150074> (дата звернення: 20.02.2017).

36. Юрченко А. А. Физические процессы выброса пылегазового облака при массовых взрывах в карьерах. *Науковий вісник НГУ*. 2010. № 2. С. 85–88.

37. Твердий В. В., Лучко І. А. Результати дослідження впливу параметрів вибухів нових промислових вибухових речовин на екологічний стан кар'єру та прилеглої території. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2010. Вип. 19. С. 149–155.

38. Твердий В. В. Визначення кількості шкідливих газів у продуктах вибуху з урахуванням міцності гірських порід. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2011. Вип. 20. С. 184–188.

39. Гурин А. А., Ратушный В. М., Радченко И. С., Шевченко В. И. Высота выброса пылегазового облака, образующегося при массовых взрывах на карьерах. *Разработка рудных месторождений*. 1993. Вип. 54. С. 8–12.

40. Измеров Н. Ф. Медицина труда в третьем тысячелетии. *Медицина труда и промышленная экология*. 1998. № 6. С. 4–9.

41. Сербінова Л. А. Нормалізація концентрації пилу в робочих зонах при механічному руйнуванні гірських порід в гранітних кар'єрах: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці. Київ, 2014. 154 с.

42. Иванов А. В. Снижение аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха от производственных объектов ОАО "Ковдорский ГОК": дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36 / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». Санкт-Петербург, 2015. 206 с.

43. Нагорна А. М., Павліченко О. Ф. Захворюваність працівників, що ведуть підривні роботи на відкритих гірничих розробках, за даними поглиблених медичних оглядів. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2012. Вип. 2 (30). С. 31–37.

44. Пономаренко К. В., Бублієнко Н. О., Семенова О. І. Забруднення атмосферного повітря при розробці родовищ. URL: [http://www.rusnauka.com/41\\_FPN\\_2015/Ecologia/4\\_202346.doc.htm](http://www.rusnauka.com/41_FPN_2015/Ecologia/4_202346.doc.htm) (дата звернення: 20.02.2017).

45. К вопросу снижения выхода мелких фракций при взрывной отбойке минерального сырья, а также бурения, расхода ВВ и сейсмического эффекта на открытых горных работах / П. В. Швыдько и др. *Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського*. 2007. Вип. 5/2007 (46), Частина 1. С. 94–97.

46. Основы теории и методы взрывного дробления горных пород / Э. И. Ефремов и др. Київ: Наукова думка, 1979. 224 с.

47. Ефремов Э. И., Никифорова В. А., Чебенко Ю. Н. Влияние диаметра скважины на площадь контакта взрывчатого вещества с разрушаемой породой и на выход мелких фракций. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2012. Вип. 2/2012 (10). С. 9–15.

48. Гуменик І. Л., Соболев В. В., Стрілець О. П., Чебенко В. М. Вибір та обґрунтування параметрів свердловинного заряду залежно від інтенсивності подрібнення скельного масиву вибухом. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2010. Вип. 2/2010 (6). С. 9–16.

49. Гапоненко И. А. Эффективные способы подготовки скважин к заряданию и новая конструкция заряда взрывчатых веществ. *Сталий розвиток промисловості та суспільства: матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Кривий Ріг, 22–25 травня 2013 р. Кривий Ріг, 2013*. С. 48–49.

50. Ларичев А. Ю. К вопросу влияния конструкции заряда на пылеобразование при производстве взрывных работ на карьерах / *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014. № 12. С. 352–357.

51. Воробьев В. В., Воробьева Л. Д., Лотоус К. В. Промышленная оценка эффективности использования кумулятивных запирающих устройств в удлиненных зарядах. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2015. Вип. 2/2015 (16). С. 65–71.

52. Кумулятивный замыкающий пристрій: пат. 6916 Україна: F 42 D 1/02. № 200500069; заявл. 04.01.05; опубл. 16.05.05, Бюл. № 5. 3 с.

53. Воробьев В. В., Воробьева Л. Д., Щетинин В. Т. Влияние кумулятивного эффекта на изменение характера разрушения горной породы. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2008. Вип. 2/2008 (2). С. 13–17.

54. Куринной В. П. Исследование газодинамических процессов, протекающих в зарядной полости при детонации зарядов взрывчатых веществ различных конструкций. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2008. Вип. 2/2008 (2). С. 59–63.

55. Масюкевич О. М., Кучерук Л. В., Калюжна В. В., Калюжний С. Л. Оцінка енергетичних характеристик вибуху свердловинних зарядів з повітряним радіальним зазором. *Вісник Житомирського державного*

*технологічного університету. Серія: Технічні науки. 2004. № 1 (28). С. 179–182.*

56. Ефремов Э. И., Никифорова В. А., Николенко Е. В. Влияние конструкции заряда и уровня обводненности горных пород на интенсивность их дробления. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. 2008. Вип. 2/2008 (2). С. 7–13.*

57. Норов Ю. Д., Тухташев А. Б., Заиров Ш. Ш. Конструкция скважинного заряда взрывчатого вещества с активной забойкой. *Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 4. С. 175–176.*

58. Комир В. М., Блинков В. В., Ромашко А. М., Сокуренок В. А. Влияние конструкции забойки на интенсивность дробления моделей из горных пород. *Вісник КДПУ. 2007. Вип. 1/2007 (42), Частина 1. С. 90–92.*

59. Воробйов В. В. Ефективність використання раціональної конструкції набійки свердловинних зарядів. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». 2000. Вип. 2. С. 51–53.*

60. Шевкун Е. Б., Лещинский А. В. Скважинные заряды с укороченной забойкой. *Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 4. С. 139–146.*

61. Кравець В. Г., Ткачук К. Н., Ган А. Л. Підвищення безпеки та ефективності підривних робіт з використанням спеціальних конструкцій свердловинних зарядів. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». 2009. Вип. 18. С. 53–57.*

62. Юрченко А. А. Снижение выбросов при массовых взрывах в карьерах путём применения резиновой пробки с анкерным устройством в качестве забойки скважинных зарядов. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету. 2010. № 35, Том 2. С. 111–117.*

63. Кравець В. Г., Масюкевич А. М., Ган А. Л., Мизюк А. В. Влияние конструкции забойки на время её разрушения. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». 2006. Вип. 14. С. 101–110.*

64. Снижение пылегазовых выбросов при массовых взрывах в карьерах / Воробьев В. Д. и др. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2003. Вип. 8. С. 163–169.

65. Бережецкий А. Я., Вовк О. А. Применение пропарочных растворов для снижения пылегазовых выбросов при массовых взрывах. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2004. Вип. 11. С. 72–78.

66. Возгрин Р. А., Миронов Ю. А., Молдован Д. В. К вопросу о свойствах материала для изготовления скважинных и шпуровых забоек. *Проблемы геологии и освоения недр*. 2013. Вып. 11, Часть 2. С. 304–305. URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2013/C11/V2/139.pdf> (дата звернення: 20.02.2017).

67. Катанов И. Б., Скачилов П. Г. Совершенствование конструкции скважинного заряда с пеногелевой забойкой. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2015. № 5. С. 43–46.

68. Шевкун Е. Б., Лещинский А. В., Галимьянов А. А., Рудницкий К. А. Особенности производственных испытаний комбинированных забоек взрывных скважин. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014. № 4. С. 97–107.

69. Лещинский А. В. Развитие конструкции забойки взрывных скважин. *Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ»*. 2014. Том 5, № 2. С. 66–71. URL: [http://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2014/TGU\\_5\\_57.pdf](http://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2014/TGU_5_57.pdf) (дата звернення: 20.02.2017).

70. Шевкун Е. Б., Лещинский А. В., Галимьянов А. А. Короткая комбинированная забойка взрывных скважин высокой запирающей способности. *Горный информационно-аналитический бюллетень: научно-технический журнал*. 2015. № 4. С. 331–336.

71. Лещинский А. В., Шевкун Е. Б. Забойка взрывных скважин на карьерах: монография. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2008. 224 с.

72. Гурін А. О., Єрмак Л. Д., Тетеря О. Ю. Аналітичні дослідження впливу допоміжних матеріалів забійок вибухових речовин у свердловинах на зміну параметрів хімічних реакцій вибуху та склад продуктів вибуху. *Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу*. 2008. Вип. 10. С 196–200.

73. Кучерявый Ф. И., Лучко И. А. Взрыв и горные технологи. Київ: Наукова думка, 1988. 160 с.

74. Курінний В. П. Фізичні аспекти руйнування гірських порід вибухом. Дніпропетровськ: НГУ, 2009. 158 с.

75. Пеева И. Э. Теоретические основы расчета параметров буровзрывных работ при использовании дополнительных укороченных скважин. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2009. Вип. 2/2009 (4). С. 11–18.

76. Андриевский А. П., Авдеев А. М., Харитоновна М. Ю. Оптимизация параметров буровзрывных работ. *Промышленная безопасность и эффективность новых технологий в горном деле: сборник материалов международной конференции «Горное дело – 2000»*. 2001. С. 456–462.

77. Андриевский А. П. Физико-техническое обоснование параметров разрушения горного массива взрывом удлиненных зарядов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.20 / ИХХТ СО РАН. Новосибирск, 2009. 35 с.

78. Оптимальная сетка скважин в условиях карьера Ирбинского рудоуправления / М. Б. Колпаков и др. *Горный журнал*. 1980. № 10. С. 27–29.

79. Грачев Ф. Г., Гребенькова В. Г. Определение удельного расхода ВВ для стабилизации качества дробления пород при многорядном взрывании на карьерах. *Взрывное дело*. 1984. № 86/43. С. 234–241.

80. Сытенков В. Н., Бирик И. П. Метод определения параметров БВР для оптимизации технологических потоков карьера. *Горный журнал*. 2003. № 12. С. 40–43.

81. Бирик И. П., Сытенков Д. В. Оптимизация параметров буровзрывных работ. *Горный журнал*. 2007. № 5. С. 48–52.

82. Сорокин В. Т. Определение сетки скважин и удельного расхода ВВ на карьерах. *Горный журнал*. 1980. № 10. С. 29–31.

83. Виноградов Ю. И. Инвариантный метод расчета параметров БВР на заданный гранулометрический состав взорванной горной массы. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2010. Вип. 1/2010 (5). С. 97–107.

84. Панычев А. А. Особенности технологии буровзрывных работ в перемежаемых породах. *Горный журнал*. 2002. № 8. С. 77–79.

85. Воронцов И. В., Котяшев А. А., Маторин А. С., Шеменев В. Г. Оптимизация параметров буровзрывных работ на открытых разработках ОАО «ГМК «Норильский никель» на основе определения свойств пород в массиве сейсмическим методом. *Известия вузов. Горный журнал*. 2008. № 8. С. 94–100.

86. Бруякин А. В. Расчет параметров расположения скважинных зарядов. *Горный журнал*. 1994. № 10. С. 32–33.

87. Шляпин А. В. Влияние распределения плотности энергии взрыва на эффективность отбойки горных пород (на примере «Щуровского карьера»): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.20 / РАН Институт проблем комплексного освоения недр. Москва, 2008. 18 с.

88. Клеван О. М., Котенко В. В. Вплив помилки розташування устя вибухової свердловини на якість підірваної гірської маси. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2012. № 1 (60). С. 117–122.

89. Кисель О. О., Кисель А. В. Аналіз впливу схем розташування вибухових свердловин на ефективність ведення буровибухових робіт при видобуванні булощебеневої сировини. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2011. № 1 (56). С. 109–114.

90. Твердая О. Я., Воробьев В. Д., Прокопенко В. С. Определение расстояний между зарядами по степени проработки подошвы уступа на



карьерах. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2011. Вип. 2/2011 (8). С. 44–54.

91. Твердая О. Я., Воробьев В. Д., Крючков А. И. Оперативное проектирование параметров взрывных работ в карьерах. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2011. Вип. 1/2011 (7). С. 62–70.

92. Твердая О. Я. Определение величины эффективного смещения рядов относительно друг друга при формировании сетки скважин. *Технологический аудит и резервы производства*. 2012. № 6/2 (8). С. 21–22.

93. Рациональный выбор параметров буровзрывных работ по показателю энергоемкости бурения / Е. Г. Баранов и др. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1987. № 2. С. 50–52.

94. Мец Ю. С., Антонов А. Ю. Исследование напряженного состояния среды и механизма разрушения при различных направлениях развития взрыва. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2008. Вип. 2/2008 (2). С. 32–39.

95. Абдулкасимов А. М. Совершенствование качества взрывной подготовки горной массы на карьерах стройматериалов на основе оптимизации основных параметров БВР: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / Московский государственный геологоразведочный университет. Москва, 2006. 127 с.

96. Сеницын В. А., Глебов А. В. Математическая модель разрушения горных пород взрывом скважинного заряда ВВ. *Известия вузов. Горный журнал*. 2002. № 4. С. 73–76.

97. Ещенко А. А., Шапурин А. В., Алексеенко А. С., Савельев М. С. Влияние схем взрывания на дробимость слоистой среды. *Разработка рудных месторождений*. 1973. Вып. 15. С. 63–65.

98. Кучерявый Ф. И., Олейников А. С., Музыров А. А. Расчет основных параметров буровзрывных работ для условий гранитных карьеров с применением ЭЦВМ. *Взрывное дело*. 1971. № 70/27. С. 271–279.

99. Воробьев В. Д. Методы дробления анизотропных пород на основе регулирования параметров импульса взрыва комбинированных зарядов (на примере карьеров нерудной промышленности): автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.15.11 / ИГМ НАН Украины. Киев, 1995. 34 с.

100. Викторов С. Д., Казаков Н. Н. Оперативное компьютерное проектирование БВР. *Горный журнал*. 2005. № 8. С. 75–77.

101. Кутузов Б. Н. Разрушение горных пород взрывом. Взрывные технологии в промышленности. Москва: МГУ, 1994. 448 с.

102. Влияние структуры горного массива на распределение энергии взрыва по формам работы / М. П. Белоконь и др. *Разрушение горных пород при статических и динамических нагрузках*. 1990. С. 7–12.

103. Шапурин А. В., Ещенко А. А., Шекун О. Г. Влияние направления отбойки и структуры горных пород на качество взрыва. *Взрывное дело*. 1971. № 70/27. С. 147–151.

104. Щербич С. В. Повышение качества дробления руды скважинными зарядами на основе учета физико-технических параметров горного массива: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.20 / Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г. В. Плеханова. Санкт-Петербург, 2009. 20 с.

105. Влияние горногелогических особенностей месторождения на выбор схем и параметров взрывных работ / Э. И. Ефремов и др. *Механика и разрушение горных пород*. 1969. С. 174–185.

106. Фокин В. А. Особенность скважинной отбойки уступов на участках структурной неоднородности горных пород. *Известия вузов. Горный журнал*. 2008. №1. С. 93–99.

107. Выбор параметров сетки скважин при взрывании высоких уступов в породах с различными физико-механическими свойствами / М. Ф. Друкованый и др. *Механика и разрушение горных пород*. 1969. Выпуск 1. С. 110–120.

