

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ТВЕРДА Оксана Ярославівна



УДК 504.3.054:504.062.2(043.3)

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

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Суми – 2018

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису.

Робота виконана в Сумському державному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант – доктор технічних наук, професор
Пляцук Леонід Дмитрович,
Сумський державний університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри прикладної екології, м. Суми.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Шкіца Леся Євстахіївна,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри інженерної
та комп'ютерної графіки, м. Івано-Франківськ;

доктор технічних наук, професор
Вамболь Сергій Олександрович,
Національний університет цивільного захисту України
Державної служби України з надзвичайних ситуацій,
завідувач кафедри прикладної механіки та технологій
захисту навколишнього середовища, м. Харків;

доктор технічних наук, професор
Внукова Наталія Володимирівна,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри екології, м. Харків.

Захист дисертації відбудеться 27 грудня 2018 р. об 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 у Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

Із дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 за електронною адресою: <http://sumdu.edu.ua/ukr/scientific/scientific-council/32-scientific/scientific-council/5367.html>.

Автореферат розісланий 26 листопада 2018 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04



І. Ю. Аблєєва

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. До основних антропогенних чинників забруднення навколишнього середовища та зниження екологічної безпеки докільля 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 унеможливує 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 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 гірнича промисловість 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 буропідривних 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 буропідричних 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 підричних робіт та сучасних наукових досягненнях в екологічній безпеці.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні на період до 2020 р. з розділу «Раціональне природокористування» і стратегічним пріоритетним напрямкам 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 переподібнення 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 (НДБПГ 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 ідей 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність роботи, визначено зв'язок із науковими програмами, темами, планами, визначено мету і завдання досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено особистий внесок автора та апробацію результатів роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз досліджень з питань впливу гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню на стан навколишнього середовища. У результаті аналізу виявлено наступне:

- досить детально вивчено вплив різноманітних природних і технологічних чинників на процес вибуху та його екологічні наслідки;

- розроблено різноманітні конструкції 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 на буропідливні роботи і враховують фізико-механічні властивості та структурно-текстурні особливості масивів гірських порід, підвищуючи тим самим рівень ресурсозбереження;

- впроваджено нові високоефективні та безпечні вибухові речовини, засоби ініціювання зарядів із застосуванням систем неелектричного ініціювання;

- розроблено способи пилоподавлення та нейтралізації шкідливих газів без втручання у технологію ведення буропідливних робіт.

Однак, не зважаючи на досягнуті результати щодо підвищення рівня екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню, проблема екологізації технологічних процесів вимагає свого подальшого вирішення.

Дослідження показують, що під час технологічних процесів на кар'єрі є перевищення гранично-допустимих концентрацій пилу та газів, завищені концентрації спостерігаються і за межами санітарно-захисної зони, що призводить до підвищення ризику захворювання не лише працівників, а й населення прилеглих територій.

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 спрямовані на збільшення опору виштовхуванню. При цьому мало уваги приділяється питанням фільтрації продуктів детонації в атмосферу через матеріал забійки. Такий важливий нюанс не враховується і під час вибору типу вибухової речовини для проведення підливних робіт. 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 спрямовано на підвищення економічних показників підприємств і не враховують в процесі обґрунтування параметрів розташування свердловин чи напрямку відбійки гірської маси екологічну складову.

Основним критерієм вибору вибухової речовини для проведення вибухових робіт вважається ефективність вибухового руйнування або якість підірваної гірської маси (гранулометричний склад). Екологічні показники вибухових речовин або їх вплив на навколишнє середовище під час вибору вибухових речовин, у більшості випадків, не враховується взагалі.

Способи пилоподавлення та нейтралізації шкідливих газів без втручання у технологію ведення підливних робіт є трудоємними і потребують значних додаткових фінансових витрат. Маючи за мету пилопридушення або нейтралізацію шкідливих газів, такі способи не вирішують проблему ресурсозбереження, яка для

гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню є, на відміну від залізородних кар'єрів, надзвичайно важливою.

Виходячи з проведеного аналізу наукових та практичних досягнень і виявлених при цьому недоліків за даним напрямком, сформульовані наведені вище мета та задачі досліджень.

У **другому розділі** дисертаційної роботи 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 є як прямим, так і опосередкованим, через подальші технологічні процеси (рис. 1).

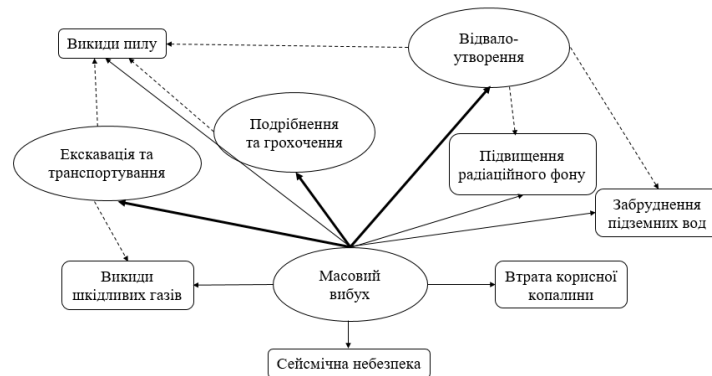


Рисунок 1 – Вплив технології виробництва щебеню на довкілля

Дослідження, наведені у першому розділі, показали, що найбільший вплив на результати роботи гірничовидобувних підприємств чинять технологічні фактори. За допомогою правильного управління ними можна ліквідувати або мінімізувати вплив на довкілля процесу видобутку корисних копалин відкритим способом (рис. 2).

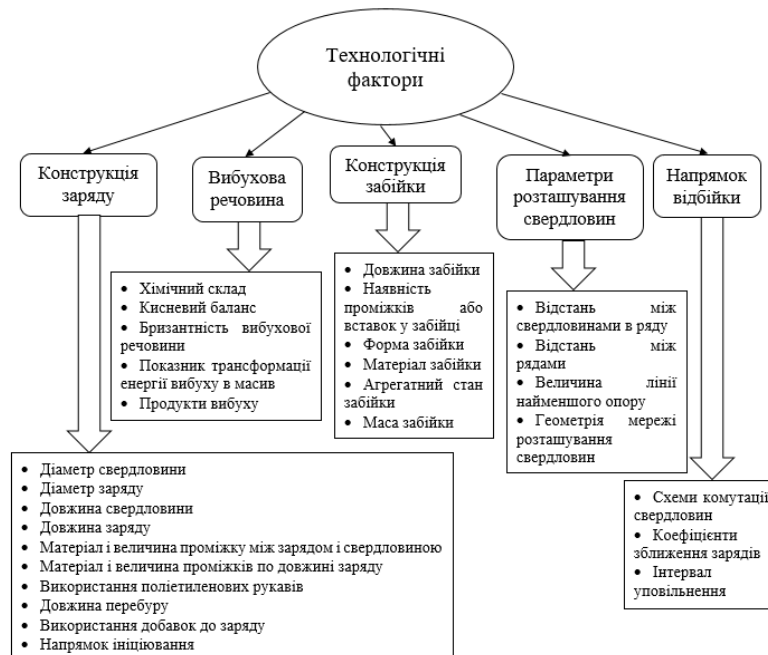


Рисунок 2 – Технологічні фактори впливу масових вибухів на гірничопромислових комплексах з виробництва щебеню на стан навколишнього середовища

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.

Розроблена методологія наукових досліджень (рис. 3), яка базується на визначенні чинників впливу роботи гірничих підприємств з виробництва щебеню на довкілля, встановленні теоретичних закономірностей та залежностей впливу найбільш значущих чинників на результати роботи гірничопромислових комплексів з позиції екологічної безпеки із використанням сучасних методів та методик теоретичних досліджень та перевіркою результатів досліджень у промислових умовах.



