

---

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Гірничо-металургійний факультет  
Кафедра безпеки праці та охорони довкілля

*«Допущено до захисту»*  
Гарант ОПП

Наталія МАКСИМОВА

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Природозахисні технології в урбо-індустріальному комплексі»  
за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища

**на тему «Підвищення рівня екологічної безпеки під час виконання  
вибухових робіт в умовах залізорудного кар'єру»**

Керівник роботи

Наталія МАКСИМОВА

Консультант від  
бази практики

Наталія БІЛОЗЬОРОВА

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають  
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Анна ЧИЖ

*Підсумкова оцінка за атестацію*

Голова ЕК

Катерина  
СУХОДОЛЬСЬКА

Запоріжжя 2026

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Кафедра безпеки праці та охорони довкілля  
Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр  
Спеціальність: 183 Технології захисту навколишнього середовища  
ОПП «Природозахисні технології в урбо-індустріальному комплексі»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри БПОД

Максим КАРАКАЙ

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**  
Чиж Анна Андріївна

1. Тема роботи «Підвищення рівня екологічної безпеки під час виконання вибухових робіт в умовах залізорудного кар'єру»  
керівник роботи Максимова Н.М., канд. техн. наук, доцент  
затверджені наказом ректора ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» від «23» лютого 2026 року № 41/23.02.2026
2. Строк подання здобувачем роботи 11.06.2026
3. Вихідні дані до роботи: дані про параметри пилогазових викидів, кількість відбитої гірської породи; матеріали зібрані під час переддипломної практики за ОПП «Природоохоронні технології в урбо-індустріальному комплексі».
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Розділ 1. Огляд впливу вибухових робіт гірничо-збагачувальних комбінатів на екологічний стан прилеглих територій. Розділ 2. Оцінка пилових викидів при виконанні масових вибухів. Розділ 3. Поняття про відстані, які безпечні за дією отруйних газів вибуху. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного матеріалу: Схема поширення пилогазової хмари та зміни концентрації пилу під час масового вибуху в кар'єрі. Поширення пилогазової хмари після вибухових робіт. Внутрішня гідрозабійка свердловин перед проведенням масового вибуху. Зовнішня гідрозабійка вибухового блоку із застосуванням рукавів. Схема застосування гуматового реагенту у зовнішній гідрозабійці під час проведення масового вибуху.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1.	Максимова Н.М., доцент	24.02.2026	29.04.2026
2.	Максимова Н.М., доцент	24.02.2026	29.05.2026
3.	Максимова Н.М., доцент	24.02.2026	05.06.2026

7. Дата видачі завдання 24.02.2026

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз літературних джерел за темою кваліфікаційної роботи	30.03.2026	виконано
2.	Розділ 1. Огляд впливу вибухових робіт гірничо-збагачувальних комбінатів на екологічний стан прилеглих територій	29.04.2026	виконано
3.	Розділ 2. Оцінка пилових викидів при виконанні масових вибухів	29.05.2026	виконано
4.	Розділ 3. Поняття про відстані, які безпечні за дією отруйних газів вибуху	05.06.2026	виконано
5.	Оцінка підсумків кваліфікаційної роботи, висновки та пропозиції, список використаних джерел, додатки, оформлення роботи і презентаційного матеріалу та подання на оцінення	10.06.2026	виконано

Здобувач вищої освіти

Анна ЧИЖ



Керівник роботи

Наталія МАКСИМОВА

## АНОТАЦІЯ

*Чиж Анна Андріївна.* Підвищення рівня екологічної безпеки під час виконання масових вибухів у залізорудних кар'єрах. 56 сторінок, 5 рисунків, 4 таблиці, 35 джерел. – Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища ОПП «Природоохоронні технології в урбо-індустріальному комплексі». ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

*Об'єкт дослідження:* процес утворення пилогазових викидів під час проведення масових вибухів у кар'єрах гірничо-збагачувальних комбінатів.

*Предмет дослідження:* заходи та технічні рішення щодо зниження негативного впливу масових вибухів на атмосферне повітря прилеглих територій.