108. Дунаев В. А., Серый С. С., Герасимов А. В., Григорьев В. И. Структура и районирование массива докембрийских пород Лебединского месторождения. *Горный журнал*. 2003. № 3. С. 7–13.
109. Районирование породного массива Михайловского месторождения по блочности и взрываемости / З. А. Дунаев и др. *Горный журнал*. 1996. № 9–10. С. 53–57.
110. Воробьев В. Д., Фролов А. А. Проектирование исходных параметров взрывных работ. *Уголь Украины*. 1999. № 11–12. С. 34–36.
111. Фролов О. О. Оптимізація параметрів системи свердловинних зарядів для руйнування анізотропних масивів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.11 / ННДІОП. Київ, 1998. 17 с.
112. Рождественский В. Н. Основные направления качественной подготовки горной массы взрывом на современных глубоких карьерах. *Известия вузов. Горный журнал*. 2005. № 1. С. 66–72.
113. Фролов О. О. Встановлення розмірів і форми зони руйнування при вибуху системи свердловинних зарядів. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2009. Вип. 1/2009 (3). С. 100–105.
114. Фокин В. А. Оценка размера зоны отрыва породы при скважинной отбойке в карьерных условиях. *Известия вузов. Горный журнал*. 2007. № 2. С. 65–68.
115. Ефремов Э. И., Комир В. М., Краснопольский И. А., Мартыненко В. П. Ресурсосберегающие технологии взрывного разрушения горных пород. Киев: Техника, 1990. 149 с.
116. Твердая О. Я., Воробьев В. Д., Крючков А. И. Обоснование эффективного радиуса воронки дробления при взрывах в анизотропных скальных породах. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2011. Вип. 21. С. 56–63.
117. Тверда О. Я., Воробйов В. Д., Косьмин І. В. Урахування анізотропії скельних порід при проектуванні масових вибухів. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2010. Вип. 19. С. 20–28.

118. Твердая О. Я., Воробьев В. Д., Крючков А. И. Управление параметрами массовых взрывов на открытых горных работах. *Зб. наук. праць НГУ*. 2012. № 37. С. 135–139.

119. Твердая О. Я., Косьмин И. В., Воробьев В. Д. Проектирование параметров массовых взрывов при отработке блоков разнопрочных пород в карьерах. *Сучасні проблеми екології та геотехнологій: тези VII Всеукраїнської наукової конференції студентів, магістрів та аспірантів*, м. Житомир, 24–26 березня 2010 року. Житомир, 2010. С. 275–277.

120. Твердая О. Я., Воробьев В. Д. Обоснование рациональной геометрии сетки скважин по фактору проработки подошвы уступа для пород различной трещиноватости. *Сучасні проблеми екології та геотехнологій: тези IX Всеукраїнської наукової конференції студентів, магістрів та аспірантів*, м. Житомир, 5–7 березня 2012 року. Житомир, 2012. С. 297.

121. Петлівчук О. Я., Воробйов В. Д., Водяник А. О. Обгрунтування об'ємів пилу при бурових роботах на уступі кар'єру. *Вісник ННДІПБОП*. 2009. № 24. С. 54–56.

122. Тверда О. Я. Підвищення екологічної та технологічної безпеки при вибухових роботах у гранітних кар'єрах. *Человек-природа-общество: теория и практика безопасности жизнедеятельности, экологии и валеологии*. 2011. Вып. 4. С. 37–40.

123. Твердая О. Я. Снижение техногенной нагрузки на окружающую среду при взрывах на карьерах. *Человек-природа-общество: теория и практика безопасности жизнедеятельности, экологии и валеологии*. 2012. Вып. 5. С. 32–34.

124. Жукова Н., Євтєєва Л., Петлівчук О. Прогнозування об'ємів пилу при бурінні свердловин для розробки заходів з профілактики профзахворювань працівників. *Охорона праці та соціальний захист працівників: зб. матеріалів Міжнародної наукової конференції*, м. Київ, 19–21 листопада 2008 року. Київ, 2008. С. 150–53.

125. Petlivchuk O. Dust pollution problem of quarries atmosphere. *Innovations in science and technology: abstracts of Annual students conference*, Kyiv, March 17, 2009. Kyiv, 2009. P. 234–235.

126. Петлівчук О. Я. Обґрунтування екологічно безпечних параметрів буропідричних робіт на кар'єрах. *Екологічна безпека довкілля. Проблеми та шляхи вирішення*: тези доповідей Третьої Всеукраїнської студентської наукової конференції, м. Ужгород, 22–24 квітня 2009 року. Ужгород, 2009. С. 65.

127. K-MINE. Програмний комплекс для геологів, маркшейдерів і гірничих інженерів. URL: <https://kai.ua/uk/products/k-mine/> (дата звернення: 01.06.2017).

128. Назаренко М. В., Хоменко С. А. K-MINE – інструмент підвищення ефективності проектування та ведення буровибухових робіт на кар'єрах. URL: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/149785/114-122.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення: 01.06.2017).

129. Барон В. Л., Кантор В. Х. Техника и технология взрывных работ в США. Москва: Недра, 1989. 376 с.

130. Обложок А. В., Котенко В. В. Аналіз сучасних автоматизованих методів маркшейдерського супроводження буровибухових робіт, та перспективи їх використання в умовах родовищ будівельної нерудної сировини. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1509/1/63.pdf> (дата звернення: 01.06.2017).

131. Blast Maker. Информационные технологии на производстве. URL: <http://blastmaker.kg/index.php?page=home> (дата звернення: 01.06.2017).

132. Гричуха К. Программа для проектирования БВР (буровзрывных работ) HollSet (HOLESET). URL: [https://grinikkos.com/view\\_post.php?id=350](https://grinikkos.com/view_post.php?id=350) (дата звернення: 01.06.2017).

133. Викторов С. Д., Казаков Н. Н., Цукерман А. И. Компьютерное районирование карьерного поля по взрываемости пород. *Сучасні*

*ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2012. Випуск 1/2012 (9). С. 100–106.

134. Жученко Е. Н., Елизов О. Н. Современные взрывчатые вещества и технологии их применения. *Записки Горного института*. 2005. Т. 164. С. 97–101.

135. Ефремов Э. И. Пути повышения эффективности взрывчатых веществ простейшего состава. *Вісник КТУ*. 2009. Вип. 23. С. 10–14.

136. Простейшие взрывчатые вещества и особенности их применения на карьерах НГМК / Э. И. Ефремов и др. *Горный вестник Узбекистана*. 2002. № 2 (9). С. 32–35.

137. Лучко І. А., Прокопенко А. В., Косьмін І. В., Лучко А. І. Результати дослідження властивостей нових безтритилових сумішевих вибухових речовин з нульовим кисневим балансом. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2004. № 3 (30). С. 149–153.

138. Прокопенко В. С., Косьмін І. В., Лучко А. І., Прокопенко А. В. Термодинамічні характеристики тетрамонів – безтритилових вибухових сумішей. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2003. Вип. 8. С. 65–73.

139. Прокопенко В. С., Косьмін І. В., Лучко А. І., Прокопенко А. В. Технічна ефективність комполайтів – безтритилових вибухових речовин місцевого приготування. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2004. Вип. 10. С. 59–65.

140. Прокопенко В. С., Лотоус К. В. Взрывание горных пород скважинными зарядами взрывчатых веществ в рукавах. Київ: Політехніка, 2006. 113 с.

141. Ефремов Э. И., Пономарев А. В. Пути повышения экономической эффективности и экологической безопасности взрывных работ на флюсовых карьерах. *Украинский союз инженеров-взрывников: информационный бюллетень*. 2010. № 3. С. 2–6.

142. Сытенков В. Н., Рубцов С. К., Бирик И. П. Экологические аспекты при производстве массовых взрывов на карьерах. *Горный вестник Узбекистана*. 2008. № 2 (33). С. 21–24.

143. Криворучко Н. И. Выполнение взрывных работ на горнодобывающих предприятиях Украины. *Проблемы недропользования*. 2014. Вып. 2. С. 39–45. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/vypolnenie-vzryvnyh-rabot-na-gornodobyvayuschih-predpriyatiyah-ukrainy> (дата звернення: 01.06.2017).

144. Корнет В. В., Прохода О. В., Чухарев С. М. К вопросу использования взрывчатых веществ на горнорудных предприятиях Кривбасса. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2014. Вип. 4/2014 (87). С. 124–128.

145. Логінова І. І. Застосування емульсійних вибухових речовин як засіб зменшення шкідливого впливу підривних робіт. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2015. Вип. 29. С. 103–109.

146. Шиман Л. Н., Касперский Й. Г., Устименко Е. Б. Развитие технологий водосодержащих взрывчатых веществ как фактор повышения эффективности взрывных работ. *Украинский союз инженеров-взрывников: информационный бюллетень*. 2013. № 3 (20) С. 14–21.

147. Опыт применения бестротилового эмульсионного взрывчатого вещества марки «ЕРА» на взрывных работах при зарядании скважин механизированным способом с использованием смесительно-зарядных машин / Л. Н. Шиман и др. *Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського*. 2007. Вип. 5/2007 (46), Частина 1. С. 113–117.

148. Ищенко Н. И., Монаков В. Ф., Макаров О. И. Разработка рецептуры, средств, технологии приготовления и использования промышленного эмульсионного взрывчатого вещества – Эмонит. *Украинский союз инженеров-взрывников: информационный бюллетень*. 2008. № 1. С. 8–16.

149. Диняк С. В. Аналіз досвіду виготовлення і застосування «Гранеміту» в промислових умовах. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2014. Вип. 26. С. 32–38.

150. Емульсійна вибухова речовина Україніт-ПП-1: пат. 52403 Україна: С06В 31/28, С06В 31/40. № 2002053771; заявл. 07.05.02; опубл. 16.12.02, Бюл. № 12. 3 с.

151. Комащенко В. И., Воробьев Е. Д., Белин В. А. Перспективы развития промышленных взрывчатых веществ и применения современных технологий взрывных работ с учетом экологической безопасности. *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2017. Вып. 3. С. 157–167.

152. Стрілець О. П. Вплив типу і фізико-хімічних властивостей сенсibilізаторів на вибухові характеристики емульсійної ВР Україніт. *Вісник КДПУ*. 2006. Вип. 2/2006 (37), Частина 2. С. 101–103.

153. Ромашко А. М. Опыт использования эмульсионных взрывчатых веществ при отбойке нерудных полезных ископаемых. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2010. Вип. 2/2010 (6). С. 48–52.

154. Кузьмицкий Я. О., Терещенко А. Ю. Процесс газогенерации эмульсионного взрывчатого вещества «Анемикс» и его влияние на качество дробления породы. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2012. Вип. 1/2012 (9). С. 58–63.

155. Горинов С. А., Куприн В. П., Савченко Н. В. Выбор химического состава окислительной фазы эмульсионных взрывчатых веществ для отбойки крепких горных пород скважинами уменьшенного диаметра. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2012. Вип. 5/2012 (76). С. 56–60.

156. Устименко Е. Б., Шиман Л. Н., Кириченко А. Л. Особенности свойств ЭВВ для безопасного применения их при взрывных работах. *Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського*. 2009. Вип. 2/2009 (55), Частина 1. С. 86–89.



157. Горинов С. А., Маслов И. Ю., Куприн В. П. Возбуждение детонации в эмульсионных взрывчатых веществах, сенсibilизированных газовыми порами скользящей детонационной волной. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2013. Вип. 5/2013 (82). С. 116–123.

158. Сеницын В. А. Повышение эффективности взрывной подготовки горной массы на карьерах с применением взрывчатых веществ на основе обратных эмульсий: автореф. дис. ... к-та техн. наук: 25.00.22 / Институт горного дела Уральского отделения РАН. Екатеринбург, 2007. 26 с.

159. Лучко А. І. Результати дослідження параметрів вибухів еталонних і нових промислових сумішевих вибухових речовин місцевого приготування. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2008. № 3 (46), Том 1. С. 156–162.

160. Клочко И. И., Манжос Ю. В. Особенности детонации и работоспособности промышленных смесевых взрывчатых веществ. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2008. Вип. 1/2008 (1). С. 72–78.

161. Щербань В. В., Кривцов Н. В., Козлов С. С. Модель разрушения скальных блочных массивов зарядами из конверсионных взрывчатых материалов. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2008. Вип. 1/2008 (1). С. 78–85.

162. Калякин С. А., Лабинский К. Н. Теоретические и экспериментальные исследования действия взрыва заряда взрывчатого вещества в горной породе. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2008. Вип. 2/2008 (2). С. 39–46.

163. Давыдов В. Ю., Дубнов Л. В., Гришкин А. М. Универсальный термодинамический критерий эффективности ВВ. *Физика горения и взрыва*. 1992. № 4. С. 102–107.

164. Воробьев В. В., Долударев В. Н. Теоретический анализ изменения давления продуктов детонации смесевых зарядов. *Вісник КДПУ*

*імені Михайла Остроградського*. 2009. Вип. 4/2009 (57), Частина 2. С. 106–110.

165. Чебенко В. Н., Козловская Т. Ф., Комир В. М. Об особенностях изменения параметров детонации при взрывчатых превращениях различных ВВ. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2009. Вип. 1/2009 (3). С. 7–13.

166. Виноградов Ю. И. Оценка эффективности применения взрывчатых веществ нового поколения. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2011. Вип. 1/2011 (7). С. 45–50.

167. Пепекин В. И., Губин С. А. О теплоте взрыва промышленных и бризантных взрывчатых веществ. *Физика горения и взрыва*. 2006. № 2, т. 43. С. 100–107.

168. Афанасенков А. Н. О работоспособности взрывчатых веществ. Метод Трауцля. *Физика горения и взрыва*. 2004. № 1, т. 40. С. 132–139.

169. Афанасенков А. Н., Котова Л. И., Кукиб Б. Н. О работоспособности промышленных взрывчатых веществ. *Физика горения и взрыва*. 2001. № 3, т. 37. С. 115–125.

170. Воробьев В. Д., Масюкевич А. М., Косьмин И. В. О взаимосвязи давления продуктов взрыва скважинного заряда с направлением разлета кусков породы. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2002. Вип. 6. С. 80–88.

171. Клочков В. Ф. Критерий выбора промышленных ВВ. *Разработка рудных месторождений*. 1991. Вып. 51. С. 36–39.

172. Маслов И. Ю. Разработка технологии взрывной отбойки обводненных горных пород глубокими скважинами с применением эмульсионных взрывчатых веществ на основе пенополистирола: автореф. дис. ... к-та техн. наук: 25.00.20 / ФГБОУ ВПО Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе. Москва, 2013. 23 с.

173. Азаркович А. Е., Шуйфер М. И. Оценка относительной взрывной эффективности различных взрывчатых веществ массивов пород. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 1997. № 2. С. 47–51.

174. Жуков С. А., Тищенко С. В. Закономерности формирования силовых полей скважинных зарядов взрывчатых веществ в разрушаемом объеме горных пород. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2008. Вип. 1/2008 (1). С. 38–44.

175. Туручко І. І., Косьмин І. В. Нові вибухові речовини з регульованою об'ємною концентрацією енергії. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2001. Вип. 5. С. 52–56.

176. Кушнеров П. И., Панчишин О. В., Панчишин В. Я. Способы оценки эффективности действия промышленных взрывчатых веществ. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2012. Вип. 1/2012 (9). С. 63–69.

177. Твердая О. Я., Воробьев В. Д. Обоснование критерия выбора безопасного и эффективного типа ВВ при массовых взрывах на карьерах. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2012. Вип. 22. С. 56–64.