Рисунок 3 – Структура методології досліджень

У **третьому розділі** проведено вивчення екологічної обстановки навколо гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню. Зокрема, проведено оцінку впливу підривних робіт на стан атмосферного повітря на прикладі Пинязевицького родовища у Житомирській області. Встановлено, що за швидкості вітру 2 м/с шкідлива дія СО поширюється за межі санітарно-захисної зони, а концентрація сягає гранично допустимої, за результатами розрахунку, лише на відстані 1 км. Концентрація NO_2 на цій же відстані складає $0,025 \text{ мг/м}^3$, що задовольняє нормам. Оцінка ризику для здоров'я населення з урахуванням сучасного рівня 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. Залежність показників підтверджена однофакторним дисперсійним аналізом за критерієм Фішера-Снедекора ($F_{\text{емп}} = 539,02 > F_{\text{кр}} = 2,45$). Щільність зв'язку визначено за коефіцієнтом кореляції по Пірсону. Значення коефіцієнта кореляції 0,868 близьке до 1, що свідчить про досить тісний зв'язок між параметрами, що розглядаються. Залежність встановлено методом найменших квадратів та за допомогою полінома Лагранжа (рис. 4).

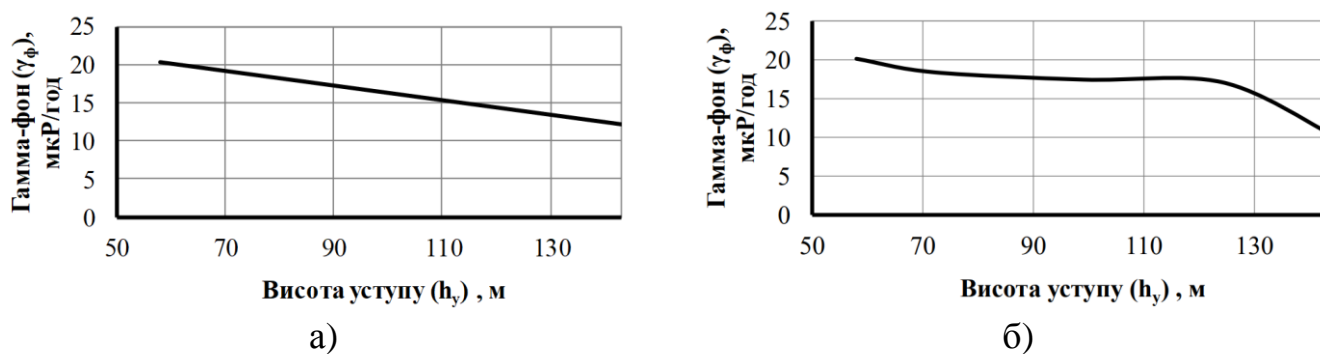


Рисунок 4 – Залежність величини гамма-фону від висоти уступу кар'єра встановлена методом найменших квадратів (а) та за допомогою полінома Лагранжа 4-го ступеня (б)

Зміна величини гамма-фону з глибиною кар'єру описується лінійною залежністю. 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. Показано, що концентрація пилу перевищує гранично допустиму за межами санітарно-захисної зони. Розраховано канцерогенний і неканцерогенний ризик захворювань жителів смт. Гранітне, що розташоване на відстані 800 м від Пинязевицького родовища гранітів. Оцінка неканцерогенного ризику для здоров'я населення показала, що він є неприйнятним (коефіцієнт небезпеки дорівнює 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 про екологічний стан ґрунтів прилеглих до гранітних відвалів територій доцільно застосовувати комплекс біоіндикаційних рослинних тест-організмів, а саме пшениці, цибулі ріпчастої та крес-салату. Рекомендований комплекс біоіндикаторів дозволив визначити цитогенетичний вплив гранітних відвалів на рослинні організми, що ростуть на прилеглих ґрунтах.

Оцінку біотоксичності ґрунтів територій, прилеглих до гранітного відвалу, виконано за методикою «Ростовий тест» (табл. 1). Тест-реакція цибулі ріпчастої та пшениці показали тенденцію стимулювання розвитку під час зменшення відстані до гранітного відвалу, для крес-салату – навпаки. Для цибулі ріпчастої з наближенням до відвалу фітотоксичний ефект зменшується, для крес-салату – збільшується, а для пшениці – повністю відсутній.

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

Параметр	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 ₁ (за висотою рослин)	96,4	28,7	<0	70,4	26,1	<0	46,1	33,9	<0	29,6	50,2	<0
ФЕ ₂ (за довжиною коренів)	97,7	14,2	<0	80,7	30,9	<0	58,8	29,6	<0	47,6	47,9	<0
ФЕ _{сер}	97,1	21,5	<0	75,5	28,5	<0	52,4	31,8	<0	38,6	49,1	<0

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 їх кількість у контрольному зразку 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 певний компонент, що міститься у відвалах гранітного кар'єру.

Для всіх проб ґрунту виявлено збільшення хромосомних мутацій в процесі проходження метафази та анафази мітозу меристематичних клітин тест-об'єктів. Для всіх досліджуваних цитогенетичних проб меристематичних клітин біоіндикаторів виконано розрахунок величин мітотичного індексу та загальної аберантності хромосом. Щоб визначити на скільки досліджувані параметри біоіндикаторів відрізняються від параметрів біоіндикаторів, вирощених на контрольних зразках ґрунту, значення мітотичного індексу та аберантності хромосом у контролі прийнято за 100 %, а параметри біоіндикаторів, вирощених на досліджуваних пробах ґрунту визначено у відсотках від контролю. Результати розрахунків наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку величини мітотичного індексу (МІ) та аберантності хромосом у меристематичних клітинах *Allium cepa L.* та *Lepidium sativum L.*

№ проби ґрунту	Загальний МІ		Аберантні клітини	
	%	% від контролю	%	% від контролю
Цибуля ріпчаста (<i>Allium cepa L.</i>)				
Проба № 1 (800м)	74,75±5,76	53	13,21±1,38	659
Проба № 2 (500м)	92,5±7,33	66	9,01±1,22	449
Проба № 3 (200м)	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
Крес-салат (<i>Lepidium sativum L.</i>)				
Проба № 1 (800м)	99,75±9,28	63	13,53±1,71	673
Проба № 2 (500м)	113,09±9,57	72	9,68±1,36	482
Проба № 3 (200м)	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 мітотичного індексу 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 мітотичного індексу в меристемах коренів з наближенням до гранітного відвалу.

Для інтегральної оцінки токсико-мутагенного фону ґрунтів досліджуваної території обчислено умовні показники пошкодженості за токсичністю $УПП_{токс}$ та мутагенністю $УПП_{мутаг}$ для кожного експериментального варіанту, а також інтегральний умовний показник пошкодженості $ІУПП$. Результати розрахунків наведено в табл. 3. Дані табл. 3 свідчать про те, що значення умовних показників пошкодженості, які характеризують токсичність ґрунтів, перевищують нормативне значення ($УПП = 0,3$) для проб № 1, № 2 та № 3 для обох варіантів тест-систем експериментального дослідження. При цьому, спостерігається раніше відмічений позитивний ефект на клітинному рівні рослин під час зменшення відстані до відвалу. Для обох біоіндикаторів в процесі вирощування безпосередньо на породі гранітного відвалу стан біосистем характеризується як насторожуючий, екологічна ситуація є задовільною.

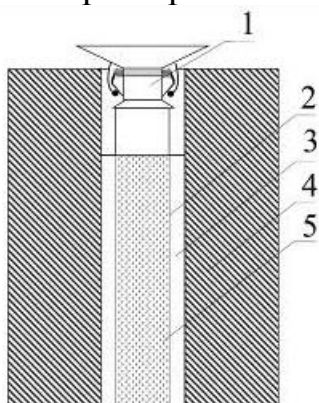
Встановлено, що відстань до відвалу гранітного кар'єра та сезонність впливають на величину pH ґрунтів прилеглих територій, така залежність має

лінійний характер. Визначені значення pH в районі відвалу Пинязевицького родовища перевищують середній показник pH у Малинському районі Житомирської області більш ніж на 30 %.