*Мета роботи:* оцінка впливу масових вибухів на стан атмосферного повітря та розроблення заходів зі зменшення пилогазових викидів в умовах кар'єру.

Основні результати:

У роботі проаналізовано вплив масових вибухів у залізорудних кар'єрах на атмосферне повітря. Виконано розрахунок об'ємів пилогазових хмар, параметрів газонебезпечної зони та безпечних відстаней за дією отруйних газів вибуху. Досліджено ефективність застосування систем зрошення пилогазових хмар і гідрозабійки свердловин як основних природоохоронних заходів під час проведення буропідливних робіт. Розглянуті заходи сприяють підвищенню рівня екологічної безпеки виробництва, зменшенню техногенного навантаження на атмосферне повітря та забезпеченню дотримання вимог природоохоронного законодавства.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: масові вибухи, пилогазові викиди, атмосферне повітря, гідрозабійка, пилопригнічення, буропідбивні роботи, кар'єр.

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ОГЛЯД ВПЛИВУ ВИБУХОВИХ РОБІТ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ	9
1.1 Загальна характеристика проблеми забруднення атмосферного повітря при підривних роботах	9
1.2 Механізм утворення, поширення та вплив пилогазових викидів	10
1.3 Фактори формування пилових викидів та умови їх поширення	12
1.4 Закономірності розсіювання пилогазових викидів	15
1.5 Методи оцінки пилових викидів	17
Висновки до розділу 1	18
2 ОЦІНКА ПИЛОВИХ ВИКИДІВ ПРИ ВИКОНАННІ МАСОВИХ ВИБУХІВ	19
2.1 Визначення об'єму пилогазової хмари	19
2.2 Визначення кількості викидів пилогазової хмари при стандартній схемі проведення робіт та з використанням водних розчинів реагенту торфогідроксидного у зовнішній гідрозабійці	21
2.3 Розрахунок необхідних об'ємів реагенту торфогідроксидного у гідрозабійках свердловин	24
2.4 Технологічні та технічні рішення щодо зниження впливу масових вибухів	25
2.5 Визначення необхідного об'єму води для зрошення пилогазової хмари	30

Висновок до розділу 2	34
3 ПОНЯТТЯ ПРО ВІДСТАНІ, ЯКІ БЕЗПЕЧНІ ЗА ДІЄЮ ОТРУЙНИХ ГАЗІВ ВИБУХУ	36
Висновок до розділу 3	38
ВИСНОВКИ	39
СПИСОК ВИКОРИСТАННИХ ДЖЕРЕЛ	41
ДОДАТОК А. Публікація здобувача	47
ДОДАТОК Б. Декларація про розкриття факту делегування завдань генеративному ШІ	56

## ВСТУП

Вибухові роботи є невід'ємною складовою технологічного процесу видобування корисних копалин у кар'єрах гірничо-збагачувальних комбінатів. Їх застосування забезпечує ефективне руйнування гірничих порід та підготовку гірничої маси до подальшого транспортування й переробки. Водночас проведення масових вибухів супроводжується значним негативним впливом на навколишнє природне середовище, зокрема на атмосферне повітря прилеглих територій.

Під час вибухових робіт у повітря надходить значна кількість пилу та газоподібних продуктів вибуху, серед яких оксиди азоту, оксид вуглецю та дрібнодисперсні тверді частинки. Утворення пилогазових хмар призводить до погіршення якості атмосферного повітря, зниження рівня екологічної безпеки та створення потенційної небезпеки для працівників підприємства і населення прилеглих територій. Особливої **актуальності** проблема набуває в умовах збільшення обсягів видобутку корисних копалин та посилення вимог екологічного законодавства щодо охорони атмосферного повітря. Тому у сучасних умовах важливим завданням є впровадження ефективних природоохоронних заходів, спрямованих на зменшення обсягів пилогазових викидів під час масових вибухів.

**Об'єктом дослідження** є процес утворення пилогазових викидів під час проведення масових вибухів у кар'єрах гірничо-збагачувальних комбінатів.

**Предметом дослідження** є заходи та технічні рішення щодо зниження негативного впливу вибухових робіт на атмосферне повітря прилеглих територій.