178. Твердый В. В., Лучко І. А. Визначення впливу підривних робіт на виробничий персонал кар'єра та населення прилеглої території при застосуванні нових сумішевих вибухових речовин. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2010. Вип. 19. С. 95–102.

179. Шиман Л. Н., Устименко Е. Б. Передовые high-tech технологии для обеспечения безопасности проведения буровзрывных работ. *Украинский союз инженеров-взрывников: информационный бюллетень*. 2008. № 1. С. 17–28.

180. Кратковский И. Л. О надежности способов инициирования взрывчатых веществ простейшего состава при отбойке горных пород на карьерах. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2009. Вип. 2/2009 (4). С. 29–35.

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

182. Бибик И. П. Опыт применения неэлектрических систем инициирования зарядов ВВ. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2005. № 4. С. 231–234.

183. Закусило Р. В. Закономірності впливу складу та способу отримання вибухової композиції і полімерного носія на властивості детонуючого хвилеводу: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України. Київ, 2010. 20 с.

184. Кравець В. Г., Демещук В. Л. Влияние геометрических и энергетических параметров инициатора на механизм развития детонации в удлиненном заряде. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2002. Вип. 7. С. 64–71.

185. Исследование процесса детонации комбинированных скважинных зарядов и эффективности их применения при разрушении гранитов / В. Д. Воробьев и др. *Известия вузов. Горный журнал*. 1997. № 2. С. 82–90.

186. Юрченко А. А. Исследование методов повышения экологической безопасности массовых взрывов в карьерах по пылевому фактору. *Розробка родовищ*. 2014. Т. 8. С. 487–496.

187. Юрченко А. А. Исследование коэффициента захвата аэрозольных частиц каплями воды при орошении. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2012. № 39. С. 187–194.

188. Спосіб пригнічення пилогазової хмари в кар'єрі: пат. 57300 Україна: МПК E21F 5/02, E21C 41/26, F42D 3/04. № u201007394; заявл. 14.06.10; опубл. 25.02.11, Бюл. № 4. 2 с.

189. Тыщук В. Ю. Разработка метода технико-экономической оценки эффективности способов и средств пылегазоподавления при массовых

взрывах в карьерах. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2006. № 26, Том 2. С. 94–100.

190. Тыщук В. Ю. Исследования водных растворов «ЕКОМ» для пылеподавления при массовых взрывах в карьерах. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2006. № 25. С. 181–188.

191. Склад для пилогазоподавлення при масових вибухах у кар'єрах: пат. 12837 Україна: МПК E21F 5/06. № u200500280; заявл. 12.01.05; опубл. 15.03.06, Бюл. № 3. 2 с.

192. Спосіб пилогазозаглушення при масових вибухах у кар'єрах: пат. 105605 Україна: МПК E21F 5/00. № u201509606; заявл. 05.10.15; опубл. 25.03.16, Бюл. № 6. 2 с.

193. Шишацкий А. Г., Пицык Ю. В. Влияние поверхностно активных веществ на смачиваемость сыпучих материалов. *Вісник КДУ імені Михайла Остроградського*. Вип. 2/2010 (61), Частина 1. С. 117–119.

194. Каменский А. А. Исследования коагуляции пылевой фракции при применении аэропенного способа пылеподавления. *Записки Горного института*. 2011. Том 189. С. 138–140.

195. Беспалов В. И., Гурова О. С. Анализ преимуществ реализации пенного способа обеспыливания воздуха на предприятиях строительной отрасли. *Экономика и экология территориальных образований*. 2015. № 4. С. 64–68.

196. Шувалов Ю. В., Гаспарьян Н. А. Снижение пылевыделения на карьерах с использованием фазовых переходов влаги. *Записки Горного института*. 2007. Т. 170, Часть 1. С. 135–138.

197. Спосіб пилоподавлення при вибуху блока уступу: пат. 32542 Україна: МПК F42D 1/00, E21C 37/00. № u200711902; заявл. 29.10.07; опубл. 26.05.08, Бюл. № 10. 2 с.

198. Зберовський О. В., Савотченко О. М. Технічний комплекс для захисту довкілля від пилогазової хмари при масових вибухах у кар'єрах.

*Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2015. № 49. С. 252–256.

199. Порошкова композиція для нейтралізації отруйних газів при вибуху: пат. 30326 Україна: С06В 23/02. № 98021025; заявл. 26.02.98; опубл. 15.11.00, Бюл. № 6. 4 с.

200. Евтушенко А. И., Евтушенко И. И., Нор-Аревян С. Л., Бельская Я. В. К вопросу исследования путей повышения эффективности пылеподавления орошением. *Инженерный вестник Дона*. 2016. № 3. URL: [http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_69\\_Evtushenko.doc..pdf\\_662a61ceae.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_69_Evtushenko.doc..pdf_662a61ceae.pdf) (дата звернення: 01.06.2017).

201. Юрченко А. А. Определение необходимого объема воды для подавления пылевого облака после массового взрыва на карьере. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2014. № 45. С. 146–151.

202. Юрченко А. А., Литвиненко А. А. Подавление пылевого облака после массового взрыва в карьере путем его орошения. *Розробка родовищ*. 2013. Том 7. С. 385–389.

203. Кривошеева С. И. Процессы обеспыливания на карьерах центрального Казахстана. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2016. № 12 (специальный выпуск 39). С. 26–29.

204. Тверда О. Я. Підвищення рівня екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню. *Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі: матеріали II Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції*, м. Кривий Ріг, 14 грудня 2017 р. Кривий Ріг, 2017. С. 226.

205. Воробьев В. Д., Твердая О. Я., Молодец Ю. А. Анализ технологий добычи монолитных блоков в карьерах стройматериалов. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2016. Вип. 31. С. 36–48.

206. Воробйов В. Д., Тверда О. Я., Сергієнко М. І., Аль-Карагули О. Аналіз розвитку наукових основ технологічних процесів при розробці

нерудних корисних копалин. *Енергетика. Екологія. Людина*: тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 28–29 квітня 2016 р. Київ, 2016. С. 86–88.

207. Tverda O., Plyatsuk L., Repin M., Tkachuk K. Controlling the process of explosive destruction of rocks in order to minimize dust formation and improve quality of rock mass. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Volume 3, No 10 (93). P. 35–42.

208. Тверда О. Я., Пляцук Л. Д. Розробка конструкції забійки свердловинного заряду із двоступеневою системою поглинання шкідливих газів. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2018. Вип. 1/2018 (21). С. 103–115.

209. Ткачук К. Н., Ткачук К. К., Твердая О. Я. Управление разрушением горных пород взрывом на карьерах: монография. Киев: Основа, 2015. 262 с. URL: <http://ecology.kpi.ua/wp-content/uploads/2016/05/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%8F.pdf> (дата звернення: 04.06.2018).

210. Ткачук К. Н., Ткачук К. К., Тверда О. Я., Дыняк С. В. Управление энергией взрыва. *International Scientific Journal «Theoretical & Applied Science»*. 2014. № 11 (19). С. 77–83.

211. Воробйов В. Д., Тверда О. Я. Удосконалення технології районування гранітних кар'єрів. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2014. № 4 (71). С. 139–146.

212. Твердая О. Я., Воробьев В. Д. Повышение качества дробления трещиноватых скальных пород за счет оптимального направления отбойки скважинными зарядами. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2014. Вип. 2/2014 (14). С. 13–24.

213. Воробйов В. Д., Тверда О. Я. Підвищення якості підготовки гірської маси при вибуховому відпрацюванні уступів на кар'єрах.

*Енергетика. Екологія. Людина*: тези доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 15–17 травня 2015 р. Київ, 2015. С. 31–33.

214. Тверда О. Я., Петренко О. В. Визначення кількості шкідливих газів у продуктах вибуху Гранеміту з урахуванням кисневого балансу. *Енергетика. Екологія. Людина*: тези доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 25–26 травня 2017 р. Київ, 2017. С. 120–122.

215. Диняк С. В. Розробка циклічно-поточної технології виробництва щебеню на гранітних кар'єрах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.03 / НТУУ «КПІ». Київ, 2016. 16 с.

216. Савчук В. П. Управління якістю вибухової підготовки гірської маси для виробництва кубовидного щебеню: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.03 / НТУУ «КПІ». Київ, 2014. 18 с.

217. Холоденко Т. Ф., Устименко Е. Б., Подкаменная Л. И., Павличенко А. В. Повышение экологической безопасности при проведении массовых взрывов на карьерах с уменьшенной санитарно-защитной зоной. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2015. Вип. 3/2015 (92). С. 165–170.

218. Тверда О. Я., Петренко О. В. Оцінка впливу пилегазової хмари на навколишнє середовище при масових вибухах на гранітних кар'єрах. *Ресурсозбереження і екологічна безпека*: тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 8 грудня 2016 р. Київ, 2016. С. 79–81.

219. Просандеев М. И., Козлова Л. М. Основные шляхи адаптації технологій відкритих гірничих робіт до вимог сталого розвитку суспільства. *Екологія і природокористування*. 2011. Вип. 14. С. 143–160.

220. Методика расчета вредных выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей).

URL:

[http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/531077/metodika\\_rascheta\\_vrednykh\\_vybrosov\\_\(sbrosov\)\\_dlya\\_kompleksa\\_oborudovaniya.pdf](http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/531077/metodika_rascheta_vrednykh_vybrosov_(sbrosov)_dlya_kompleksa_oborudovaniya.pdf) (дата звернення: 23.04.2016).



221. Про затвердження методичних рекомендацій «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря»: Наказ МОЗ від 13.04.2007 р. № 184. URL: [http://old.moz.gov.ua/ua/portal/dn\\_20070413\\_184.html](http://old.moz.gov.ua/ua/portal/dn_20070413_184.html) (дата звернення: 23.04.2016).
222. Онлайн-калькулятор Math. URL: <http://math.semestr.ru> (дата звернення: 25.05.2016).
223. Gaussian dispersion model. URL: <http://www.csun.edu/~vchsc006/469/gauss.htm> (дата звернення: 12.06.2016).
224. Лобода А. И., Ребристый Б. Н., Тыщук В. Ю. Борьба с пылью на открытых горных работах. Киев: Техника, 1989. 152 с.
225. Про затвердження методичних рекомендацій «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів»: Наказ МОЗ від 13.03.2007 р. № 116. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=6913> (дата звернення: 12.08.2016).
226. Биоиндикация: теория, методы, приложения / ред. Г. С. Розенберг. Тольятти: Интер-Волга, 1994. 266 с.
227. Tverda O., Kosyak I. The analysis of bio-indication methods of soils' ecological state in nearby territory of granite dumps. *Збалансоване природокористування*. 2017. № 2/2017. С. 79–84.
228. Рождественский Б. Л., Яненко Н. Н. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике. Москва: Наука, 1978. 688 с.
229. Головки К. Г., Луговой П. З., Мейш В. Ф. Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках. Киев: Изд.-полиграф. центр «Киевский университет», 2012. 541 с.
230. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: в 2 т. Москва: Мир, 1991. Т. 2: Методы расчета различных течений. 552 с.

231. Попов О. О., Яцишин А. В., Артемчук В. О. Кількісний аналіз стану довкілля на техногеннозабруднених територіях. *Моделювання та інформаційні технології*. 2014. Вип. 73. С. 3–16.

232. Химический каталог. URL: <http://www.ximicat.com/info.php?id=5635> (дата звернення: 12.08.2016).

233. Колечкіна Л. М. Властивості задач багатокритеріальної оптимізації на комбінаторних множинах та методи їх розв'язання: монографія. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2008. 162 с.

234. Таха Х. А. Введение в исследование операций. Москва: Издательский дом «Вильямс», 2007. 912 с.

235. Зайченко Ю. П. Модели и методы принятия решений в нечетких условиях. Київ: Наукова думка, 2011. 295 с.

236. Соболевський Р. В., Шлапак В. О., Муха І. М. Обґрунтування раціональної методики визначення виходу негабариту після буровибухових робіт. *Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів*: тези Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Житомир: ЖДТУ, 2015. С. 109–113.

237. Хімічний склад повітря. Визначення та оцінка характеру та ступеню забруднення повітряного середовища приміщень. Гігієнічні вимоги до санітарного благоустрою аптек. Гігієнічна оцінка опалення та вентиляції. Гігієнічні вимоги до санітарного благоустрою аптек. URL: [http://intranet.tdmu.edu.ua/data/kafedra/internal/hihiena/classes\\_stud/uk/pharm/prov\\_pharm/ptn/%D0%93%D1%96%D0%B3%D1%96%D1%94%D0%BD%D0%B0%20%D1%83%20%D1%84%D0%B0%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97/3/02.%20%D0%A5%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%20%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D1%82%D1%80%D1%8F.htm](http://intranet.tdmu.edu.ua/data/kafedra/internal/hihiena/classes_stud/uk/pharm/prov_pharm/ptn/%D0%93%D1%96%D0%B3%D1%96%D1%94%D0%BD%D0%B0%20%D1%83%20%D1%84%D0%B0%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97/3/02.%20%D0%A5%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%20%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D1%82%D1%80%D1%8F.htm) (дата звернення: 10.12.2017).

238. Зеркалов Д. В., Ткачук К. Н., Ткачук К. К. Інженерна екологія: проблеми, моніторинг, управління: монографія. Київ: Основа, 2011. 580 с. URL: <http://ecology.kpi.ua> (дата звернення: 15.12.17).

239. Аспіратори для відбору проб повітря. URL: <http://sfera.com.ua/prylady-laboratorni/aspiratory-dlya-vidboru-prob-povitrya> (дата звернення: 15.12.17).

240. Гигиеническая оценка производственной пыли. *Электронная библиотека Медпортал.com*. URL: [http://xn--80ahc0abogjs.com/gigiena-sanepidkontrol\\_733/gigienicheskaya-otsenka-proizvodstvennoy-73349.html](http://xn--80ahc0abogjs.com/gigiena-sanepidkontrol_733/gigienicheskaya-otsenka-proizvodstvennoy-73349.html) (дата звернення: 15.12.17).

241. Опис і застосування аспіратора АЕРА. URL: <http://standart-m.com.ua/izmeritelnye-pribory/aspiratory/aspirator-rudnichnij-aera> (дата звернення: 15.12.17).

242. Автоматический рудничный аспиратор: пат. 138769 СССР: МПК G01N 1/24. № 681064/23; заявл. 03.10.1960; опубл. 01.01.1961, Бюл. № 11. 3 с.

243. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. (Чинний з 01.01.1989 до 01.01.2019 в Україні). Москва, 1988. 48 с.

244. Характеристики та особливості застосування газоаналізатора ОКЦИ 5М. URL: [https://chemtest.com.ua/ua/gazoanalizatori\\_oksi\\_5m-ua](https://chemtest.com.ua/ua/gazoanalizatori_oksi_5m-ua) (дата звернення: 17.12.17).

245. Газоанализаторы портативные ОКЦИ-5М. URL: [http://www.ecotest.kharkov.ua/oksi\\_5m.html](http://www.ecotest.kharkov.ua/oksi_5m.html) (дата звернення: 17.12.17).

246. Газоанализатори ОКЦИ. URL: <http://standart-m.com.ua/izmeritelnye-pribory/gazoanalizatory/gazoanalizatory-oksi?mova=uk> (дата звернення: 17.12.17).