Таблиця 3 – Оцінка токсико-мутагенного фону досліджуваних ґрунтів

№ проби ґрунту	$УПП_{токс}$	$УПП_{мутаг}$	$IУПП$	Рівень пошкоженості біосистем	Стан біосистем	Оцінка екологічної ситуації
Цибуля ріпчаста (<i>Allium cepa</i> L.)						
Проба № 1 (800м)	0,725	0,623	0,674	Високий	Критичний	Катастрофічна
Проба № 2 (500м)	0,528	0,389	0,459	Вище середнього	Загрозливий	Незадовільна
Проба № 3 (200м)	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
Крес-салат (<i>Lepidium sativum</i> L.)						
Проба № 1 (800м)	0,590	0,487	0,539	Вище середнього	Загрозливий	Незадовільна
Проба № 2 (500м)	0,452	0,459	0,455	Вище середнього	Загрозливий	Незадовільна
Проба № 3 (200м)	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

У **четвертому розділі** проведено математичне моделювання процесу вибухового руйнування скельних порід із використанням конструкції заряду, яка передбачає формування радіального проміжку навколо заряду та заповнення його інертною речовиною (рис. 5) для управління пилоутворенням та якістю гірської маси, на основі адаптованої моделі Ляхова Г. М. Для знаходження закономірності проходження хвиль тиску в процесі вибуху відносно просторової координати з урахуванням характеристик заповнювача проміжку використано наступні рівняння.



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

Рисунок 5 – Схематичне зображення двошарового середовища «заповнювач проміжку – гірська порода»

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

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

де r – просторова координата, м; t – часова координата, с; U – швидкість, м/с; ρ – густина, кг/м³; P – тиск, Па.

Відповідно для кожного шару записувались рівняння стану:

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

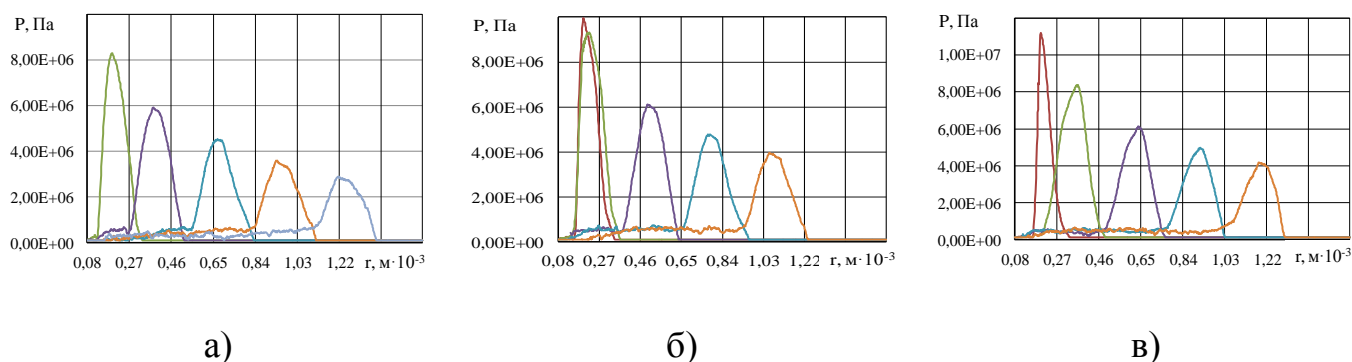
де α_i – вміст за об'ємом компонент, в.о.; γ_i – коефіцієнти ізентропи, в.о.; c_{i0} – швидкість звуку в компонентах за атмосферного тиску P_0 , м/с; i – номер компоненти.

Надалі розглядалась нестационарна поведінка двошарового середовища за певних початкових умов. Припускалось, що до межі деякої циліндричної порожнини радіуса $r=r_0$ прикладається навантаження $P(t)/r=r_0$. Вирішення задачі про поведінку двошарового середовища під час навантаження циліндричної порожнини нестационарним навантаженням $P(t)/r=r_0$, рівняння (1), (2), проводилось шляхом застосування скінченно-різницевої схеми предиктор – коректор Мак-Кормака.

В результаті встановлено закономірність проходження хвиль тиску P від просторової координати r в залежності від акустичної жорсткості заповнювача проміжку між зарядом та стінкою свердловини, його величини (табл. 4, рис. 6). Визначено, що зі збільшенням акустичної жорсткості заповнювача пік тиску у ближній до заряду зоні зменшується на 15–20 %.

Таблиця 4 – Вхідні дані для встановлення закономірності проходження хвиль тиску від просторової координати

Діаметр свердловини, мм	Діаметр заряду, мм	Характеристики гірської породи		Характеристики заповнювача проміжку між зарядом і стінкою свердловини		
		Щільність, кг/м ³	Швидкість звуку, м/с	№	Щільність, кг/м ³	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

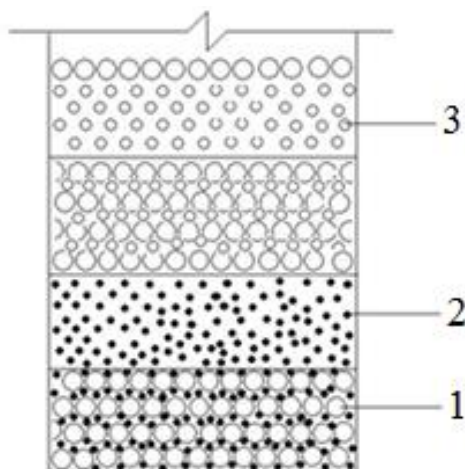


а) – заповнювач 1, б) – заповнювач 4, в) – заповнювач 7 (згідно табл. 4)
 Рисунок 6 – Закономірність проходження хвиль тиску в процесі вибуху для різних типів заповнювача проміжку між зарядом і стінками свердловини

Результати досліджень 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 $\rho = 1798 \text{ кг/м}^3$ та $c = 2712 \text{ м/с}$. Так, в процесі його застосування максимальний тиск у ближній до заряду зоні, яка є основним джерелом пилоутворення, складає $8,19 \cdot 10^6 \text{ Па}$. В той же час в процесі застосування води (заповнювач 2), яка набула широкого практичного використання, такий тиск складає $9,91 \cdot 10^6 \text{ Па}$, що майже на 20 % більше. Таким чином доведено, 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» на 20 % та збільшення ширини амплітуди на 25–30 % (рис. 6). Окрім того, такий підхід дозволяє підвищити рівень ресурсозбереження. Зокрема, сприяє зменшенню втрат через переподрібнені фракції, які є відходами гірничого виробництва і складаються у відвали, що здійснюють вплив на довкілля через пиління. Так як відомо, що чим вищі параметри детонаційної хвилі, тим більші напруження на стінці вибухової камери, і тим більша енергія дисипації, що витрачається на переподрібнення. Визначено, що зі збільшенням величини проміжку за рахунок застосування зменшених діаметрів зарядів ефект зниження обсягу пилоутворення посилюється.

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 $1 \cdot 10^7 \text{ Па}$. В той же час в процесі застосування водного розчину Ферум (III) сульфату – близько $8 \cdot 10^6 \text{ Па}$, що на 20 % менше.

Розроблено конструкцію забійки, яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів, утворених під час вибухового руйнування скельних порід, і базується на хемосорбції газів негашеним вапном або відходами виробництва, які його включають, та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами (рис. 7).



1 – щебінка; 2 – негашене вапно або відходи, які його містять; 3 – цеоліти

Рисунок 7 – Конструкція забійки з двостадійною очисткою від шкідливих газів

На основі реакцій взаємодії негашеного вапна зі шкідливими газами, які можуть утворитись в процесі вибухового руйнування скельних порід, розраховано кількість шкідливих газів, які може поглинути 1 кг CaO (табл. 5). Об'єм поглинання Карбон (II) оксиду (не вступає в реакцію з CaO) цеолітом визначено за літературними даними. Так для свердловини діаметром 250 мм та довжиною 16 м, заряду діаметром 160 мм та довжиною 12 м, під час використання Гранеміту – И30, загальна маса CaO, 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.