**Метою роботи** є оцінка впливу масових вибухів на стан атмосферного повітря та розроблення заходів зі зменшення пилогазових

викидів в умовах кар'єру.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– на підставі огляду літератури виявити основні чинники впливу на утворення та поширення пилогазової хмари, утвореної під час виконання масових вибухів на кар'єрах;

– виконати розрахунок параметрів пилогазових викидів;

– оцінити ефективність застосування гідрозабійки;

– визначити необхідний об'єм води для зрошення пилогазової хмари;

– перевірити умови забезпечення Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення.

Результати дослідження були апробовані під час участі у студентській науково-технічній конференції «Start in Science» (дод. А) [1].

# 1 ОГЛЯД ВПЛИВУ ВИБУХОВИХ РОБІТ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ

## 1.1 Загальна характеристика проблеми забруднення атмосферного повітря при підливних роботах

Гірничодобувна промисловість є однією з базових галузей економіки України, яка забезпечує сировиною металургійну та інші галузі промисловості. Разом із цим її функціонування супроводжується значним техногенним навантаженням на навколишнє природне середовище [1-6], серед якого особливе місце займає забруднення атмосферного повітря [7-9].

Одним із найбільш потужних джерел такого забруднення є буровибухові роботи, які широко застосовуються при відкритій розробці родовищ корисних копалин. У процесі детонації вибухових речовин відбувається миттєве вивільнення значної кількості енергії, що призводить до руйнування гірського масиву та утворення пилогазових викидів [10].

Пилогазові викиди являють собою складну суміш твердих частинок різної дисперсності та газоподібних продуктів вибуху. До основних компонентів таких викидів належать дрібнодисперсний пил, оксиди азоту та оксид вуглецю, які утворюються внаслідок детонації вибухових речовин [2, 10].

Під час проведення масових вибухів у кар'єрі гірничо-збагачувального комбінату, м. Кривий Ріг, формується пилогазова хмара, яка характеризується значною концентрацією твердих частинок та здатністю до поширення на значні відстані. Інтенсивність утворення такої хмари залежить від параметрів вибуху, зокрема маси заряду, схеми підливання та властивостей гірських порід [11-12].

Особливу небезпеку становить пил дрібної фракції (PM10 і PM2.5), який здатний тривалий час перебувати у завислому стані та переноситися повітряними потоками на значні відстані. Такі частинки можуть проникати у нижні відділи дихальної системи людини, викликаючи різні захворювання, зокрема бронхіти, астму та інші патології органів дихання [13].

Крім безпосереднього впливу на здоров'я людини, пилогазові викиди призводять до погіршення якості атмосферного повітря, що негативно впливає на екосистеми. Осідання пилу на поверхні ґрунтів, водних об'єктів та рослинності призводить до зміни їх властивостей і порушення природних процесів [14].

Значну роль у формуванні рівня забруднення відіграють метеорологічні умови. Швидкість і напрямок вітру визначають траєкторію руху пилогазової хмари, а вологість повітря впливає на процес осідання частинок. За несприятливих умов можливе формування зон підвищеної концентрації пилу, що значно ускладнює екологічну ситуацію [15-16].

Таким чином, забруднення атмосферного повітря під час проведення вибухових робіт є складною багатофакторною проблемою, яка потребує комплексного підходу до її вирішення [7].

Це обумовлює актуальність даної роботи, спрямованої на дослідження процесів утворення пилових викидів та розробку ефективних заходів їх зниження.

## **1.2 Механізм утворення, поширення та вплив пилогазових викидів**

Процес утворення пилогазових викидів під час вибухових робіт є складним і включає кілька послідовних стадій, кожна з яких визначає характеристики та масштаб забруднення атмосферного повітря [11, 14].