247. Терентьев О. М., Клещов А. Й., Гонтарь П. А., Тверда О. Я. Резонансне енергоощадне руйнування гірських порід: монографія. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. Том 1. 149 с.

248. Воробйов В. Д., Тверда О. Я., Коляда Я. С. Оцінка впливу отруйних газів на стан повітря в зоні промислового вибуху Гранеміту. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2016. Вип. 31. С. 113–119.

249. UNIGRAN. Quality in a stone. URL: <http://www.unigran.ua/ua/> (дата звернення: 17.12.17).

250. Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов. Новороссийск: ЗАО «НИПИОТСТРОМ», 2000. 27 с. URL: <http://meganorm.ru/Data2/1/4293837/4293837763.pdf> (дата звернення: 17.12.17).

251. Дугарцыренов А. В., Анисимов В. Н., Семенов В. В. Об определяющих факторах формирования пылегазового облака при массовых взрывах на карьерах. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2007. Семинар № 10. С. 43–51. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-opredelyayuschih-faktorah-formirovaniya-pylegazovogo-oblaka-pri-massovyh-vzryvah-na-karierah> (дата звернення: 17.12.17).

252. Гранично допустимі концентрації (ГДК) та орієнтовні безпечні рівні діяння (ОБРД) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць. URL: [eco.ck.ua/docs/Perelik%20rechovyn,%20klas%20nebezpeky.doc](http://eco.ck.ua/docs/Perelik%20rechovyn,%20klas%20nebezpeky.doc) (дата звернення: 24.11.2015).

253. Тверда О. Я., Меркулова А. О. Визначення впливу висоти уступу гранітного кар'єра на його радіаційний фон. *Ресурсозбереження і екологічна безпека*: тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 8 грудня 2016 р. Київ, 2016. С. 76–78. URL: <http://ecology.kpi.ua> (дата звернення: 15.01.17).

254. Пилипенко М. І. Радіаційні вимірювання: принципи, поняття, одиниці. *Український радіологічний журнал*. 2000. № 1. С. 81–88.

255. Коваленко Г. Д. Радиоэкология Украины: монография. Харьков: ИНЖЭК, 2008. 264 с.

256. Бакка Н. Т., Барабаш О. Н. Радиоэкология: монографія. Житомир: ЖІТІ, 2001. 314 с.
257. Шматков Г. Г., Анищенко О. Л. Исследование миграции радионуклидов и тяжелых металлов от объектов – накопителей радиоактивных отходов. *Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м. Дніпропетровськ, 24–27 жовтня 2001 р. Дніпропетровськ, 2001. С. 173–174.*
258. Бакка М. Т., Барабаш О. М. Методика визначення рівнів радіації в гранітних кар'єрах. *Вісник ЖІТІ. Технічні науки. 2003. № 24. С. 199–201.*
259. Барабаш О. М., Мельничук П. П. Механізми дії на людину кар'єрної радіації малих доз і низької інтенсивності. *Вісник ЖІТІ. Технічні науки. 2001. № 19. С. 170–171.*
260. Оляницька О. М. Дослідження зміни полів іонізуючих випромінювань на гранітних кар'єрах із розвитком гірничих робіт. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. 2011. № 2 (57). С. 158–163.*
261. Очеретний В. П., Друкований О. М. Шляхи зниження радіактивності будівельних матеріалів та виробів. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2011. Том 10, № 1. С. 41–45.*
262. Тверда О. Я., Меркулова А. О., Ткачук К. К. Динаміка зміни радіаційно-гігієнічного фону з розвитком гірничих робіт у гранітному кар'єрі. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. 2016. Вип. 2/2016 (18). С. 57–64.*
263. Давиденко Ю. А., Тверда О. Я. Дослідження та поліпшення стану атмосферного повітря в районах розміщення відвалів кар'єрів. *Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів: тези III Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, м. Житомир, 27–28 квітня 2016 р. Житомир, 2016. С. 165–168.*

264. Тверда О. Я., Воробьев В. Д., Давыденко Ю. А. Оценка концентрации пыли при экскавации горной массы и формировании отвалов на карьерах. *International Scientific Journal «Theoretical & Applied Science»*. 2015. № 11 (31). С. 1–7.

265. Тверда О. Я., Воробйов В. Д., Давиденко Ю. А. Дослідження процесу розсіювання пилу з відвалу кар'єру в робочій зоні та на прилеглих територіях. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2015. Вип. 29. С. 96–103.

266. Тверда О. Я., Давиденко Ю. А. Обґрунтування радіусу зони запилення в залежності від маси пилу що здувається з відвалу. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2016. Вип. 30. С. 214–220.

267. Швыряев А. А., Меньшиков В. В. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе. Москва: Изд-во МГУ, 2004. 124 с.

268. Гранітне (снт). Вільна енциклопедія Вікіпедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%B5\\_\(%D1%81%D0%BC%D1%82\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%B5_(%D1%81%D0%BC%D1%82)).

269. Давидова І. В. Екологічна оцінка забруднення водних об'єктів і ґрунтового покриву у процесі проведення вибухових робіт при розробці гранітних кар'єрів на Житомирському Поліссі: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16 / Житомирський національний агроекологічний університет. Житомир, 2009. 19 с.

270. Качурин Н. М., Белая Л. А., Корчагина Т. В. Геоэкологический мониторинг и оценка воздействия на окружающую среду горнопромышленного региона. *Известия вузов. Горный журнал*. 2010. № 6. С. 32–37.

271. Бортнік Л. М. Екологічна оцінка урболандшафтів за вмістом важких металів у системі ґрунт-рослина (на прикладі міста Харкова): автореф. дис. ... канд. біолог. наук: 03.00.16 / Дніпропетровський державний університет. Дніпропетровськ, 1999. 20 с.

272. Бешлей З. М., Бешлей С. В., Баранов В. І., Терек О. І. Використання рослинних тест-систем для оцінки токсичності техногенно забруднених субстратів. *Вісник Харківського Національного аграрного університету. Серія: Біологія*. 2014. Вип. 1 (31). С. 97–102.

273. Дідух Я. П. Основи біоіндикації: монографія. Київ: Наукова думка, 2012. 343 с.

274. Губачов О. І. Особливості використання рослин для біотестування ґрунтів з метою визначення рівня екологічної безпеки промислових територій. *Науковий вісник КУЕІТУ. Нові технології*. 2010. № 3 (29). С. 164–171.

275. Валерко Р. А. Особливості біотестування антропогенно забруднених ґрунтів з метою їх екотоксичної оцінки. *Вісник ХНАУ*. 2013. № 2. С. 262–266.

276. Григорчук І. Д. Використання рослинних біоіндикаторів для оцінки токсичності ґрунтів на території м. Кам'янця-Подільського. *Біологічні системи*. 2016. Вип. 2., Т. 8. С. 212–218.

277. Попович В. В. Біоіндикація техногенних едафотопів Львівського міського сміттєзвалища за допомогою тесту на крес-салат. *Вісник ЛДУ БЖД*, 2016. №13. С. 107–111.

278. Семенов В. А., Любченко А. В. Хозяйственно-биологические признаки лука репчатого сорта Догадка. *Новые технологии*. 2009. № 4. С. 1–7.

279. Чернышева Н. Н., Хлебова Л. П., Пронина Р. Д. Использование тест-системы *Allium cepa* L. для оценки генотоксичности воды р. Чумыш. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2016. № 3. С. 90–95.

280. Давиденко Г. А., Сенченко Н. К. Порівняльна продуктивність сортів озимої пшениці в умовах Великописарівського району Сумської області. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2015. Вип. 3 (29). С. 198–200.

281. Колесніков М. О. Вплив токоферолу на адаптивний стан та формування біологічної продуктивності гороху посівного (*Pisum sativum* L.). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. 2014. № 1129. С. 129–137.

282. Алексанян А. Г., Тверда О. Я. Оцінка стану атмосферного повітря методом ліхеноіндикації. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2014. Вип. 24. С. 120–124.

283. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Москва: Радио и связь, 1993. 278 с.

284. Тверда О. Я., Косяк І. В. Обґрунтування вибору рослинних тест-систем для оцінки токсичності ґрунтів прилеглих територій гранітних кар'єрів. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2017. Вип. 33. С. 69–77.

285. Тверда О. Я., Гребенюк Т. В., Косяк І. В. Біоіндикаційна оцінка токсичності ґрунтів територій прилеглих до відвалів гранітних кар'єрів. *East European Science Journal*. 2018. № 3 (31). С. 4–10.

286. Коковіхін С. В. Наукові основи моделювання продуктивності польових культур при зрошенні: монографія. Херсон: Айлант, 2010. 220 с.

287. Горова А., Кулина С. Оцінка токсичності ґрунтів Червоноградського гірничопромислового району за допомогою ростового тесту. *Вісник Львів. ун-ту. Серія біологічна*. 2008. Вип. 48. С. 189–194.

288. Матыченков В. В., Бочарникова Е. А., Амосова Я. М. Аморфный кремнезем опал-кristобалитовых пород как возобновляемое сырье для синтеза кремнийорганических соединений и силикатов. Часть 4. Влияние кремниевых удобрений на растения и почву. *Бутлеровские сообщения*. 2015. Т. 43. № 9. С. 17–25. URL: <https://butlerov.com/stat/users/details.asp?lang=ru&id=3918> (дата звернення: 14.12.2016).

289. Матыченков И. В. Взаимное влияние кремниевых, фосфорных и азотных удобрений в системе почва-растение: дис. ... канд. биол. наук:



06.01.04 / Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. Москва, 2014. 136 с.

290. Молодець Ю. А., Тверда О. Я., Ткачук К. К. Удосконалення методу розрахунку ризиків для здоров'я працівників гранітних кар'єрів. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2017. Вип. 34. С. 52–60.

291. Єфремова О. О., Крайнов І. П. Біотестування. Сучасний стан практичного використання. *Вісник КДПУ*. 2006. Вип. 6/2006 (41), Частина 1. С. 142–144.

292. Васькіна І. В. Оцінка техногенного навантаження на придорожні екосистеми: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01 / Сумський державний університет. Суми, 2018. 214 с.

293. Шум І. В., Бедернічек Т. Ю. Екологічна якість ґрунту: критерії оцінювання. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.18. С. 72–80.

294. Molodets Yu., Tverda O., Tkachuk K. Substantiation of the impact of granite quarries dumps on pH of surrounding areas soil. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2017. Вип. 1/2017 (19). С. 72–78.

295. Дмитренко О. В., Макарчук О. В. Результати агрохімічного моніторингу родючості сільськогосподарських земель Житомирської області. *Молодий вчений*. 2015. № 4 (19), Частина 1. URL: <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2015/4/04.pdf> (дата звернення: 10.10.2016).

296. Тверда О. Я., Молодець Ю. А., Ткачук К. К., Шевчук Н. А. Визначення рівня рН ґрунтів прилеглих територій до відвалів гірських порід. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. 2016. IV (12), Issue: 110. С. 25–27.

297. Тверда О. Я., Ткачук К. К., Давиденко Ю. А. Порівняльний аналіз способів мінімізації пилоутворення з відвалів гранітних кар'єрів. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. Том 2, № 10 (80). С. 40–46.

298. Плотность водных растворов натриевых солей. *СПХФА*. Факультет промышленной технологии лекарств. URL: <http://www.fptl.ru/spravo4nik/plotnost-Na-solej.html> (дата звернення: 25.12.2017).

299. Плотность водных растворов солей, кислот и оснований. Справочник Thermalinfo.ru. URL: <http://thermalinfo.ru/svoystva-zhidkostej/voda-i-rastvory/plotnost-vodnyh-rastvorov-kislot-solej-i-osnovanij> (дата звернення: 25.12.2017).

300. Перелет Т. Н., Крючков А. И., Кравец В. Г. Обоснование способа газоподавления и нейтрализации токсичных газов при массовых взрывах на карьерах. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2010. Вип. 19. С. 178–181.

301. Примиська С. О., Безносик Ю. О., Статюха Г. О., Решетіловський В. П. Перспективи очистки викидних газів теплоенергетики на синтетичних цеолітах. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2010. № 10. С. 70–77.

302. Воробьев В. Д., Крючков А. И., Твердая О. Я. Оценка скорости движения забойки при взрывах скважинных зарядов во взаимосвязи с результатами дробления горных пород. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2014. Вип. 1/2014 (13). С. 11–19.

303. Друкованый М. Ф. Методы управления взрывом на карьерах. Москва: Недра, 1973. 416 с.

304. Ефремов Э. И., Бережецкий А. Я. Выбор средств и методов повышения эффективности взрывных работ на карьерах. *Развитие методов добычи руд черных металлов и пути их дальнейшего совершенствования*: сборник научных работ по материалам международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию ГНИГРИ, Кривой-Рог, 2003 г. 2003. С. 148–154.

305. Ефремов Э. И., Никифорова В. А., Петренко В. Д. Влияние времени запираания газообразных продуктов детонации в зарядной полости на повышение полезной работы взрыва. *Высокоэнергетическая обработка материалов*: сборник научных трудов. 1997. С. 103–109.

306. Ефремов Э. И., Никифорова В. А. Теоретическая оценка времени вылета забоек цилиндрических зарядов взрывчатых веществ. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2009. Вип. 1/2009 (3). С. 13–17.
307. Ляхов Г.М. Основы динамики взрывных волн в грунтах и горных породах. Москва: Недра, 1974. 192 с.
308. Физика взрыва / под. ред. К. П. Станюковича. Москва: Наука, 1975. 704 с.
309. Прокопенко В. С. Разрушение горных пород скважинными зарядами взрывчатых веществ в рукавах. Киев: НТУУ «КПИ», 2010. 208 с.
310. Устименко Е. Б., Шиман Л. Н., Холоденко Т. Ф. Экологический мониторинг взрывных работ, проводимых с использованием ЭВВ марки «ЕРА» с продуктами переработки твердого ракетного топлива. *Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського*. 2008. Вип. 1/2008 (48), Частина 1. С. 97–99.
311. Тверда О. Я., Петренко О. В., Ткачук К. К. Вплив складу вибухових речовин на вихід шкідливих газів під час підривних робіт на кар'єрах. *Актуальні наукові дослідження в сучасному світі*. 2018. Вип. 3 (35), Частина 7. С. 39–44.
312. Тверда О. Я., Воробойов В. Д. Питомі витрати вибухової речовини при руйнуванні блоку порід з різними властивостями. *Вісник НТУУ «КПИ». Серія «Гірництво»*. 2011. Вип. 20. С. 52–58.
313. Податковий кодекс України: Закон України від 02.12.2010 р. № 2755-VI. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17> (дата звернення: 15.01.2018).
314. Тангаев И. А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. Москва: Недра, 1986. 231 с.
315. Мыслицкий С. М., Пеев А. М. Анализ методов регулирования интенсивности взрывного дробления неоднородных трещиноватых массивов и влияние их структурных особенностей на энергетический баланс. *Сучасні*

*ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2011. Випуск 1/2011 (7). С. 27–32.

316. Бухаров Г. Н., Михайлов Ю. В. Влияние параметров конструкции заряда на форму взрывного импульса давления продуктов детонации. *Известия вузов. Геология и разведка*. 1969. № 6. С. 119–123.

317. Ханукаев А. Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом. Москва: Госгортехиздат, 1962. 200 с.