Таблиця 5 – Обсяги поглинання газу, утвореного під час вибуху, одним кілограмом негашеного вапна

Газ, утворений в процесі руйнування скельних порід вибуховою речовиною	Обсяг поглинання газу 1 кг CaO, дм ³	Ступінь конверсії
NO ₂	297	0,99
CO ₂	396	0,99
CO ₂ , утворений за реакцією 2CO+O ₂ =2CO ₂	400	0,70

На основі проведеного розрахунку необхідної кількості адсорбуючого матеріалу на кожній стадії очистки та обґрунтування доцільності його застосування 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:

$$m_{CaO} = \frac{\pi}{4} \rho_{BP} d_3^2 l_3 \left[(0,003V_{NO_2} + 1,74V_{CO}) \cdot 10^{-3} + \frac{V_{CO_2}}{396} \right], \quad (3)$$

$$m_{\text{ц}} = \frac{\pi}{2} \rho_{\text{ВР}} d_{\text{з}}^2 l_{\text{з}} \frac{0,3 \cdot V_{\text{СО}}}{280}, \quad (4)$$

де V – об'єм відповідного шкідливого газу з 1 кг вибухової речовини, л; $m_{\text{ВР}}$ – маса вибухової речовини, необхідна для заряджання 1 свердловини, кг; $\rho_{\text{ВР}}$ – щільність вибухової речовини, кг/м³; $d_{\text{зар}}$ – діаметр заряду, м; $l_{\text{зар}}$ – довжина заряду, м.

У п'ятому розділі проведено дослідження впливу складу вибухових речовин на вихід шкідливих газів та ефективність вибухових робіт на кар'єрах, запропоновано підходи щодо оцінки впливу вибухових речовин на навколишнє середовище та щодо вибору вибухових речовин для проведення вибухових робіт у кар'єрах.

З метою зменшення кількості утворених 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 (рис. 8). Зміна хімічного складу вибухової речовини за рахунок зміни складу дизельного палива дає можливість змінити величину кисневого балансу (табл. 6) та кількість утворених під час вибуху газів з 10,75 л NO на 1 кг вибухової речовини для дизельного палива C₁₃H₁₀ до 2,22 л NO на 1 кг вибухової речовини для дизельного палива C₁₃H₂₃, що майже у 5 разів менше.



Рисунок 8 –
Закономірність зміни
кількості утвореного
Нітроген (II) оксиду під
час вибуху від
хімічного складу
дизельного палива у
вибуховій речовині

Таблиця 6– Розрахункова величина кисневого балансу для вибухових речовин з різним хімічним складом дизельного палива

Речовина	C ₁₃ H ₁₀	C ₁₃ H ₁₃	C ₁₃ H ₁₇	C ₁₃ H ₂₀	C ₁₃ H ₂₃
КБ, %	+0,71	+ 0,56	+0,38	+0,24	+0,11

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

Удосконалено підхід 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.

$$C_{\text{уг}} = \frac{M_{\text{сум}} - M_{\text{погл.г.}}}{V_{\text{ПГХ}} - V_{\text{погл.г.}}}, \quad (5)$$

$$M_{\text{сум}} = m_{\text{уг}} M_{\text{ВРсум}} \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

$$m_{\text{уг}} = v_{\text{уг}} M_{\text{уг}}, \quad (7)$$

де $M_{\text{сум}}$ – сумарна маса викиду шкідливого газу від маси вибухової речовини, що підривається, кг; $M_{\text{погл.г.}}$ – маса газів, поглинутих забійкою, кг; $V_{\text{ПГХ}}$ – об'єм пилогазової хмари на момент її формування після вибуху, м³; $V_{\text{погл.г.}}$ – об'єм поглинутих забійкою газів, м³; $m_{\text{уг}}$ – питомий викид шкідливого газу в процесі підривання 1 кг вибухової речовини, г/кг; $M_{\text{ВРсум}}$ – сумарна маса вибухової речовини, що підривається під час масового вибуху, кг; $v_{\text{уг}}$ – кількість шкідливого газу, що виділяється в процесі вибухового перетворення 1 кг вибухової речовини (визначається за рівнянням вибухового перетворення), моль; $M_{\text{уг}}$ – молярна маса шкідливого газу, г/моль.

Розроблено підхід щодо вибору вибухової речовини у поєднанні з забійковим матеріалом (рис. 9), 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.

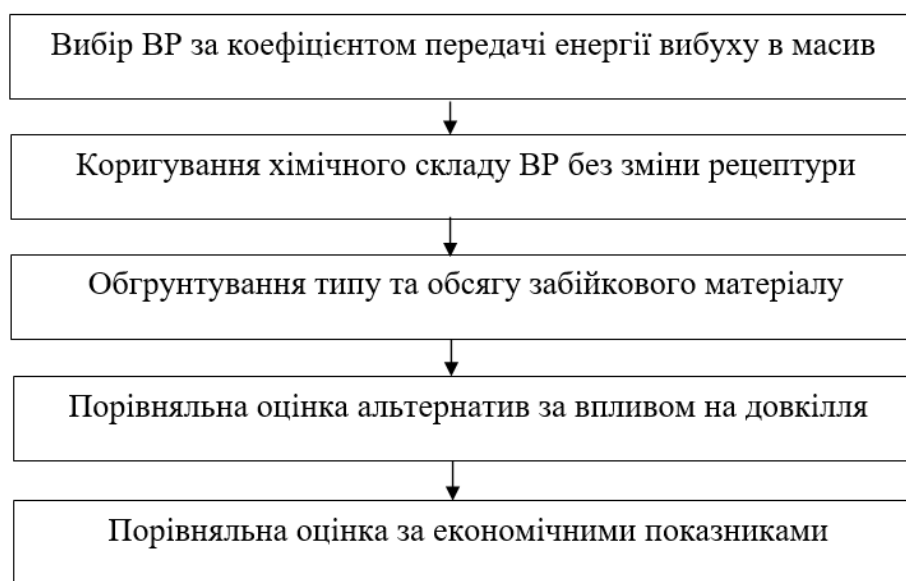


Рисунок 9 – Алгоритм вибору вибухових речовин

Удосконалено підхід щодо вибору вибухової речовини, який відрізняється від відомих тим, що вибір пропонується здійснювати на основі рішення задачі оптимізації. В якості критерія оптимізації прийнято прибуток підприємства, як функцію, що залежить від доходу підприємства від продажу щебеню D , витрат на закупівлю вибухової речовини B_{BP} , витрат на закупівлю адсорбента для забійки свердловин B_{ad} та величини сплати екологічного податку EP .

Функція:

$$D - (B_{BP} + B_{ad} + EP) \rightarrow \max, \quad (8)$$

з обмеженнями:

$$\left\{ \begin{array}{l} B_{ad} \leq EP \\ \frac{B_{BP}}{2C_{BP}\rho_{BP}} = \frac{3B_{ad}}{C_{ad}\rho_{ad}}, \\ \frac{EP}{P_2 m_2} = \frac{B_{BP}}{C_{BP}} \end{array} \right. \quad (9)$$

де C_{BP} – ціна 1 кг вибухової речовини, грн; ρ_{BP} – щільність вибухової речовини, кг/м³; C_{ad} – ціна 1 кг адсорбента для забійки, грн; ρ_{ad} – щільність адсорбента, кг/м³; 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 вибухових речовин та запропонованого забійкового матеріалу, з урахуванням системи обмежень, можна за допомогою симплекс-методу розрахувати очікуваний прибуток за використання кожної вибухової речовини. Порівняння величин отриманих прибутків дозволить обрати вибухову речовину з оптимальними показниками як з позиції економічної ефективності, так і екологічної безпеки.