Під час проведення масових вибухів у кар'єрах утворюється

пилогазова хмара, яка є основним джерелом забруднення атмосферного повітря. Поширення пилових частинок залежить від сили та напрямку вітру, висоти підйому хмари, а також дисперсного складу пилу. Найбільші концентрації забруднюючих речовин спостерігаються поблизу джерела вибуху, після чого відбувається поступове осадження та розсіювання пилу в атмосфері. Схему поширення пилогазової хмари під час вибухових робіт наведено на рис. 1.1, на якій кількісні параметри наведені на підставі узагальнення даних літературних джерел відкритого доступу (див. п. 1.1).

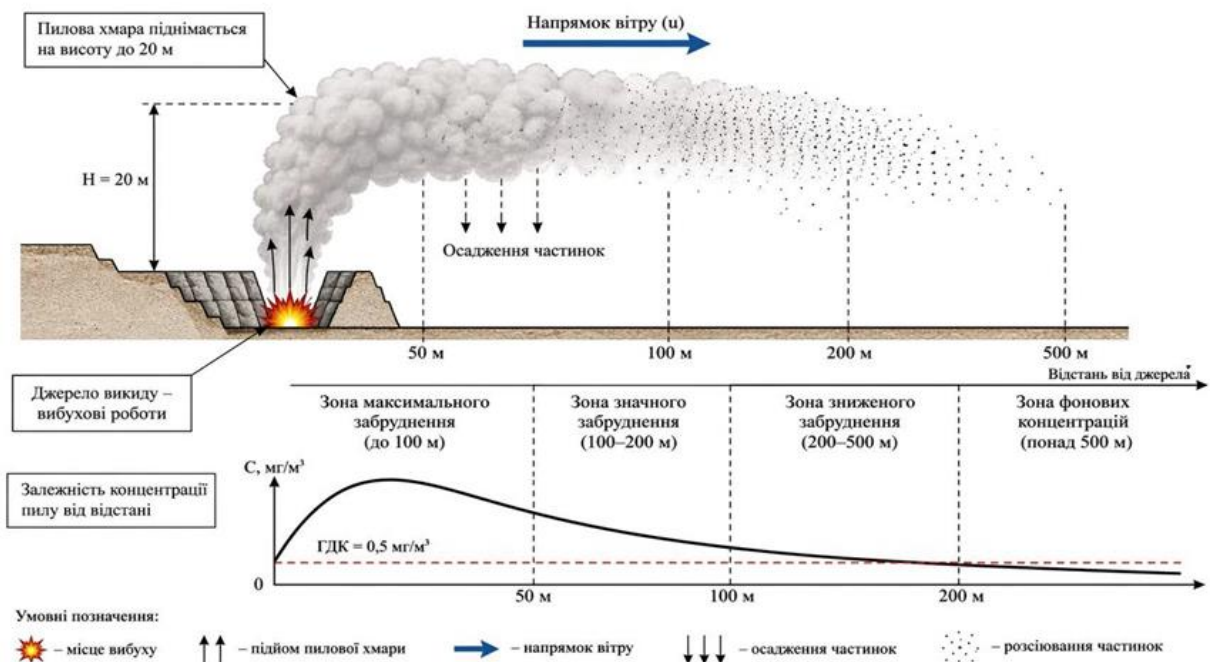


Рисунок 1.1 – Схема поширення пилогазової хмари та зміни концентрації пилу під час масового вибуху в кар'єрі (побудовано за використанням AI ChatGPT)

На першій стадії відбувається руйнування гірського масиву під дією вибухової хвилі. У цей момент утворюється значна кількість пилу, який складається з частинок різного розміру – від крупнодисперсних до наночасток [13].

На другій стадії пил піднімається у повітря разом із газами вибуху.

Гарячі гази створюють потужні висхідні потоки, які піднімають пил на значну висоту. У результаті формується пилогазова хмара, яка є основним джерелом забруднення атмосферного повітря.

Висота підйому пилогазової хмари може досягати десятків метрів, що сприяє її подальшому поширенню в атмосферному повітрі [11-13, 16].

На третій стадії відбувається розсіювання пилу в атмосфері. Дрібнодисперсні частинки можуть залишатися у завислому стані протягом тривалого часу та переноситися повітряними потоками на значні відстані. Крупні частинки, навпаки, осідають поблизу місця вибуху.