318. Мосинец В. Н. Энергетические и корреляционные связи процесса разрушения пород взрывом. Фрунзе: изд-во АН Киргиз. ССР, 1963. 233 с.

319. Андреев Б. М. Удосконалення технології вибухової відбійки при підземному добуванні руд в умовах впливу техногенних формувань. *Вісник КТУ*. 2003. Вип. 2. С. 51–56.

320. Клочков В. Ф., Чумаченко В. А. Определение коэффициента передачи энергии на разрушение горного массива при взрыве колонкового заряда ВВ. *Разработка рудных месторождений*. 1990. Вып. 49. С. 46–48.

321. Воробьев В. Д., Плаксий В. А., Кураколов А. Э. Энергетическая эффективность промышленных ВВ. *Строительные материалы и конструкции*. 1992. № 2. С. 36–37.

322. Государственное предприятие «Научно-производственное объединение «Павлоградский химический завод». Оказание услуг в сфере буровых и взрывных работ. Павлоград, 2009. 16 с.

323. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / под ред.: Н. В. Мельникова, В. В. Ржевского, М. М. Протодьяконова. Москва: Недра, 1975. 279 с.

324. Твердая О. Я., Воробьев В. Д., Демешук В. Л. Оценка трансформации энергии взрыва в разрушаемый массив разнопрочных пород зарядами взрывчатых веществ местного приготовления. *Вісник НТУУ «КПІ»*. Серія «Гірництво». 2014. Вип. 26. С. 84–91.

325. Методика расчета параметров буровзрывных работ на получение кусков заданной крупности. Москва: ЦНИГРИ, 1968. 26 с.

326. Временная классификация горных пород по степени трещиноватости в массиве. Москва: ИГД им. А. А. Скочинского, 1968. 21 с.

327. Бирюков А. В., Ташкинов А. С. Об оценке кусковатости взорванной породы при циклично-поточной технологии. *Известия вузов. Горный журнал*. 1981. № 3. С. 53–56.

328. Кутузов Б. Н., Лемеш Н. И., Плужников В. Ф. Классификация горных пород по взрываемости для карьеров. *Горный журнал*. 1979. № 2. С. 41–43.

329. Грачев Ф. Г., Павлов В. П., Качайник Г. В. Классификация горных пород апатитового карьера «Центральный» по взрываемости. *Пути повышения эффективности открытых горных работ*. 1970. С. 76–82.

330. Клочков В. Ф. Разработка классификации горных пород по взрываемости на основе критерия, учитывающего прочностные и вязкие свойства. *Взрывное дело*. 1977. № 78/35. С. 97–102.

331. Дунаев В. А., Ермолов В. А. Геологические факторы, влияющие на взрываемость горных пород при открытой разработке полезных ископаемых. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 1999. № 1. С. 11–16.

332. Хакулов В. В. Совершенствование проектирования буровзрывных работ для карьеров на основе саморазвивающихся моделей районирования массивов горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2010. № 7. С. 28–31.

333. Воробьев В. Д., Твердая О. Я., Азнаурян И. А. Целевая оценка трещиноватости и блочности горного массива скальных пород при производстве взрывных работ в карьерах. *Управління розвитком складних систем*. 2015. № 24. С. 147–153.

334. Гайна Г. А., Єрукаєв А. В. Теоретичний аналіз складових житлового будівництва. *Управління розвитком складних систем*. 2014. № 20. С. 116–119.

335. Рыбак А. И., Панафидин Г. С. Методологические основы управления программами развития регионов Украины. *Управління розвитком складних систем*. 2014. № 19. С. 71–77.
336. Проектирование взрывных работ в промышленности / под. ред. Б. Н. Кутузова. Москва: Недра, 1983. 359 с.
337. Кучерявый Ф. И., Олейников А. С., Волов А. Т. Многорядное короткозамедленное взрывание на карьерах строительных материалов. Киев: «Будівельник», 1975. 84 с.
338. Воробьев В. Д., Перегудов В. В. Взрывные работы в скальных породах. Киев: Наук. думка, 1984. 240 с.
339. Игнатенко И. М. Районирование карьера «ОАО «Стойленский ГОК» по блочности горных пород. *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2010. Вып. 1. С. 83–92.
340. Геолого-структурное картирование Ковдорского месторождения для решения геомеханических и горно-эксплуатационных задач с применением компьютерных технологий / В. А. Дунаев и др. *Горный журнал*. 1998. № 4. С. 13–15.
341. Завсегдашний В. А., Перегудов В. В., Слободянюк В. К. Оценка участков карьерного поля по трудности взрывания горных пород. *Разработка рудных месторождений*. 1999. № 67. С. 15–18.
342. Тангаев И. А. Буримость и взрываемость горных пород. Москва: Недра, 1978. 184 с.
343. Ракишев Б. Р. Прогнозирование технологических параметров взорванных пород на карьерах. Алма-Ата: Наука, 1983. 240 с.
344. Мосинец В. Н., Абрамов А. В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. Москва: Недра, 1982. 248 с.
345. Ржевский В. В. Процессы открытых горных работ. Москва: Недра, 1978. 542 с.

346. Дунаев В. А., Серый С. С., Герасимов А. В., Ермолов В. А. Карта взрываемости горных пород и автоматизация проектирования буровзрывных работ на карьерах. *Горный журнал*. 2000. № 1. С. 17–21.

347. Воробьев В. Д., Гончар И. Ф. О проектировании эффективных и безопасных параметров взрывных работ. *Безопасность труда в промышленности*. 1981. № 12. С. 34–36.

348. Влияние способа взрывания на характер и объем разрушения гранитов / Ф. И. Кучерявый и др. *Автодорожник Украины*. 1978. № 1. С. 40–41.

349. Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности: изд-е 5-ое. Москва: Недра, 1972. 240 с.

350. Справочник взрывника / под общей ред. Б. Н. Кутузова. Москва: Недра, 1988. 511 с.

351. Ефремов Э. И., Петренко В. Д., Рева Н. П., Кратковский И. Л. Механика взрывного разрушения пород различной структуры. Киев: Наукова думка, 1984. 192 с.

352. Воробьев В. Д. Совершенствование сетки скважинных зарядов ВВ. *Добыча угля открытым способом*. 1978. № 2. С. 3–6.

353. Двоскин Е. М. Методика расчета удлиненных зарядов на рыхление. *Горный журнал*. 1994. № 10. С. 42–45.

354. Исследование влияния сетки скважин, диаметра заряда и удельного расхода ВВ на степень дробления взорванной массы в условиях трудновзрываемых пород Первоуральского рудника / П. С. Данчев и др. *Взрывное дело*. 1969. № 69/26. С. 194–201.

355. Азаркович А. Е. Определение параметров взрывания скважинными зарядами, обеспечивающих заданный выход негабарита. *Горный журнал*. 1985. № 8. С. 44–47.

356. Тюпин В. Н. Параметры расположения скважинных зарядов в массивах с различной структурой. *Известия вузов. Горный журнал*. 1982. № 6. С. 58–61.

357. Кутузов Б. Н., Тюпин В. Н. Проектирование массового взрыва в массиве, пронизанном естественными трещинами с заполнителем. *Известия вузов. Горный журнал*. 1982. № 12. С. 50–56.

358. Тверда О. Я., Воробйов В. Д. Обґрунтування раціональних розмірів і геометрії мережі свердловин за фактором пропрацювання підшви уступу для тріщинуватих скельних порід. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2015. № 3 (74). С. 140–148.

359. Кутузов Б. Н., Тюпин В. Н. Определение размера зоны регулируемого дробления при взрыве заряда в трещиноватом массиве. *Известия вузов. Горный журнал*. 1979. № 8. С. 30–35.

360. Исследование и разработка рациональных методов взрывных работ для обеспечения рациональных параметров развала горной массы с сохранением качества дробления и сейсмостойкости промышленных и гражданских объектов: отчет о НИР (заключительный) № ГР 01.8.80 051824. Киев: Институт геофизики им. С. И. Субботина АНУССР, 1989. 191 с.

361. Кучерявый Ф. И., Крысин Р. С., Бурков Ю. П. Совершенствование технологии разработки гранитных карьеров. Киев: Техника, 1966. 268 с.

362. Кузнецов Г. В., Батманова А. А., Малых В. А. Влияние горнотехнических условий на дробление горных пород. *Взрывное дело*. 1976. № 77/34. С. 241–246.

363. Разрушение горных пород энергией взрыва / Э. И. Ефремов и др. Киев: Наук. думка, 1987. 264 с.

364. Ракишев Б. Р., Ракишева З. Б., Ауэзова А. М., Дуренбекова А. Н. Регрессионные модели разноблочных массивов пород. *Вестник КазНТУ*. 2013. № 6(100). С. 104–110.

365. Турута Н. У., Галимуллин А. Т., Панченко Д. Ф., Карпинский А. В. Исследование разрушения крепких пород взрывом для достижения большой степени дробления пород. *Взрывное дело*. 1967. № 62/19. С. 104–111.



366. Воробьев В. Д., Твердая О. Я., Косьмин И. В. Влияние параметров сетки скважинных зарядов на относительные расстояния между ними при порядно-диагональных схемах взрывания. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2013. Вип. 2/2013 (12). С. 68–74.
367. Клевцов И. В., Федоренко П. И. Схемы взрывания на карьерах и качество дробления горной массы. Киев: Техніка, 1981. 104 с.
368. Методы и средства взрывной отбойки руды / Э. О. Миндели и др. Москва: Недра, 1977. 312 с.
369. Суханов А. Ф., Кутузов Б. Н. Разрушение горных пород взрывом. Москва: Недра, 1983. 344 с.
370. Tverda O., Vorobyov V. Interrelation breakup parameters of rock mass with the direction breakage under explosive working off of high ledges in the quarries. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2015. Вип. 1/2015 (15). С. 63–73.
371. Авдеев Ф. А., Барон В. Л., Гуров Н. В., Кантор В. Х. Нормативный справочник по буровзрывным работам. Москва: Недра, 1986. 511 с.
372. План розвитку гірничих робіт Товкачівського родовища кварцитів на 2018 рік. С.м.т. Першотравневе: ПАТ Товкачівський ГЗК, 2017. 42 с.
373. Крайчук С. А., Ремез Н. С., Тверда О. Я., Дыняк С. В. Методика прогнозирования сейсмостойкости охраняемых объектов вблизи проведения взрывных работ. *International Scientific Journal «Theoretical & Applied Science»*. 2014. № 9 (17). С. 68–73.
374. Terentiev O., Tkachuk K., Tverda O., Kleshchov A. Electromagnetic focusing of impurities in water purification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Volume 4, No 10 (82). P. 10–15.
375. Terentiev O., Tkachuk K., Tverda O., Kleshchov A. Mathematical model of the reverse water postpurification at mining enterprises when using electromagnetic focusing of contaminants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Volume 1, No 10 (91). P. 10–16.

376. Симоненко В. І., Гриценко Л. С. Технологічні схеми відкритої розробки гранітних кар'єрів, що забезпечують безпеку території у зменшеній санітарно-захисній зоні. *Форум гірників – 2013*: матеріали міжнародної конференції, м. Дніпропетровськ, 2–5 жовтня 2013 р. 2013. Т. 1. С. 124–130.

377. Сергієнко М. І. Ефективність застосування бурових верстатів на кар'єрах України. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2011. Вип. 21. С. 107–112.

378. Сторчак С. О., Кривцов М. В., Поплавський В. А. Виготовлення і застосування емульсійних вибухових речовин на кар'єрах. Київ: Експо-Дата, 2004. 95 с.

379. Шиман Л. М. Безпека процесів виробництва та використання на гірничих підприємствах емульсійних вибухових речовин марки «ЕРА»: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.01 / ДВНЗ «Національний гірничий університет». Дніпропетровськ, 2010. 40 с.

380. Воробьев В. Д., Крючков А. И., Влащук М. М., Сидор Р. М. Механическое разрушение вскрышных скальных пород. *Уголь Украины*. 2011. № 4. С. 24–27.

## ДОДАТОК А

## Список опублікованих праць за темою дисертації

*Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Ткачук К. Н., Ткачук К. К., Твердая О. Я. Управление разрушением горных пород взрывом на карьерах: монография. Киев: Основа, 2015. 262 с.  
URL: <http://ecology.kpi.ua/wp-content/uploads/2016/05/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%8F.pdf> (дата звернення: 04.06.2018).
2. Терентьев О. М., Клещов А. Й., Гонтарь П. А., Тверда О. Я. Резонансне енергоощадне руйнування гірських порід: монографія. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. Том 1. 149 с.
3. Воробьев В. Д., Твердая О. Я., Косьмин И. В. Влияние параметров сетки скважинных зарядов на относительные расстояния между ними при порядно-диагональных схемах взрывания. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2013. Вип. 2/2013 (12). С. 68–74.
4. Воробьев В. Д., Крючков А. И., Твердая О. Я. Оценка скорости движения забойки при взрывах скважинных зарядов во взаимосвязи с результатами дробления горных пород. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2014. Вип. 1/2014 (13). С. 11–19.
5. Воробйов В. Д., Тверда О. Я. Удосконалення технології районування гранітних кар'єрів. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2014. № 4 (71). С. 139–146.
6. Твердая О. Я., Воробьев В. Д., Демещук В. Л. Оценка трансформации энергии взрыва в разрушаемый массив разнопрочных пород зарядами взрывчатых веществ местного приготовления. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2014. Вип. 26. С. 84–91.
7. Твердая О. Я., Воробьев В. Д. Повышение качества дробления

трещиноватых скальных пород за счет оптимального направления отбойки скважинными зарядами. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2014. Вип. 2/2014 (14). С. 13–24.

8. Тверда О. Я., Воробйов В. Д. Обґрунтування раціональних розмірів і геометрії мережі свердловин за фактором пропрацювання підосви уступу для тріщинуватих скельних порід. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2015. № 3 (74). С. 140–148.

9. Воробьев В. Д., Твердая О. Я., Азнаурян И. А. Целевая оценка трещиноватости и блочности горного массива скальных пород при производстве взрывных работ в карьерах. *Управління розвитком складних систем*. 2015. Вип. 24. С. 147–153.

10. Тверда О. Я., Ткачук К. К., Давиденко Ю. А. Порівняльний аналіз способів мінімізації пилоутворення з відвалів гранітних кар'єрів. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. Том 2, № 10 (80). С. 40–46.

11. Terentiev O., Tkachuk K., Tverda O., Kleshchov A. Electromagnetic focusing of impurities in water purification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Volume 4, No 10 (82). P. 10–15.

12. Тверда О. Я., Меркулова А. О., Ткачук К. К. Динаміка зміни радіаційно-гігієнічного фону з розвитком гірничих робіт у гранітному кар'єрі. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2016. Вип. 2/2016 (18). С. 57–64.

13. Tverda O., Kosyak I. The analysis of bio-indication methods of soils' ecological state in nearby territory of granite dumps. *Збалансоване природокористування*. 2017. № 2/2017. С. 79–84.

14. Тверда О. Я., Косяк І. В. Обґрунтування вибору рослинних тест-систем для оцінки токсичності ґрунтів прилеглих територій гранітних кар'єрів. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2017. Вип. 33. С. 69–77.

15. Molodets Yu., Tverda O., Tkachuk K. Substantiation of the impact of granite quarries dumps on pH of surrounding areas soil. *Сучасні*

*ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2017. Вип. 1/2017 (19). С. 72–78.