У **шостому розділі** розроблено алгоритм цільової оцінки блочності та тріщинуватості масиву, який, крім розмірів блоків та міри тріщинуватості масиву, враховує форму та орієнтацію блоків (рис. 10), а також напрямок простягання та падіння тріщин (рис. 11). Використання алгоритму цільової оцінки блочності та тріщинуватості гірських масивів дозволяє більш об'єктивно встановлювати зв'язок між визначальними і регульованими параметрами під час вибухового дроблення порід різними способами з показниками оцінки результатів вибуху, а також оцінювати ефективність цих способів і вибирати з них найбільш раціональний.

Враховуючи, що обов'язковою умовою для досягнення рівномірного дроблення гірської маси за рахунок диференційованого розподілу енергії вибуху в руйнованому масиві є обґрунтування напрямку найбільш легкого розколу природних окремоностей, реалізованого оптимальним напрямком відбійки зарядів вибухових речовин за допомогою схем короткосповільненого підривання,

проектування параметрів буропідричних робіт пропонується здійснювати за наступним алгоритмом (рис. 12). Відмінною рисою якого є: розробка карт районування за тріщинуватістю та блочністю, а на їх основі – карт районування за вибуховістю.



$d_{др}$, d_k , $d_{кр}$, d_n – розмір блока відповідного класу за крупністю; d_k^n , d_k^e – нижня і верхня межа розмірів кондиційних класів; d_I , d_{II} , d_{III} – розміри блоків між протилежними гранями в різних (I, II, III) вимірах; α_1 , $\alpha_{1,2}$, $\alpha_{1,2,3}$ – кут між фронтом ударної хвилі і однією, двома і трьома гранями блока

Рисунок 10 – Класифікація та схема визначення категорії блоків (природних окремоостей) у масиві гірських порід



v_ϵ , v_m , v_{cp} , v_c – показник тріщинуватості відповідного класу; α_m – кут простягання; β_m – кут падіння площини тріщини

Рисунок 11 – Класифікація і схема визначення категорії тріщин у масиві гірських порід

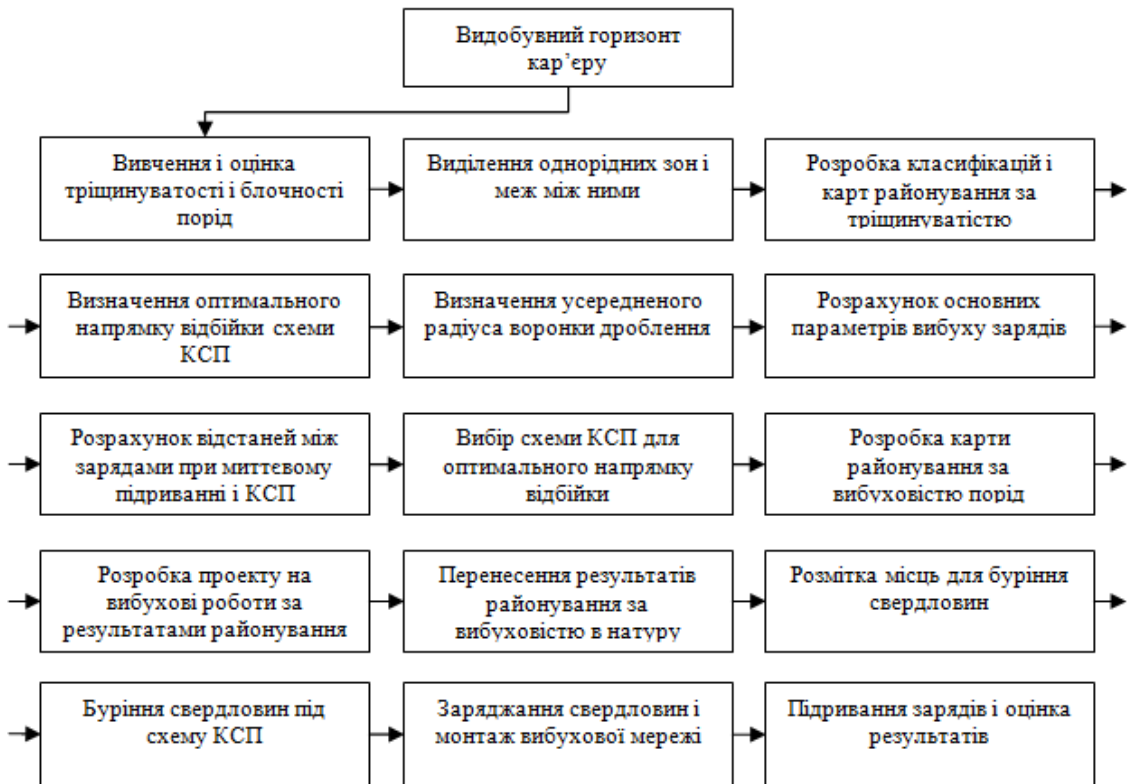
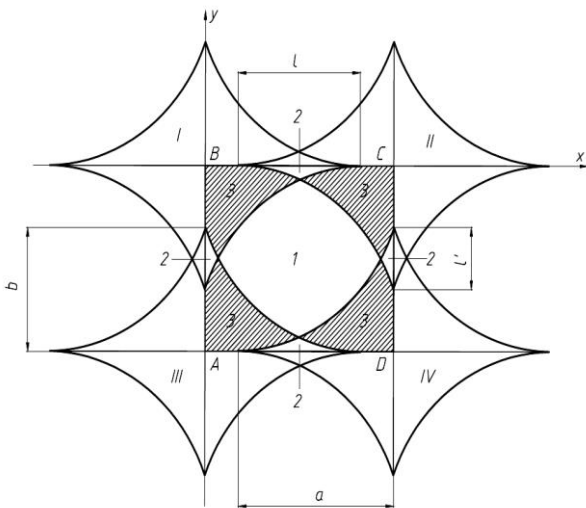


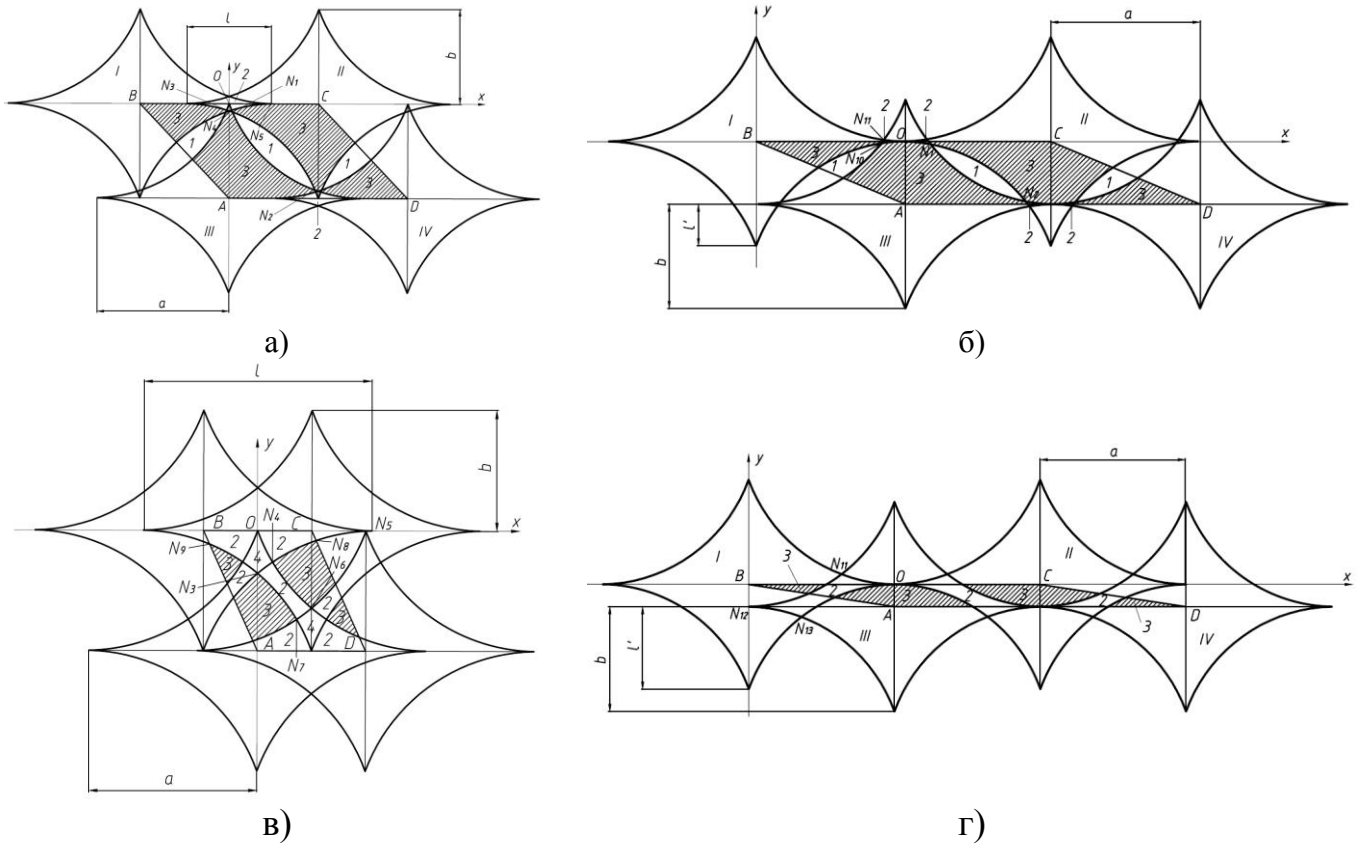
Рисунок 12 – Алгоритм послідовності виконання операцій під час проектування параметрів вибухів під схеми короткосповільненого підривання (КСП) на основі карт районування кар'єрів за вибуховістю порід