Пилогазові викиди мають комплексний вплив на довкілля. Вони призводять до [7, 10, 17-19]:

- забруднення атмосферного повітря;
- осідання пилу на ґрунтах;
- потрапляння забруднюючих речовин у водні об'єкти;
- негативного впливу на рослинність.

Крім того, пил становить серйозну небезпеку для здоров'я людини. Дрібнодисперсні частинки можуть проникати у дихальні шляхи та викликати різні захворювання [20].

### **1.3 Фактори формування пилових викидів та умови їх поширення**

Формування пилогазових викидів під час проведення вибухових робіт у кар'єрах є результатом складної взаємодії технологічних, природних та організаційних факторів. Розуміння цих факторів є необхідною умовою для розробки ефективних заходів зниження пилових викидів та мінімізації їх впливу на довкілля.

До основних технологічних факторів належать параметри буровибухових робіт, які безпосередньо визначають інтенсивність утворення пилу. Одним із ключових параметрів є маса вибухових речовин.

Збільшення маси заряду призводить до підвищення енергії вибуху, що, у свою чергу, обумовлює більш інтенсивне дроблення гірського масиву та утворення значної кількості дрібнодисперсних частинок [10, 21].

Не менш важливим є тип вибухових речовин. Згідно з виробничими даними, застосування емульсійних вибухових речовин дозволяє зменшити кількість газоподібних продуктів вибуху та частково обмежити утворення пилу. Це пов'язано з більш рівномірним процесом детонації та зниженням інтенсивності викиду гірничої маси.

Суттєвий вплив має схема підривання, яка визначає послідовність вибуху свердловин. Використання оптимізованих схем дозволяє зменшити неконтрольований викид гірничої маси та обмежити утворення пилогазової хмари. Натомість порушення технології може призводити до значного збільшення пилових викидів.

Важливими є також геометричні параметри буріння – глибина, діаметр і крок розташування свердловин. Невідповідність цих параметрів фізико-механічним властивостям порід може призводити до надмірного дроблення матеріалу та утворення великої кількості пилу [13-14, 22].

Поширення пилогазової хмари після вибуху значною мірою залежить від швидкості вітру, температурної стратифікації атмосфери та вологості повітря. За підвищення швидкості вітру зростає дальність перенесення дрібнодисперсного пилу за межі кар'єру.

Найбільший вплив мають швидкість і напрямок вітру. При сильному вітрі пил може переноситися на значні відстані, що збільшує зону впливу кар'єру. При штилі, навпаки, відбувається накопичення пилу у межах кар'єру та прилеглих територій [1, 23-24].

Підвищення відносної вологості повітря сприяє коагуляції пилових частинок та прискорює їх осадження, що дозволяє знизити концентрацію завислого пилу у приземному шарі атмосфери. При підвищеній вологості частинки пилу злипаються між собою, утворюючи більші агрегати, які швидше осідають. Це сприяє зниженню концентрації пилу у повітрі.

Натомість у суху погоду пил тривалий час перебуває у завислому стані, що підвищує рівень забруднення.

Згідно з [23-24] метеорологічні умови можуть змінювати концентрацію пилу у кілька разів, що необхідно враховувати при плануванні вибухових робіт.

До організаційних факторів належать режим проведення вибухових робіт, їх частота та дотримання технологічної інструкції. Проведення вибухів у несприятливих метеорологічних умовах може значно підвищувати рівень забруднення атмосферного повітря.

Отже, інтенсивність пилоутворення визначається поєднанням технологічних параметрів вибуху та метеорологічних умов, що необхідно враховувати при плануванні вибухових робіт (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Вплив технологічних та природних факторів на пилоутворення при масових вибухах

Фактор*	Характер впливу
Маса заряду ВР	Зі збільшенням маси заряду зростає об'єм подрібненої породи та кількість пилу
Питома витрата ВР	Визначає ступінь дроблення гірської маси і дисперсний склад пилу
Схема підривання	Впливає на напрямок викиду гірничої маси та формування пилогазової хмари
Вологість породи	За зростання вологості зменшується інтенсивність пилоутворення
Швидкість вітру	Визначає дальність перенесення дрібнодисперсного пилу
Вологість повітря	Сприяє осадженню пилових частинок
Температура повітря	Впливає на інтенсивність підйому пилогазової хмари
Фракційний склад порід	Дрібнозернисті породи формують більшу кількість PM10 і PM2.5

Примітка. «\*» ВР – вибухова речовина.