16. Молодець Ю. А., Тверда О. Я., Ткачук К. К. Удосконалення методу розрахунку ризиків для здоров'я працівників гранітних кар'єрів. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2017. Вип. 34. С. 52–60.

17. Terentiev O., Tkachuk K., Tverda O., Kleshchov A. Mathematical model of the reverse water postpurification at mining enterprises when using electromagnetic focusing of contaminants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Volume 1, No 10 (91). P. 10–16.

18. Tverda O., Plyatsuk L., Repin M., Tkachuk K. Controlling the process of explosive destruction of rocks in order to minimize dust formation and improve quality of rock mass. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Volume 3, No 10 (93). P. 35–42.

19. Тверда О. Я., Пляцук Л. Д. Розробка конструкції забійки свердловинного заряду із двоступеневою системою поглинання шкідливих газів. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2018. Вип. 1/2018 (21). С. 103–115.

20. Крайчук С. А., Ремез Н. С., Тверда О. Я., Дыняк С. В. Методика прогнозування сейсмостійкості охораняємых об'єктів вблизи проведення взрывних работ. *International Scientific Journal «Theoretical & Applied Science»*. 2014. № 9 (17). С. 68–73.

21. Ткачук К. Н., Ткачук К. К., Тверда О. Я., Дыняк С. В. Управление энергией взрыва. *International Scientific Journal «Theoretical & Applied Science»*. 2014. № 11 (19). С. 77–83.

22. Тверда О. Я., Воробьев В. Д., Давыденко Ю. А. Оценка концентрации пыли при экскавации горной массы и формировании отвалов на карьерах. *International Scientific Journal «Theoretical & Applied Science»*. 2015. № 11 (31). С. 1–7.

23. Тверда О. Я., Молодець Ю. А., Ткачук К. К., Шевчук Н. А. Визначення рівня рН ґрунтів прилеглих територій до відвалів гірських порід.

*Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences.* 2016. IV (12), Issue: 110. С. 25–27.

24. Тверда О. Я., Гребенюк Т. В., Косяк І. В. Біоіндикаційна оцінка токсичності ґрунтів територій прилеглих до відвалів гранітних кар'єрів. *East European Science Journal.* 2018. № 3 (31). С. 4–10.

25. Тверда О. Я., Петренко О. В., Ткачук К. К. Вплив складу вибухових речовин на вихід шкідливих газів під час підривних робіт на кар'єрах. *Актуальные научные исследования в современном мире.* 2018. Вып. 3 (35), Часть 7. С. 39–44.

26. Tverda O., Vorobyov V. Interrelation breakup parameters of rock mass with the direction breakage under explosive working off of high ledges in the quarries. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва.* 2015. Вип. 1/2015 (15). С. 63–73.

27. Тверда О. Я., Воробйов В. Д., Давиденко Ю. А. Дослідження процесу розсіювання пилу з відвалу кар'єру в робочій зоні та на прилеглих територіях. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво».* 2015. Вип. 29. С. 96–103.

28. Воробйов В. Д., Тверда О. Я., Коляда Я. С. Оцінка впливу отруйних газів на стан повітря в зоні промислового вибуху Гранеміту. *Проблеми охорони праці в Україні.* 2016. Вип. 31. С. 113–119.

29. Тверда О. Я., Давиденко Ю. А. Обґрунтування радіусу зони запилення в залежності від маси пилу що здувається з відвалу. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво».* 2016. Вип. 30. С. 214–220.

30. Воробьев В. Д., Твердая О. Я., Молодец Ю. А. Анализ технологий добычи монолитных блоков в карьерах стройматериалов. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво».* 2016. Вип. 31. С. 36–48.

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***

31. Воробйов В. Д., Тверда О. Я. Підвищення якості підготовки гірської маси при вибуховому відпрацюванні уступів на кар'єрах. *Енергетика.*

*Екологія. Людина*: тези доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 15–17 травня 2015 р. Київ, 2015. С. 31–33.

32. Давиденко Ю. А., Тверда О. Я. Дослідження та поліпшення стану атмосферного повітря в районах розміщення відвалів кар'єрів. *Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів*: тези III Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, м. Житомир, 27–28 квітня 2016 р. Житомир, 2016. С. 165–168.

33. Воробйов В. Д., Тверда О. Я., Сергієнко М. І., Аль-Карагули О. Аналіз розвитку наукових основ технологічних процесів при розробці нерудних корисних копалин. *Енергетика. Екологія. Людина*: тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 28–29 квітня 2016 р. Київ, 2016. С. 86–88.

34. Тверда О. Я., Петренко О. В. Оцінка впливу пилегазової хмари на навколишнє середовище при масових вибухах на гранітних кар'єрах. *Ресурсозбереження і екологічна безпека*: тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 8 грудня 2016 р. Київ, 2016. С. 79–81.

35. Тверда О. Я., Петренко О. В. Визначення кількості шкідливих газів у продуктах вибуху Гранеміту з урахуванням кисневого балансу. *Енергетика. Екологія. Людина*: тези доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 25–26 травня 2017 р. Київ, 2017. С. 120–122.

36. Тверда О. Я. Підвищення рівня екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню. *Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі*: матеріали II Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції, м. Кривий Ріг, 14 грудня 2017 р. Кривий Ріг, 2017. С. 226.

## ДОДАТОК Б

### Основні характеристики та властивості емульсійної вибухової речовини «Гранеміт» згідно ДТП 14015318.06.2.00.00074

#### Основні характеристики і властивості готової продукції

Напівфабрикати – емульсія пореміта ТУ У 24.6–14015318–207–2007 і газогенеруюча добавка (ГГД) ТУ У 24.6–14015318–206–2007 і компоненти (аміачна селітра ГОСТ 2–85 і дизельне паливо ГОСТ 305–82) використовуються для отримання гранеміта марки И-30У ТУ У 24.6–14015318–208–2007.

Емульсія пореміта і ГГД готуються на модульній установці з подальшим завантаженням їх до відповідних ємностей змішувально-заряджальних машин (ЗЗМ). ЗЗМ здійснює транспортування емульсії пореміта, ГГД, гранульованої аміачної селітри і дизельного палива до місць зарядки і змішання їх з отриманням гранеміта в процесі заряджання свердловин.

#### Емульсія пореміта ТУ У 24.6–14015318–207–2007

Емульсія пореміта – емульсія висококонцентрованого (від 83 % до 84 %) водного розчину аміачної і натрієвої селітр в індустріальному маслі в присутності емульгатора. Основні контрольовані показники емульсії пореміта повинні відповідати нормам, зазначеним у табл. Б.1. Неконтрольовані фізико-хімічні властивості емульсії пореміта наведено в табл. Б.2.

Емульсія пореміта є пожежонебезпечною речовиною. Згідно ГОСТ 12.1.044–89 емульсія пореміта відноситься до важкогорючих речовин. Спалахи і займання від джерела полум'я під час випробувань емульсії пореміта у відкритому тиглі за ГОСТ 12.1.044–89 до 200 °С не відбуваються. Вище цієї температури починається розкладання емульсії і за температури 235 °С відбувається самозаймання з інтенсивним горінням. Критичний



діаметр горіння емульсії пореміта в сталевих трубах: від 57 мм до 70 мм.  
Водночас швидкість горіння від 0,004 см/с до 0,006 см/с.

Температура початку термічного розкладання емульсії від 190 °С до 195 °С, температура інтенсивного термічного розкладання становить від 232 °С до 236 °С, температура спалаху за затримки 60 с – 350 °С.

Згідно «Рекомендацій ООН» щодо кваліфікації небезпечних вантажів під час транспортування емульсія пореміта не відноситься до класу вибухових речовин. Вона відноситься до небезпечних вантажів 5 класу (підклас 5.1 – окислювач) згідно з класифікацією за ГОСТ 19433–88. Емульсія пореміта має низьку чутливість до механічних впливів.

Таблиця Б.1 – Показники емульсії пореміта

Назва показника	Норма
Зовнішній вигляд	Пластична речовина від світло-жовтого до коричневого кольору
Масова частка компонентів, %: селітра і емульгатор (сумарно), в тому числі (номінальне значення):	80 ± 3
селітра аміачна } сумарно	62 } 78 ± 2 16 }
селітра натрієва }	
емульгатор } сумарно	2 } 7,0±1,5 5 }
масло індустріальне }	
вода	15 ± 2
Густина, г/см <sup>3</sup> , не менше	1,39
Температура, °С	65–90
Електрична ємність за температури (80 ± 5) °С, пФ, не більше	150
Водостійкість (маса аміачної і натрієвої селітр, які перейшли в розчин з площі поверхні контакту емульсії пореміта з водою), кг/м <sup>2</sup> , не більше:	
- за 4 години	0,05
- за 24 години	0,2

Таблиця Б.2 – Фізико-хімічні властивості емульсії пореміта

Назва показника	Величина
Теплоємність, Дж/(кг × К), за T = (75 ± 5) °C	2400–2600
Теплопровідність, Вт/(м × К), за T = (75 ± 5) °C	0,33–0,37
Динамічна в'язкість на віскозиметрі «Brookfield» моделі KV за швидкості обертання шпинделя № 4 0,3 об/хв за T = 80 °C і за використання для виготовлення емульсії пореміта індустриального масла И-20А, кП, не більше	1,0
Максимальне напруження зсуву, Па	10000
Стійкість за T = (80 ± 5) °C, год	24
Час затримки теплового самозаймання за температури 230 °C, хв	185–200
Максимальна розрахункова густина, кг/м <sup>3</sup>	1415

### Газогенеруюча добавка ТУ У 24.6–14015318–206–2007

ГГД – водний розчин нітриту натрію. ГГД використовується як сенсibilізатор. Знешкодження пролітої ГГД проводиться змиванням водою. ГГД пожежо- та вибухобезпечна і несумісна з кислотами і кислими солями, так як їх взаємодія призводить до розкладання. Основні контрольовані фізико-хімічні показники ГГД повинні відповідати нормам, зазначеним у табл. Б.3. Неконтрольовані фізико-хімічні властивості ГГД наведено у табл. Б.4.

Таблиця Б.3 – Норми контрольованих фізико-хімічних показників ГГД

Назва характеристики	Норма
Зовнішній вигляд	Безбарвна або світло-жовта прозора рідина
Масова частка нітриту натрію, %	10,0 ± 5,0
Густина за температури 70 °C, г/см <sup>3</sup>	1,007–1,078

Таблиця Б.4 – Неконтрольовані фізико-хімічні показники ГГД

Назва показника	Значення
Густина за температури 20 °C, г/см <sup>3</sup>	1,033–1,087
Температура кристалізації, °C, не менше	-8
Водневий показник, рН	6–7
В'язкість за температури (75 ± 5) °C, мПа × с	0,411–0,548
Питома теплоємність за температури (75 ± 5) °C, кДж/кг × К	3,99

### Гранеміт марки И-ЗОУ ТУ У 24.6–14015318–208–2007

Гранеміт – промислова вибухова речовина 1 класу (за класифікацією СОУ МПП 71.100.30–131–2006), являє собою суміш емульсії пореміта з селітрою аміачною гранульованою і паливом дизельним, сенсibiliзованою ГГД. Гранеміт виготовляється в непатронованому вигляді на місцях застосування в ЗЗМ, допущених до постійного застосування Держгірпромнаглядом України, та призначений для механізованого заряджання на кар'єрах сухих і обводнених свердловин в породах середньої міцності і міцних, що не містять сульфідні руди, у всіх кліматичних районах України.

Гранеміт є вибухонебезпечною, пожежонебезпечною і токсичною речовиною. За фізико-хімічними і вибуховими показниками гранеміт повинен відповідати вимогам і нормам, зазначеним у табл. Б.5. Неконтрольовані характеристики гранеміта наведено в табл. Б.6.

Таблиця Б.5 – Вимоги і норми за фізико-хімічними і вибуховими показниками до гранеміту

Назва показника	Норма	
Зовнішній вигляд	Пластична речовина від світло-жовтого до темно-коричневого кольору з включенням гранул білого або світло-жовтого кольору	
Масова частка компонентів, %:		
аміачна селітра	} сумарно 28,35	
паливо дизельне		1,65
емульсія пореміта		70 ± 5
ГГД (понад 100%)		0,5–1,0
Детонація заряду в поліетиленовій оболонці діаметром (100 ± 5) мм від проміжного детонатора	Повна	
Водостійкість: маса аміачної і натрієвої селітр, які перейшли в розчин з площі поверхні контакту ВР з водою, кг/м <sup>2</sup> , не більше:		
- за 4 години	0,3	
- за 24 години	1,0	
Густина, г/см <sup>3</sup>	1,15–1,35	

Таблиця Б.6 – Неконтрольовані показники гранеміту

Назва характеристики	Значення
<b>Розрахункові</b>	
Теплота вибуху, ккал/кг (МДж/кг)	801 (3,35)
Питомий обсяг газоподібних продуктів вибуху, л/кг	930
Кисневий баланс, %	-0,6
Тротиловий еквівалент за теплою вибуху	0,8
Концентрація енергії за щільності заряджання 1,3 г/см <sup>3</sup> , ккал/дм <sup>3</sup> (МДж/дм <sup>3</sup> )	1041 (4,36)
Обсяг отруйних газів, що виділяються під час вибуху (в перерахунку на умовний окис вуглецю), л/кг	35–40
<b>Експериментальні</b>	
Швидкість детонації в сталевій трубі 95 × 3,5 за ГОСТ 3250, км/с	4,8–5,4
Критичний діаметр детонації в сталевій оболонці, мм	40–50
Чутливість до удару за ГОСТ 4545–88: - нижня межа, мм - частота вибухів в приладі 1, %	Більше 500 4
Чутливість до тертя за ГОСТ 84–895–83 на приладі К–44–3: нижня межа, МПа	~ 900
Температура початку інтенсивного розкладання, °С	228–230

### Селітра аміачна ГОСТ 2-85

Селітра аміачна (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) (без обробки диспергаторами «НФ» або іншими поверхнево-активними речовинами того ж виду) – застосовується як окислювач. За фізико-хімічними показниками аміачна селітра повинна відповідати нормам, зазначеним в табл. Б.7.

Таблиця Б.7 – Норми щодо аміачної селітри у складі гранеміту

Назва показника	Норма за ГОСТ 2-85	
	Марка А	Марка Б
рН 10 % водного розчину, не менше	5,0	5,0
Сумарна масова частка нітратного і амонійного азоту в перерахунку на NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> в сухій речовині, %, не менше	98	Не нормується
Масова частка води, %, не більше	0,3	0,3
Масова частка речовин нерозчинних у 10 % розчині азотної кислоти, %, не більше	0,2	Не нормується
Насипна вага, г/см <sup>3</sup> , не більше	Не нормується	

Аміачна селітра пожежонебезпечна. Являє собою окислювач, здатний підтримувати горіння. У замкнутому просторі, коли продукти терморозкладу не можуть вільно видалятися, селітра може за певних умов вибухати. У чистому вигляді аміачна селітра має слабкі вибухові властивості. Вона не здатна вибухати від капсуля-детонатора і вимагає для збудження вибуху застосування досить потужного проміжного детонатора.