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 (рис. 13) і шахової (рис. 14) мереж розташування зарядів. Залежності зміни величини пропрацьованої площі та недопрацьованої від величини зміщення зарядів відносно один одного для прямокутної та шахової мереж наведено на рис. 15 та рис. 16 відповідно.



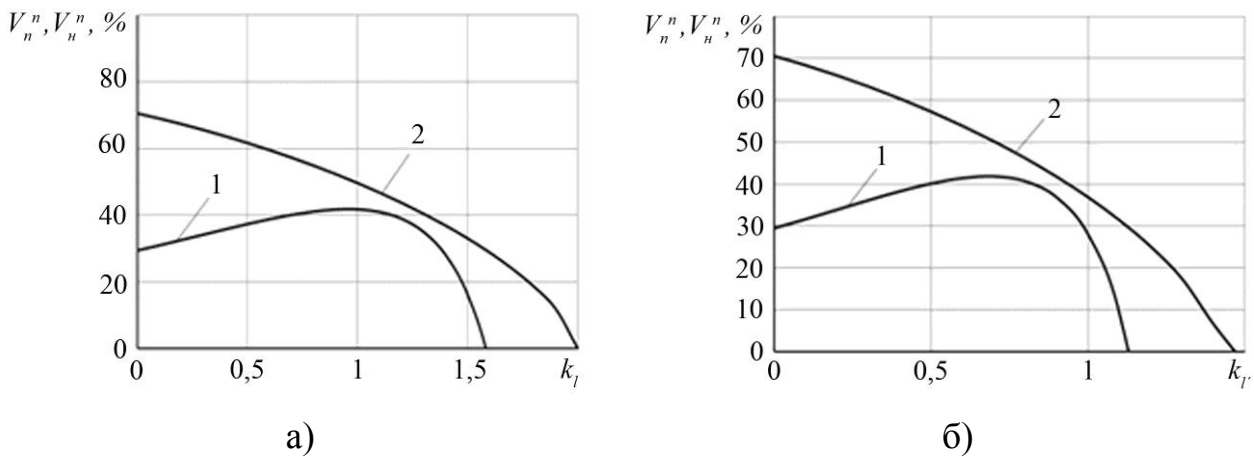
a, b – радіус, відповідно, великої і малої осей зони дроблення; l, l' – величини перекриття зон дроблення, відповідно, по горизонталі і вертикалі; I, II, III, IV – порядкові номери зон дроблення; 1–3 – області, утворені дією вибуху чотирьох зарядів

Рисунок 13 – Схема до розрахунку величин пропрацьованої одним зарядом і недопрацьованої площі під час вибуху за розташування зарядів прямокутною мережею



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 14 – Схема до розрахунку величин пропрацьованої одним зарядом і недопрацьованої площ за розташування зарядів шаховою мережею

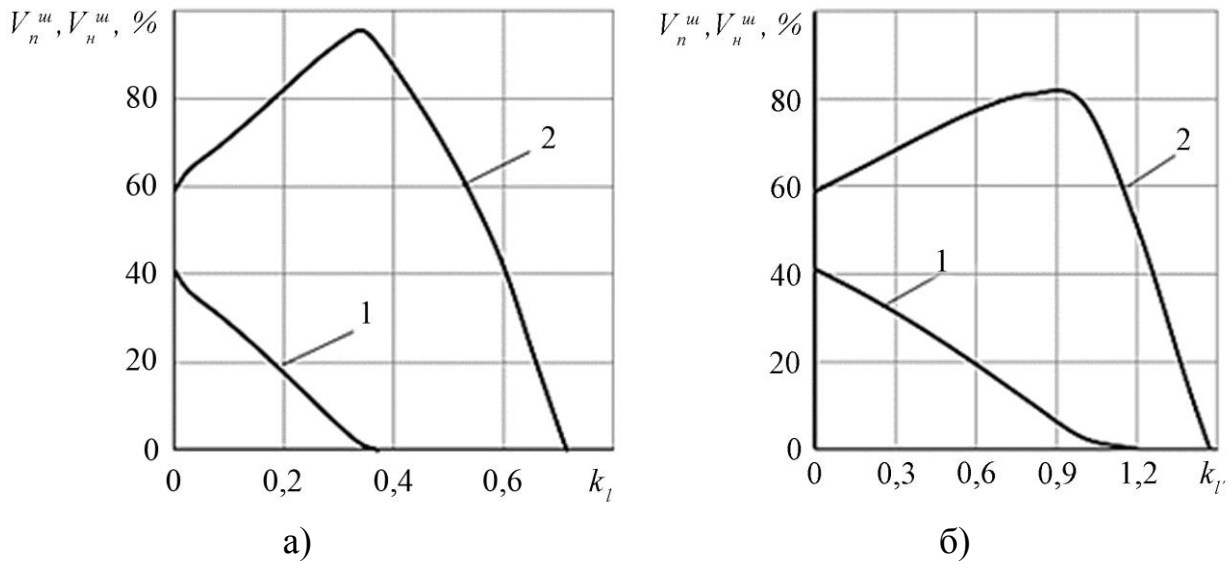


а) – V_n^n (1) і V_H^n (2) від k_l ; б) – V_n^n (1) та V_H^n (2) від k_l .

Рисунок 15 – Залежність зміни величин пропрацьованої одним зарядом і недопрацьованої площ за розташування зарядів прямокутною мережею

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

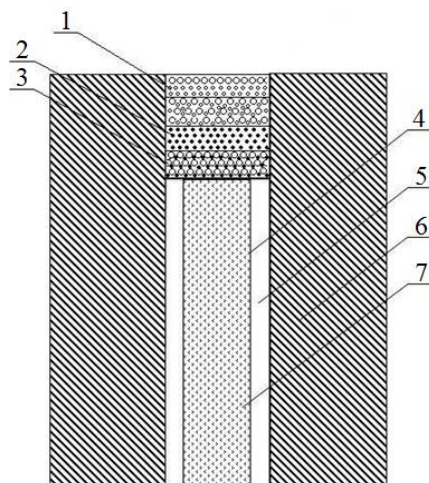
дроблення можна досягти величини недопрацьованої площі руйнування масиву 1,21 %.



а) – V_n^u (1) та V_n^u (2) від k_f ; б) – V_n^u (1) та V_n^u (2) від k_f .