Аналіз наведених факторів показує, що рівень пилоутворення залежить як від технологічних параметрів вибуху, так і від

метеорологічних умов поширення пилогазової хмари.

#### **1.4 Закономірності розсіювання пилогазових викидів**

Дисперсний склад пилу визначає швидкість осадження частинок, дальність їх перенесення та рівень екологічної небезпеки під час проведення вибухових робіт у кар'єрах.

Пил, що утворюється внаслідок руйнування гірського масиву, є полідисперсною системою та включає частинки різного розміру – від крупнодисперсних (>100 мкм) до дрібнодисперсний пил (<2,5 мкм). Найбільшу небезпеку становлять дрібнодисперсні частинки PM10 та PM2.5, які здатні тривалий час перебувати у завислому стані [24].

Значна частина пилу, що утворюється під час масових вибухів, має розмір менше 10 мкм, що обумовлює його високу мобільність та здатність до перенесення на значні відстані [11].

Хімічний склад пилу визначає його токсичність та вплив на організм людини. Частинки можуть містити оксиди металів, а також кварц та інші мінеральні компоненти. Особливо небезпечним є пил, що містить кремнезем, оскільки його тривалий вплив може призводити до розвитку професійних захворювань органів дихання, зокрема силікозу [12]. Частинки PM10 здатні проникати у верхні дихальні шляхи, тоді як PM2.5 можуть досягати альвеол легень, що підвищує ризик розвитку хронічних захворювань дихальної системи [25].

Найбільшу екологічну небезпеку становить дрібнодисперсний пил, який тривалий час залишається у повітрі та може переноситися за межі кар'єру, формуючи зони вторинного забруднення [1, 24].

Поширення пилогазової хмари після масових вибухів залежить від дисперсного складу пилу, параметрів вибуху та метеорологічних умов. Приклад утворення пилогазової хмари під час масового вибуху наведено на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Поширення пилогазової хмари після вибухових робіт

Після вибуху пилогазова хмара піднімається та переміщується під дією повітряних потоків. На початковому етапі переважає вертикальний рух, зумовлений високою температурою газоподібних продуктів вибуху, які піднімають пил на значну висоту [16].

За даними оцінки впливу на довкілля, пилогазова хмара після вибуху може підніматися на десятки метрів та поширюватися за напрямком вітру.

Крупнодисперсні частинки осідають поблизу місця вибуху, тоді як дрібнодисперсний пил переноситься повітряними потоками на значні відстані [26].

Тривалість перебування пилу у повітрі залежить від метеорологічних умов. У суху та безвітряну погоду пил може накопичуватися у приземному шарі атмосфери протягом тривалого часу, що призводить до підвищення концентрації забруднюючих речовин.

У зоні впливу кар'єру підвищені концентрації пилу можуть

спостерігатися протягом кількох годин після проведення вибуху.

Просторове поширення пилогазової хмари необхідно враховувати при оцінці впливу вибухових робіт на атмосферне повітря та плануванні природоохоронних заходів.

### **1.5 Методи оцінки пилових викидів**

Контроль пилових викидів дозволяє оцінити рівень забруднення атмосферного повітря під час вибухових робіт. Для оцінювання рівня пилового забруднення застосовують інструментальні та розрахункові методи.

Інструментальні методи базуються на безпосередньому вимірюванні концентрації пилу у повітрі. Вони дозволяють отримати фактичні дані про концентрацію пилу у повітрі. Такі вимірювання проводяться на межі санітарно-захисної зони підприємства.

Розрахункові методи використовують для прогнозування рівня пилових викидів на етапі планування вибухових робіт [10]. Це дозволяє оцінити потенційний вплив і прийняти рішення щодо оптимізації параметрів вибуху. Точність розрахункових методів залежить від повноти вихідних даних та врахування реальних умов кар'єру.