Аміачна селітра добре розчиняється у воді, ацетоні, погано у спирті, майже не розчиняється у бензолі. Розчинення селітри у воді відбувається зі значним поглинанням тепла (0,33 МДж/кг). Розчинність аміачної селітри у воді становить 1,22 л/кг за температури 0 °С, за 80 °С – 6,0 л/кг.

Аміачна селітра стійка сіль в нормальних умовах зберігання. За умови потрапляння вологи в процесі її зберігання можливе виділення аміаку в кількості до 100 мг/т. У розплавленому стані аміачна селітра реагує з багатьма металами (міддю, цинком, свинцем) і їх сплавами, утворюючи відповідні нітрати солей. Волога аміачна селітра корозує ці метали. Розплавлена і тверда волога аміачна селітра не реагує з алюмінієм і його сплавами, сталлю з присадками хрому і нікелю. В умовах виробництва під час попадання аміачної селітри на важкодоступні для чищення деталі обладнання (в сальники, втулки і т. д.), виготовлені з міді, бронзи або латуні, може спостерігатись фарбування аміачної селітри в блакитний колір внаслідок утворення продуктів взаємодії з цими металами. Тому обладнання для виробництва аміачно-селітряних ВР повинно бути виготовлене із нержавіючої сталі і сплавів алюмінію. Для сухої аміачної селітри допускаються звичайні вуглецеві сталі із значним скороченням терміну служби обладнання.

За умови нагрівання до 150 °С аміачна селітра частково розкладається на аміак і азотну кислоту. З підвищенням температури швидкість розкладання аміачної селітри зростає і в продуктах розкладання виявляється значна кількість оксиду азоту. Утворення азотної кислоти в процесі зберігання і транспортування гарячої (понад 60 °С) аміачної селітри є

причиною самозагорання паперових мішків, в які її пакують. Просочення паперових мішків бітумом зменшує небезпеку взаємодії паперу з аміачною селітрою. Інтенсифікації термічного розкладання аміачної селітри під час нагрівання сприяють органічні домішки (масла, тирса, стружки і т. д.), тому присутність цих домішок в аміачній селітрі не припустима.

Аміачна селітра мало чутлива до механічних впливів. Чутливість зростає за підвищення температури і наявності органічних домішок.

За температури 210 °С і взаємодії із сіркою, сірчанім колчеданом, кислотами, суперфосфатом, хлорним вапном, порошковими металами (особливо з цинком) аміачна селітра розкладається з виділенням токсичних оксидів азоту і кисню. Виділений кисень може викликати загорання горючих матеріалів. У разі забруднення аміачної селітри органічними матеріалами або під час сильної пожежі розкладання аміачної селітри може перейти у вибух.

Під час зберігання і транспортування аміачної селітри слід оберегати її від нагрівання, впливу полум'я або попадання іскор, від забруднення пилом або сторонніми домішками та від зволоження. Фізико-хімічні властивості аміачної селітри представлені в табл. Б.8.

Таблиця Б.8 – Фізико-хімічні властивості аміачної селітри

Назва властивостей	Величина
Густина, кг/м <sup>3</sup>	1690–1725
Гравіметрична густина, кг/м <sup>3</sup>	800–900
Температура плавлення, °С	169,6
Температура розкладання, °С	вище 190
Теплота плавлення, МДж/кг	0,068
Теплота розчинення, МДж/кг	0,33
Теплота кристалізації з насиченого розчину, МДж/кг	0,11
Теплопровідність, Вт/(м × К), за Т = 0–100 °С	0,238
Теплоємність, Дж/(кг × К)	1770
Кут природного відкосу, град, за Т = 10–30 °С	36–37
Діаметр склепіннеутворення, м	0,02
Температура самозаймання, °С	350

## **Селітра натрієва (азотокислий натрій) ГОСТ 828–77 або НД виробника**

Селітра натрієва застосовується в якості додаткового окислювача для зниження температури кристалізації розчину окислювачів. Селітра натрієва – негорюча, пожежонебезпечна речовина; є окислювачем, сприяє самозайманню горючих матеріалів, утворює легкоплавкі евтектичні суміші з багатьма неорганічними солями.

Під час завантаження, розвантаження, транспортування та зберігання селітри натрієвої не допускається змішування її з органічними горючими речовинами, щоб уникнути самозаймання останніх. Селітра натрієва постачається в мішках, зберігається в критому складському приміщенні в запакованому вигляді. Термін зберігання натрієвої селітри не обмежений.

За фізико-хімічними показниками селітра натрієва повинна відповідати нормам, вказаним в табл. Б.9. Фізико-хімічні властивості селітри натрієвої наведено в табл. Б.10.

Таблиця Б.9 – Норми за фізико-хімічними показниками до натрієвої селітри

Найменування показника	Норма для марок	
	А	Б
Зовнішній вигляд	Білі прозорі кристали з сіруватим або жовтуватим відтінком	
Масова частка азотнокислого натрію в перерахунку на суху речовину, %, не менше	99,8	99,5
Масова частка води, %, не більше	0,5	0,5
Масова частка нерозчинних у воді речовин, %, не більше	0,03	0,03

## **Нітрит натрію ГОСТ 19906-74 або НД виробника**

Нітрит натрію використовується в якості газифікуючого агента.

Технічний нітрит натрію – отруйний, негорючий, пожежонебезпечний. Є окислювачем помірної сили. Сприяє самозайманню горючих матеріалів. Взаємодія нітриту натрію з горючими речовинами може супроводжуватись

вибухом. Кристалічний нітрит натрію взаємодіє з емульсією пореміта з інтенсивним виділенням тепла, що може стати причиною пожежі і поширення горіння на весь її обсяг. Кристалічний нітрит натрію здатний утворювати вибухонебезпечні суміші з нітратами (нітрит – нітратні солі).

Таблиця Б.10 – Фізико-хімічні властивості селітри натрієвої

Найменування властивостей	Величина
Густина, кг/м <sup>3</sup>	2260
Гравіметрична густина, кг/м <sup>3</sup>	1300
Температура плавлення, °С	309,5
Температура розкладання, °С	380
Теплоємність, Дж/(кг × К), за температури, °С:	
Т = 20 °С	1062
Т = 80 °С	1233
Теплота плавлення, МДж/кг	0,185
Теплота розчинення, МДж/кг	0,26
Теплопровідність, Вт/(м × К)	0,216
Розчинність у 100 масових частках води за температури:	
Т = 0 °С	73,3
Т = 80 °С	176
Кут природного відкосу, град, за температури 10–30 °С і вологості не більше 1 %	28–31

За фізико-хімічними показниками технічний нітрит натрію повинен відповідати нормам, наведеним у табл. Б.11. Фізико-хімічні властивості нітриту натрію наведено в табл. Б.12. Гарантійний термін зберігання нітриту натрію – 6 місяців з дня виготовлення.

Таблиця Б.11 – Норми щодо нітриту натрію за фізико-хімічними показниками

Найменування показників	Норма для сорту		
	Вищого	1-го	2-го
Масова частка нітриту натрію, %, не менше	99,0	98,5	97,0
Масова частка води, %, не більше	1,4	1,7	2,5



Таблиця Б.12 – Фізико-хімічні властивості нітриту натрію

Найменування властивостей	Норма
Густина, кг/м <sup>3</sup>	2170
Гравіметрична густина, кг/м <sup>3</sup>	1000
Температура плавлення, °С	271
Температура розкладання, °С	320
Теплоємність, Дж/(кг × К),	1400
Теплота розчинення, МДж/кг	0,26
Теплопровідність, Вт/(м × К)	0,206
Розчинність у 100 масових частках води за температури:	
Т = 0 °С	71,4
Т = 80 °С	135,5

### Вода ГОСТ 2874-82

За фізико-хімічними показниками вода, яка використовується в процесі, повинна відповідати нормам, наведеним у табл. Б.13.

Таблиця Б.13 – Норми щодо води за фізико-хімічними показниками

Найменування показників	Норма
Водневий показник, рН	6,0–9,0
Жорсткість загальна, мг екв./л, не більше	7,0
Сухий залишок, мг/л, не більше	1000
Вміст ПАР I роду	відсутність

Примітка 1. Аналіз проводиться в процесі вибору джерела водопостачання, його зміни і в процесі роботи не рідше одного разу в квартал.

Примітка 2. Відповідність води показнику 4 визначається в лабораторних умовах отриманням контрольного зразка емульсії пореміта на ній.

### Масла індустріальні ГОСТ 20799-88 або НД виробника

Масла індустріальні марок И-20А, И-30А являють собою очищені дистилатні і залишкові масла або їх суміші без присадок. Індустріальне масло марки ИГП-38 – мінеральне масло глибокого селективного очищення з сірчистих нафт з протиокисною, протизношувальною, антиіржавною і протипінною присадкою.

За фізико-хімічними показниками масла індустріальні повинні відповідати вимогам і нормам, наведеним у табл. Б.14. Масла індустріальні –

горюча рідина. Фізико-хімічні властивості масел індустріальних наведено в табл. Б.15.

Таблиця Б.14 – Норми щодо масел індустріальних за фізико-хімічними показниками

Найменування показників	Норма для марок		
	И-20А	И-30А	ИГП-38
Кінематична в'язкість за температури 40 °С, мм <sup>2</sup> /с, в межах	29–35	41–51	55–65
Вміст води	сліди		
Температура спалаху, яка визначається у відкритому тиглі, °С, не менше	200	210	210
Вміст механічних домішок	відсутність		
Температура застигання, °С, не більше	-15		
Кислотне число мг КОН на 1 г масла, не більше	0,05	0,05	0,6–1,0
Густина, кг/м <sup>3</sup> , за температури 20 °С, не більше	890	890	890

Таблиця Б.15 – Фізико-хімічні властивості масел індустріальних

Найменування властивостей	Величина
Теплоємність, Дж/(кг × К)	2057
Температура самозаймання, °С	370–380
Теплопровідність, Вт/(м × К)	0,133

### Емульгатор ПЕС ТУ 84–08428424–806–2004 і РЭМ ТУ 7511903–631–93

Емульгатори ПЭС і РЭМ є низькомолекулярними полімерами з кінечними функціональними групами. Емульгатори транспортують в сталевих бочках або автоцистернах.

За фізико-хімічними показниками емульгатор повинен відповідати нормам, вказаним в табл. Б.16. Фізико-хімічні властивості емульгатора представлені в табл. Б.17.

Таблиця Б.16 – Норми щодо емульгатора за фізико-хімічними показниками

Найменування показника	Норма для емульгатора	
	РЭМ, ПЭС	
Зовнішній вигляд	Масляниста рідина від коричневого до чорного кольору	
Емульгуюча властивість, пФ, не більше	80	
Кислотне число, мг КОН/г, не більше	15	

Таблиця Б.17 – Фізико-хімічні властивості емульгатора

Найменування властивостей, розмірність	Величина для емульгатора	
	РЭМ, ПЭС	
Густина, кг/м <sup>3</sup>	920	
Температура застигання, °С	-40	
В'язкість, Па·с, за температури, °С:		
20	24	
40	4,7	
70	0,7	
Температура спалаху за ГОСТ 12.1.044–89, °С	226	
Температура загоряння за ГОСТ 12.1.044–89, °С	270	
Температура самозаймання за ГОСТ 12.1.044–89, °С	435	

**Кислота сульфамінова (амідосульфіннова) технічна ТУ 2121–278–00204197–2001**

За фізико-хімічними показниками кислота сульфамінова повинна відповідати нормам та вимогам, зазначеним в табл. Б.18.

Таблиця Б.18 – Норми щодо кислоти сульфамінової за фізико-хімічними показниками

Найменування показника	Норма для марок	
	А	Б
Зовнішній вигляд	Кристалічний продукт від білого до світло-сірого кольору	
Масова частка сульфамінової кислоти, %, не менше	95	86
Масова частка сульфат іону, %, не більше	3,0	6,0

Сульфамінова кислота – горюча речовина. Температура самозаймання аерогелю – 597 °С, пилоповітряна суміш не вибухонебезпечна. Сульфамінова

кислота в процесі зберігання злежується. Сульфамінова кислота – речовина помірно небезпечна, 3 клас небезпеки за ГОСТ 12.1.007–76. Має сильну подразнюючу дію на шкіру та слизові оболонки очей.

### **Паливо дизельне ГОСТ 305–82**

Паливо дизельне є горючою рідиною. Концентрація його парів у суміші з повітрям від 2 % до 3 % (за обсягом) – вибухонебезпечна. Температура самозаймання від 300 °С до 330 °С. Гранично допустима концентрація парів палива дизельного в повітрі робочої зони – 300 мг/м<sup>3</sup>. Паливо дизельне відноситься до малотоксичних речовин 4-го класу небезпеки. Подразнює слизову оболонку і шкіру людини. За фізико-хімічними показниками паливо дизельне повинне відповідати нормам та вимогам, зазначеним в табл. Б.19.

Таблиця Б.19 – Норми щодо дизельного палива за фізико-хімічними показниками

Найменування характеристики	Норма
Цетанове число, не менше	45
Кінематична в'язкість за температури 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	3,0–6,0
Температура застигання, °С, не більше для кліматичної зони: - помірної - холодної	-10 -
Температура спалаху, що визначається в закритому тиглі, °С, не менше - для тепловозних і суднових дизелів і газових турбін - для дизелів загального призначення	62 40
Масова частка сірки, %, не більше: - для тепловозних і суднових дизелів і газових турбін - для дизелів загального призначення	0,20 0,50
Зольність, %, не більше	0,01
Вміст механічних домішок	Відсутність
Густина за температури 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не більше	860

### **Розчин окислювачів**

Розчин окислювачів є водним розчином аміачної і натрієвої селітра, є напівфабрикатом виробництва і використовується в емульсії пореміта в

якості окислювальної основи. Температура початку інтенсивного розкладання твердої фази, виділеної після видалення води випарюванням, становить від 230 °С до 240 °С. Розчин окислювачів не пожежонебезпечний.

За фізико-хімічними показниками розчин окислювачів повинен відповідати нормам, зазначеним у табл. Б.20. Фізико-хімічні властивості розчину окислювачів наведено в табл. Б.21.

Таблиця Б.20 – Норми щодо розчину окислювачів за фізико-хімічними показниками

Найменування показників	Норма
Зовнішній вигляд	Прозора рідина світло-жовтого кольору
Компонентний склад, %:	
аміачна селітра	67 ± 2
натрій азотнокислий	17 ± 1
вода	16 ± 1
Густина, кг/м <sup>3</sup> , за температури 80 °С	1460 ± 5
Температура кристалізації, °С	53 ± 3
Якість емульсії пореміта, виготовленої із використанням розчину окислювачів (електрична ємність), пФ, не більше	200
pH за температури від 75° С до 80 °С	2,5–3,5

Таблиця Б.21 – Фізико-хімічні властивості розчину окислювачів

Найменування показників	Величина
В'язкість кінематична, Па × с за T = (75 ± 5) °С	0,0034
Теплоємність, Дж/кг × К, за температури (75 ± 5) °С	2070
Теплопровідність, Вт/м × К, за температури (75 ± 5) °С	0,389
Парціальний тиск, кПа, в інтервалі температур 75–85 °С	11–17
Термін зберігання розчину за температури 75–85 °С, діб	10

### Суміш горюча

Суміш горюча являє собою суміш індустриального масла і емульгатора, є напівфабрикатом виробництва і використовується в процесі в якості горючої основи емульсії пореміта. Суміш горюча – горюча рідина. Гарантійний термін зберігання суміші за температури (55 ± 5) °С – 3 доби. За температури від 15 °С до 25 °С зберігання суміші допускається протягом 10

діб з моменту виготовлення. За фізико-хімічними показниками суміш повинна відповідати нормам, зазначеним в табл. Б.22. Фізико-хімічні властивості горючої суміші наведено в табл. Б.23.