Рисунок 16 – Залежності зміни величин пропрацьованої одним зарядом і недопрацьованої площ за розташування зарядів шаховою мережею

У **сьомому розділі** наведено результати промислових випробувань розроблених заходів (рис. 17) 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. Для визначення фракційного складу гірської маси застосовувався метод косокутної фотопланіметрії. Для визначення концентрацій шкідливих газів використовувався газоаналізатор ОКСІ-5М, пилу – аспіратор «АЕРА».



1 – цеоліт; 2 – негашене вапно; 3 – щєбїнь фракції 5–25 мм; 4 – поліетиленовий рукав; 5 – проміжок між зарядом і стінкою свердловини; 6 – гірська порода; 7 – вибухова речовина

Рисунок 17 – Розроблена конструкція заряду із забійкою

Результати випробувань показали (рис. 18), що розмір зони переподрібнення зменшився від 8 % до 4 % під час застосування розробленої конструкції заряду. При цьому обсяг товарної продукції майже не змінився. Зросла доля негабариту в загальному об'ємі роздробленої гірської маси на 5 %.

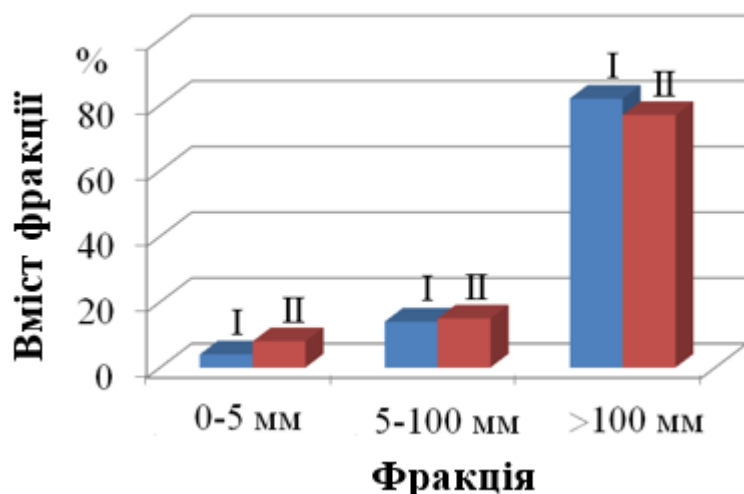


Рисунок 18 – Фракційний склад гірської маси за результатами I та II серій вибуху

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 (табл. 7). Заміри концентрації газів у атмосферному повітрі показали (табл. 8), що за першої серії вибуху наявність CO та NO₂ не зафіксовано, а за другої – їх концентрація на відстані 50 м від епіцентру вибуху становила 15 мг/м³ і 1 мг/м³ відповідно, на межі санітарно-захисної зони – наявність NO₂ не зафіксовано, а концентрація CO склала 9 мг/м³. Результати вимірювань підтвердили ефективність використання забійки на основі негашеного вапна та цеолітів.

Таблиця 7 – Концентрації пилу на різних відстанях від епіцентру вибуху

Серія вибуху/Концентрація пилу, мг/м ³	На відстані 50 м від епіцентру вибуху	На межі санітарно-захисної зони
I	1,4	0,08
II	1,8	0,1

Таблиця 8 – Концентрації шкідливих газів на різних відстанях від епіцентру вибуху

Серія вибуху/Концентрація шкідливих газів, мг/м ³	Шкідливі гази	На відстані 50 м від епіцентру вибуху	На межі санітарно-захисної зони
I	CO	-	-
	NO ₂	-	-
II	CO	15	9
	NO ₂	1	-

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.

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 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.

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 короткочасного підривання зарядів, що забезпечує орієнтацію фронту робіт в оптимальному напрямку; перенесення схеми короткочасного 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 окремоностей 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 переподрібної 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 NO₂ не зафіксовано, а за другої – їх концентрація на відстані 50 м від епіцентру вибуху становила 15 мг/м³ і 1 мг/м³ відповідно, на межі санітарно-захисної зони – наявність NO₂ не зафіксовано, а концентрація CO склала 9 мг/м³. 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 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>.

Здобувач провела аналіз та узагальнила досвід проведення вибухових робіт, проаналізувала методи управління розподілом енергії вибуху у гірських породах.

2. Терентьев О. М., Клецов А. Й., Гонтарь П. А., Тверда О. Я. Резонансное энергоощадное руйнування гірських порід: монографія. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. Том 1. 149 с.

Здобувач взяла участь у проведенні аналізу способів руйнування гірських порід, обґрунтувала комплексну методіку досліджень.

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.

Здобувач надала кількісну оцінку відносної відстані між зарядами для різних мереж їх розташування та конструкцій діагональних схем.

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.

Здобувач здійснила оцінку швидкості руху забійки свердловини з використанням рівняння стану продуктів детонації, за величиною якої можна порівнювати ефективність дії вибуху різних конструкцій зарядів вибухових речовин.

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.

Здобувач запропонувала послідовність операцій, що забезпечує за їх реалізації оптимальні напрямки відбійки гірської маси на гранітних кар'єрах.

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.

Здобувач є автором ідеї щодо вибору раціонального типу вибухової речовини на основі кількісної оцінки коефіцієнта передачі енергії вибуху різних типів вибухових речовин в руйнований масив скельних порід.

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.

Здобувач встановила залежність питомої витрати вибухової речовини від діаметра природної окремоті і коефіцієнта тріщинуватості масиву, запропонувала підхід диференційованого вибору напрямку відбійки і параметрів вибухових робіт.

8. 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.

Здобувач розробила підхід щодо визначення відстаней між зарядами та мережі розташування свердловин, за яких ефективність використання площі руйнування тріщинуватих скельних порід максимальна, встановила відповідні залежності.

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.

Здобувач розробила метод цільової оцінки блочності та тріщинуватості з урахуванням однорідності структури масиву в широкому аспекті мінливості параметрів за даними природними характеристиками.

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.

Здобувач розробила алгоритм вибору найбільш ефективного способу мінімізації пилоутворення з відвалів кар'єрів.

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.

Здобувач виконала аналіз літературних джерел з питань очистки води, виявила переваги та недоліки відомих методів та способів, брала участь у постановці задач дослідження та апробації результатів.

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.

Здобувач встановила залежність гамма-фону кар'єру від висоти уступу, що слугує передумовою розробки ефективних заходів щодо зменшення радіаційного навантаження на здоров'я працюючих і оточуюче середовище.

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.

Здобувач обґрунтувала необхідність застосування методів біоіндикації для оцінки впливу відвалів гранітних кар'єрів на стан ґрунтів прилеглих територій, взяла участь у проведенні аналізу методів біоіндикації.

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.

Здобувач виконала аналіз існуючих критеріїв відбору рослинних тест-систем з метою оцінки впливу відвалів гранітних кар'єрів на стан ґрунтів прилеглих територій, визначила переваги та недоліки рослин-біоіндикаторів найбільш поширених на територіях концентрації гранітних кар'єрів в Україні.

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.

Здобувач встановила, що відстань від відвалу гранітного кар'єра, пора року та їх взаємодія здійснюють суттєвий вплив на величину рН ґрунтів прилеглих територій.

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.

Здобувач здійснила планування експерименту та проаналізувала результати оцінки токсичності ґрунту, відібраного на різних відстанях від відвалу гранітного кар'єру.

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.

Здобувач здійснила апробацію методики визначення робочих параметрів установки для очищення від забруднювачів води, утворених в результаті проведення вибухових робіт на кар'єрах.

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.

Здобувач встановила закономірність проходження хвиль тиску під час підривання гірських порід від акустичної жорсткості заповнювача проміжку між зарядом та стінкою свердловини та його величини, визначила, що розчини з більшою акустичною жорсткістю дозволяють зменшити обсяг пилоутворення та підвищити однорідність фракційного складу гірської маси.

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.

Здобувач розробила 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, є автором ідеї комплексного підходу щодо вибору вибухової речовини у поєднанні з забійковим матеріалом.

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.

Здобувач здійснила апробацію розробленого алгоритму та комп'ютерної програми розрахунку взаємодії ґрунтової основи із спорудою під дією вибуху групи циліндричних зарядів для різних типів вибухових речовин.

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.

Здобувач встановила закономірності впливу довжини заряду і його віддаленості від вільної поверхні на характер зони руйнування середовища вибухом.

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.

Здобувач встановила залежність зміни концентрації пилу під час навантаження гірської маси екскаватором від висоти уступу і висоти вивантаження ковша у транспортні засоби.

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.

Здобувач проаналізувала результати експерименту та запропонувала зменшувати рН ґрунтів прилеглих територій до відвалів кар'єрів скельних порід додаванням органічних добрив, сульфату алюмінію та сечовини.

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.

Здобувач проаналізувала результати проведених експериментів, встановила залежність зміни величини фітотоксичного ефекту для обраних тест-культур від відстані до відвалу кар'єру.

25. Тверда О. Я., Петренко О. В., Ткачук К. К. Вплив складу вибухових речовин на вихід шкідливих газів під час підричних робіт на кар'єрах. *Актуальні наукові дослідження в сучасному світі*. 2018. Вип. 3 (35), Частина 7. С. 39–44.

Здобувач встановила закономірність зменшення кількості утворених шкідливих газів в процесі вибуху на кар'єрі зі зміною кількості атомів водню дизельного палива у складі вибухової речовини.

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.

Здобувач обґрунтувала рекомендації щодо орієнтування фронту відбійки під час короткочасного підричання масиву гірських порід з метою підвищення рівня ресурсозбереження в процесі розробки родовищ корисних копалин.

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.

Здобувач провела дослідження процесу розсіювання пилу від відвалу на прикладі відвалу Пинязевицького родовища гранітів у Житомирській області, зокрема встановила залежність зміни концентрації пилу від відстані до джерела пилоутворення.

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.

Здобувач виконала оцінку рівня забруднення атмосферного повітря Карбон (II) оксидом під час проведення вибухових робіт на кар'єрах, визначила індекс забруднення навколишнього середовища продуктами згоряння Гранеміту.

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.

Здобувач встановила емпіричну залежність радіусу зони запилення від маси пилу, що здувається з відвалу кар'єра, за допомогою кубічного сплайна.

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.

Здобувач встановила залежність зміни об'єму пилу під час буріння одиночного шпура від висоти уступу та визначила об'єми газів у процесі вибуху шпурових зарядів.

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.

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, 2018. Спеціалізована вчена рада Д 55.051.04.

Наведено аналіз досліджень впливу гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню на стан навколишнього середовища. 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.

Проведено вивчення екологічної обстановки навколо гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню. Зокрема, проведено оцінку впливу підричних робіт на стан атмосферного повітря. Встановлено залежність зміни радіаційного фону від висоти уступу кар'єра. Визначено, що гамма-фон відпрацьованого кар'єрного простору збільшується з заглибленням кар'єру. Досліджено процес розсіювання пилу з відвалу кар'єра та екологічний стан ґрунтів прилеглих до гранітних відвалів територій на основі біоіндикації. 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.

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 під тиску у ближній до заряду зоні зменшується.

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.

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. Запропоновано підходи щодо оцінки впливу вибухових речовин на навколишнє середовище та щодо вибору вибухових речовин для проведення вибухових робіт у кар'єрах.

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. 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.

Наведено результати промислових випробувань розроблених заходів.

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

АННОТАЦИЯ

Твердая О. Я. Научно-теоретические основы экологической безопасности горнопромышленных комплексов по производству щебня западного региона Украины. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. Сумской государственный университет, 2018. Специализированный ученый совет Д 55.051.04.

Приведен анализ исследований влияния горнопромышленных комплексов по производству щебня на состояние окружающей среды. Определены факторы влияния горнопромышленных комплексов по производству щебня на окружающую среду. Установлено, что среди всех технологических процессов производства щебня наибольшее влияние на окружающую среду оказывают массовые взрывы.

Изучена экологическая обстановка вокруг горнопромышленных комплексов по производству щебня. В частности, проведена оценка воздействия взрывных работ на состояние атмосферного воздуха. Установлена зависимость изменения радиационного фона от высоты уступа карьера. Определено, что гамма-фон отработанного карьерного пространства увеличивается с углублением карьера. Исследован процесс рассеивания пыли с отвала карьера и экологическое состояние почв территорий, прилегающих к отвалам гранитных карьеров, на основе биоиндикации. Установлена зависимость количества хромосомных патологий растений-индикаторов от расстояния до отвала гранитного карьера и определено, что главными типами аберраций, которые обнаружены в меристематических клетках корешков избранных тест-объектов являются делеции и транслокации.

Проведено математическое моделирование процесса взрывного разрушения скальных пород с использованием конструкции заряда, которая предусматривает формирование радиального промежутка вокруг заряда и заполнение его инертным веществом, для управления пылеобразованием и качеством горной массы на основе адаптированной модели Ляхова Г. М. Установлена закономерность прохождения волн давления при взрыве в зависимости от акустической жесткости заполнителя промежутка между зарядом и стенкой скважины и его величины. Определено, что с увеличением акустической жесткости заполнителя пик давления в ближней к заряду зоне уменьшается.

Разработана конструкция забойки, которая предусматривает двухстадийную очистку от вредных газов, образованных при взрывном разрушении скальных пород, и базируется на хемосорбции газов негашеной известью или отходами производства, которые ее включают, и физико-химической сорбции (адсорбции) цеолитами. Получены количественно-качественные характеристики адсорбирующего состава в забойке скважины в зависимости от типа взрывчатого вещества, количества и типа вредных газов, образуемых им при взрыве, и параметров скважины.

Исследовано влияние состава взрывчатых веществ на выход вредных газов и эффективность взрывных работ на карьерах. Установлена закономерность изменения количества образованного Нитроген (II) оксида при взрыве от химического состава дизельного топлива во взрывчатом веществе, которая позволяет изменить величину кислородного баланса и, соответственно, количество образованных при взрывах газов. Предложены подходы к оценке влияния взрывчатых веществ на окружающую среду и к выбору взрывчатых веществ для проведения взрывных работ в карьерах.

Разработан алгоритм целевой оценки блочности и трещиноватости массива, который, кроме размеров блоков и меры трещиноватости массива, учитывает форму и ориентацию блоков, а также направление простирания и падения трещин. Получил дальнейшее развитие подход по определению рациональных расстояний

между зарядами в ряду и между рядами, который отличается от известных тем, что учитывает, кроме эффективности проработки уступа, конфигурацию зоны дробления, которая характерна для трещиноватых массивов скальных пород, ее размеры, для случаев прямоугольной и шахматной сеток расположения зарядов.

Приведены результаты промышленных испытаний разработанных мероприятий.

Ключевые слова: экологическая безопасность, ресурсосбережение, взрывное разрушение, вредные газы, горнопромышленный комплекс, горная порода, щебень, отвал, пылеподавление, хемосорбция газов.

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, 2018. Specialized Academic Council D 55.051.04.

The analysis of researches of mining complexes influence during gravel production on the state of the environment is presented. 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.

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. 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. 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. 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.

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.

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.

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 quantity of nitric 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. Approaches to the assessment of the impact of explosives on the environment and the choice of explosives for blasting in quarries are proposed.

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. 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.

The results of industrial tests of developed ways and means are presented.

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

ТВЕРДА ОКСАНА ЯРОСЛАВІВНА

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

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Підписано до друку 19.11.2018. Формат 60 × 90/16. Папір друкарський.

Гарнітура Times New Roman Суг. Друк ризограф.

Ум. друк. арк. 1,9. Наклад 100 прим.

Замовлення № 18477

Віддруковано: ФОП Гузік О.М.

Податковий номер №2705814113

м. Київ, вул. Б. Гаврилишина, 16

Тел.: 338-16-61.