Таблиця Б.22 – Норми щодо горючої суміші за фізико-хімічними показниками

Найменування показників	Норма
Зовнішній вигляд	Прозора рідина від світло-до темно-коричневого кольору
Компонентний склад, %: індустріальне масло	70–86
емульгатор	14–30
Якість емульсії пореміта, виготовленої з використанням суміші (електрична ємність), пФ, не більше	200
Густина, кг/м <sup>3</sup> , за T = 60 °C	840–860

Таблиця Б.23 – Фізико-хімічні властивості горючої суміші

Найменування властивостей	Величина
Температура застигання, °C	-(10–15)
В'язкість, Па × с, за T = (55 ± 5) °C	0,04–0,05
Температура спалаху за ГОСТ 12.1.044–89, °C	233–238
Температура займання, °C	266–270
Температура самозаймання, °C	410–415
Теплоємність, Дж/(кг × К), за температури (55 ± 5) °C	1700–1800
Теплопровідність, Вт/(м × К), за температури (55 ± 5) °C	0,49–0,53

## ДОДАТОК В

### Акт проведення промислових випробувань на ПрАТ «Товкачівський ГЗК»

#### Акт

Даний акт складений про те, що представниками Сумського державного університету (СумДУ), Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (КПІ ім. Ігоря Сікорського) та ПрАТ «Товкачівський ГЗК», зокрема завідувачем кафедри прикладної екології СумДУ Пляцуком Л. Д., здобувачем кафедри прикладної екології СумДУ, старшим викладачем кафедри інженерної екології КПІ ім. Ігоря Сікорського Твердою О. Я. та головним інженером ПрАТ «Товкачівський ГЗК» Бирковським М. О. були проведені спеціальні експерименти в промислових умовах.

Для дослідження впливу конструкції свердловинних зарядів на результат дроблення масиву гірських порід проведено масовий вибух, який розділено на 2 серії. Вибух проводився на уступі № 4, блоці № 8, горизонт +116. Загальна кількість свердловин – 30 шт. Діаметр свердловин – 250 мм. Довжина свердловини – 14 м. Довжина перебуру – 2–3 м. Свердловини бурились порядно згідно квадратної мережі свердловин, розмірами 7\*7 м у 4 ряди. Обводненість уступу від 0 до 6 м. Буріння проводилось станком СБШ-250 МНА 32. Вибухова речовина – Гранеміт И-30 У. Засоби ініціювання: шашка тротилова Т-400Г, електродетонатор ЕД-8Ж, неелектрична система ініціювання (УНС). Інтервал уповільнення прийнято рівним 20-30 мсек.

Перші від вільної поверхні два ряди свердловин заряджались з урахуванням розроблених у дисертаційній роботі Твердої О. Я. рекомендацій. Інші два ряди свердловин заряджали без застосування поліетиленового рукава на повний об'єм свердловин Гранемітом И-30 У. Забірку виконували із щєбню фракції 5-25 мм.

Критеріями оцінки ефективності розробленої конструкції заряду приймалися: вихід переподрібної фракції, вихід товарної фракції, кількість пилу та газів викинутих в атмосферне повітря. Для визначення фракційного складу гірської маси застосовувався метод косокутної фотопланометрії. Заміри концентрації пилу у повітрі робочої зони проводились через 1 годину після вибуху на відстані 50 м та на межі санітарно-захисної зони у напрямку населеного пункту (Першотравневе) аерометром. На тих же відстанях проводились заміри концентрацій шкідливих газів газоаналізатором ОКСИ-5М.

Результати випробувань показали, що розмір зони переподрібнення зменшився з 8 до 4 % при застосуванні розробленої конструкції заряду. При цьому обсяг товарної продукції майже не змінився. Зросла доля негабариту в загальному об'ємі роздробленої гірської маси на 5 %.

Визначено, що концентрація пилу при запропонованій конструкції забійки зменшилась на 23 % у порівнянні з традиційною на відстані 50 м від епіцентру вибуху і на 20 % на межі санітарно-захисної зони. Заміри концентрації газів у атмосферному повітрі показали, що при першій серії вибуху наявність CO та NO<sub>2</sub> не зафіксовано, а при другій – їх концентрація на відстані 50 м від епіцентру вибуху становила 15 і 1 мг/м<sup>3</sup> відповідно, на межі санітарно-захисної зони – наявність NO<sub>2</sub> не зафіксовано, а концентрація CO

склала  $9 \text{ мг/м}^3$ . Результати вимірювань підтвердили доцільність використання забійки на основі негашеного вапна та цеолітів.

Від ПрАТ «Товкачівський ГЗК»

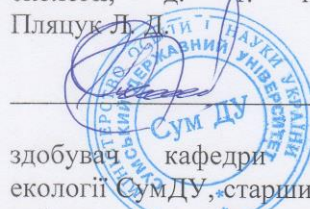
Від СумДУ

головний інженер

завідувач кафедри прикладної екології, д. т. н., проф.

Бирковський М. О.

Пляцук Л. Д.



здобувач кафедри прикладної екології СумДУ, старший викладач кафедри інженерної екології КПІ ім. Ігоря Сікорського Тверда О. Я.

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to O. Ya. Tverda, written over a horizontal line.



## ДОДАТОК Г

**Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження  
у роботу ПрАТ «Товкачівський ГЗК»**

## Акт

впровадження дисертаційного дослідження Твердої Оксани Ярославівни на  
тему «Науково-теоретичні основи екологічної безпеки гірничопромислових  
комплексів з виробництва щебеню західного регіону України»

Комісія у складі: від кар'єру – головний інженер ПрАТ «Товкачівський ГЗК» Бирковський М. О.; від СумДУ – завідувач кафедри прикладної екології Пляцук Л. Д. та здобувач кафедри прикладної екології, старший викладач кафедри інженерної екології КПІ ім. Ігоря Сікорського Тверда О. Я. склали цей акт у наступному.

1. ПрАТ «Товкачівський ГЗК» засвідчує, що ним були прийняті до впровадження результати дисертаційного дослідження Твердої О. Я. «Науково-теоретичні основи екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню західного регіону України».

2. Впровадження відбувалося у технологічний процес кар'єру, вивчалися техніко-економічні показники запропонованих рішень, досліджувалась якість отриманого щебеню та стан атмосферного повітря після масового вибуху.

3. Комісія встановила, що запропоновані результати дисертаційного дослідження Твердої О. Я. мають практичну цінність. Загальний еколого-економічний ефект запропонованих рішень для ПрАТ «Товкачівський ГЗК» може скласти 5 349 833 грн/рік. Окрім того, можна отримати не лише еколого-економічний ефект, а й соціальний, пов'язаний з мінімізацією ризиків для здоров'я працівників та населення прилеглих територій.

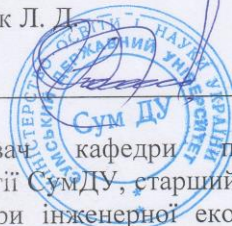
Від ПрАТ «Товкачівський ГЗК»

головний інженер

Бирковський М. О.



Від СумДУ

завідувач кафедри прикладної  
екології, д. т. н., проф.  
Пляцук Л. Д.здобувач кафедри прикладної  
екології СумДУ, старший викладач  
кафедри інженерної екології КПІ  
ім. Ігоря Сікорського Тверда О. Я.

## ДОДАТОК Д

**Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження  
у роботу АТ «Коростенський кар'єр»**

## АТ „Коростенський кар'єр”

11509 Житомирська область, м. Коростень, вул. В.Сосновського, 67  
тел. факс 04142/3-21-18/ e-mail: korkarier@ukr.net ЄДРПОУ 00292422  
п/р 26006980000454 ПАТ «Промінвестбанк», МФО 300012

### Акт

впровадження дисертаційних досліджень Твердої Оксани Ярославівни на тему  
«Науково-теоретичні основи екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з  
виробництва щебеню західного регіону України»

Комісія у складі: від кар'єру – головний інженер АТ «Коростенський кар'єр» Іваненко В.О.; від СумДУ – завідувач кафедри прикладної екології Пляцук Л. Д. та здобувач кафедри прикладної екології, старший викладач кафедри інженерної екології КПШ ім. Ігоря Сікорського Тверда О. Я. склали цей акт у наступному.

1. АТ «Коростенський кар'єр» засвідчує, що ним були прийняті до впровадження результати дисертаційного дослідження Твердої О. Я. «Науково-теоретичні основи екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню західного регіону України».

2. У процесі розгляду матеріалів дослідження вивчалися техніко-економічні показники технології виробництва щебеню з урахуванням запропонованих Твердою О. Я. конструкцій заряду та забійки, досліджувалась якість отриманого щебеню, а також оцінювався потенційний вплив на навколишнє середовище.

3. Комісія встановила, що результати дисертаційного дослідження Твердої О. Я. мають практичну цінність, зокрема підвищити техніко-економічні показники роботи кар'єру можливо за використання удосконаленої конструкції заряду, яка передбачає застосування радіального проміжку між зарядом і стінкою свердловини, що заповнюється інертною речовиною з високою акустичною жорсткістю, та розробленої конструкції забійки свердловин, яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів, утворених при вибуховому руйнуванні скельних порід, і базується на хемосорбції газів негашеним вапном або відходами виробництва, які його включають, та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами.

Від АТ «Коростенський кар'єр»

головний інженер

Іваненко В. О.



Від СумДУ

завідувач кафедри прикладної екології, д.т.н., проф. Пляцук Л. Д.

здобувач кафедри прикладної екології СумДУ, старший викладач кафедри інженерної екології КПШ ім. Ігоря Сікорського Тверда О. Я.



*(Handwritten signature of Oksana Y. Tverda)*

## ДОДАТОК Е

**Акт використання НДБПГ КНУ ДВНЗ  
результатів дисертаційного дослідження**

## АКТ

**про використання Науково-дослідним інститутом безпеки праці та екології  
в гірничорудній і металургійній промисловості (НДБПГ КНУ) ДВНЗ  
«Криворізький національний університет» результатів дисертаційних  
досліджень Твердої О.Я.**

*Комісія НДБПГ КНУ у складі:* в.о. директора НДБПГ КНУ, докт. техн. наук, професора В.П. Щокіна, в.о. завідувача лабораторії промислової екології, канд. техн. наук Єжова В.В., ст. наукового співробітника, канд. техн. наук Куроченка В.М. у присутності автора дисертаційного дослідження Твердої О.Я. розглянула надану для використання НДБПГ КНУ на безоплатній основі Методику розрахунку параметрів конструкції забійки свердловин при масових вибухах на кар'єрах.

*Комісія відзначає:* до впровадження на безоплатній основі приймається методика розрахунку параметрів конструкції забійки свердловин при масових вибухах на кар'єрах, яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів, утворених при вибуховому руйнуванні порід, і базується на хемосорбції газів негашеним вапном або відходами виробництва, які його включають, та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами.

Розрахунок параметрів забійки базується на врахуванні характеристик вибухової речовини, кількості та типу шкідливих газів, утворюваних нею при вибуху, та параметрів свердловин.

*Комісія встановила:* запропонована Методика матиме, при її застосуванні, практичну цінність для гірничопромислових комплексів, які розробляють корисні копалини відкритим способом, і сприятиме підвищенню рівня екологічної безпеки навколишнього середовища при їх роботі.

В.о. директора НДБПГ КНУ,  
докт. техн. наук, професор

В.П. Щокін



Підпис *В.П. Щокін*

ЗАСВІДЧУЮ:

Відділ кадрів державного вищого  
навчального закладу «Криворізький  
національний університет»  
*Ігор Н.М. Ващук*  
«03. травня 2018 р.»

**ДОДАТОК Ж**  
**Акт використання результатів дисертаційної роботи**  
**у навчальному процесі**  
**Сумського державного університету**

ЗАТВЕРДЖУЮ  
 Перший проректор  
 Сумського державного університету  
 В.Д. Карпуша  
 «*12*» \_\_\_\_\_ 2018 р.



АКТ

використання у навчальному процесі результатів дисертаційної роботи  
 Твердої Оксани Ярославівни  
 «Науково-теоретичні основи екологічної безпеки гірничопромислових  
 комплексів з виробництва щебеню західного регіону України»

Основні положення та результати дисертаційного дослідження Твердої Оксани Ярославівни на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук впроваджені у навчальний процес та застосовуються при підготовці кваліфікаційних робіт магістра, викладанні дисциплін «Процеси та апарати природоохоронних технологій» та «Технології основних виробництв і промислова екологія» для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища». Зокрема, у навчальному процесі впроваджено запропоновані Твердою О.Я.:

— підхід щодо вибору вибухових речовин у поєднанні з забійковим матеріалом для проведення масових вибухів на кар'єрах з метою зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище (дисципліна «Процеси та апарати природоохоронних технологій»);

— оцінка впливу гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню на довкілля (дисципліна «Технології основних виробництв і промислова екологія»).

Завідувач  
 кафедри прикладної екології  
 д.т.н., проф.

Пляцук Л. Д.

Доцент  
 кафедри прикладної екології  
 д.т.н., доц.

Гурець Л. Л.

Доцент  
 кафедри прикладної екології  
 к.т.н., доц.

Соляник В. О.

**ДОДАТОК И**

**Акт використання результатів дисертаційної роботи**

**у навчальному процесі**

**Житомирського державного технологічного університету**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор

Житомирського державного  
технологічного університету

О.В. Олійник

2018 р.



АКТ

використання у навчальному процесі результатів дисертаційної роботи  
Твердої Оксани Ярославівни  
«Науково-теоретичні основи екологічної безпеки гірничопромислових  
комплексів з виробництва щебеню західного регіону України»

Результати дисертаційного дослідження Твердої Оксани Ярославівни на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук впроваджено у навчальний процес Житомирського державного технологічного університету. Зокрема, такі результати застосовуються при викладанні дисципліни «Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт» для студентів спеціальності 184 «Гірництво». У навчальному процесі впроваджено встановлені Твердою О.Я.:

— закономірність проходження хвиль тиску від просторової координати в залежності від акустичної жорсткості заповнювача проміжку між зарядом та стінкою свердловини, його величини, що дозволяє обґрунтовано здійснювати вибір типу заповнювача та визначати величину радіального проміжку при формуванні свердловинних зарядів з метою зменшення розмірів зони переподрібнення та пилоутворення, при проектуванні параметрів вибухових робіт на кар'єрах (дисципліна «Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт»);

— кількісно-якісні характеристики адсорбуючого складу в забійці свердловини в залежності від типу вибухової речовини, кількості та типу шкідливих газів, утворюваних нею при вибуху, та параметрів свердловини (дисципліна «Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт»).

Завідувач кафедри розробки  
родовищ корисних копалин  
ім. проф. Бакка М.Т. ЖДТУ

Доцент кафедри розробки  
родовищ корисних копалин  
ім. проф. Бакка М.Т. ЖДТУ

проф. Підвисоцький В.Т.

доц. Кальчук С.В.