Поєднання інструментальних вимірювань і розрахункових методів підвищує достовірність оцінки пилових викидів [20].

Зниження пилових викидів під час масових вибухів потребує впровадження ефективних технологій пилопригнічення.

Використання поверхнево-активних речовин підвищує ефективність зрошення та сприяє осадженню пилових частинок [21]. Зменшення маси заряду та застосування короткосповільненого підривання дозволяє знизити інтенсивність пилоутворення.

Згідно з виробничими даними, застосування комплексних заходів пилопригнічення дозволяє суттєво знизити рівень пилових викидів .

Для прогнозування поширення пилогазової хмари застосовують цифрове моделювання та GIS-технології.

Таким чином, підвищення ефективності пилопригнічення пов'язане з комплексним застосуванням технологічних та цифрових рішень.

### **Висновок до 1 розділу**

У першому розділі встановлено, що значний вплив на поширення пилогазової хмари, утвореної внаслідок масових вибухів у залізорудних кар'єрах, мають метеорологічні чинники, параметри вибуху та фізико-механічні властивості гірських порід. На підставі аналізу основних екологічних наслідків впливу викидів суспендованих твердих частинок на довкілля та здоров'я населення виявлено, що найбільшу небезпеку складає саме тонка фракція [17].

## 2 ОЦІНКА ПИЛОВИХ ВИКИДІВ ПРИ ВИКОНАННІ МАСОВИХ ВИБУХІВ

### 2.1 Визначення об'єму пилогазової хмари

Для оперативного визначення об'єму пилогазової хмари  $V_0$ , м<sup>3</sup>, можна скористатись виразом [27-29]:

$$V_0 = 4,4 \cdot 10^4 \cdot A^{1,08}, \text{ м}^3 \quad (2.1)$$

де  $A$  – кількість підірваної вибухової речовини в блоці, т

Використовуючи вище наведену формулу отримаємо для підриву окремих блоків в різний час, але продовж одного місяця [27]:

$$V_0^1 = 4,4 \cdot 10^4 \cdot A^{1,08} = 4,4 \cdot 10^4 \cdot 57,0^{1,08} = 3\,465\,752,304 \text{ м}^3,$$

$$V_0^2 = 4,4 \cdot 10^4 \cdot A^{1,08} = 4,4 \cdot 10^4 \cdot 107,4^{1,08} = 6\,869\,692,542 \text{ м}^3,$$

$$V_0^3 = 4,4 \cdot 10^4 \cdot A^{1,08} = 4,4 \cdot 10^4 \cdot 38,1^{1,08} = 2\,243\,115,572 \text{ м}^3,$$

$$V_0^4 = 4,4 \cdot 10^4 \cdot A^{1,08} = 4,4 \cdot 10^4 \cdot 6,5^{1,08} = 332\,199,5973 \text{ м}^3,$$

$$V_0^5 = 4,4 \cdot 10^4 \cdot A^{1,08} = 4,4 \cdot 10^4 \cdot 21,7^{1,08} = 1\,221\,319,213 \text{ м}^3,$$

$$V_0^6 = 4,4 \cdot 10^4 \cdot A^{1,08} = 4,4 \cdot 10^4 \cdot 34,0^{1,08} = 1\,983\,580,85 \text{ м}^3,$$

$$V_0^7 = 4,4 \cdot 10^4 \cdot A^{1,08} = 4,4 \cdot 10^4 \cdot 64,34^{1,08} = 3\,950\,137,54 \text{ м}^3,$$

$$V_0^8 = 4,4 \cdot 10^4 \cdot A^{1,08} = 4,4 \cdot 10^4 \cdot 79,8^{1,08} = 4\,984\,433,419 \text{ м}^3.$$

Висота (м) підйому пилогазової хмари ( $H_0$ ) визначається таким чином [27]:

$$H_0 = v \cdot (164 + 0,258A), \text{ м} \quad (2.2)$$

де  $v = 1$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує глибину охоплення.

Використовуючи формулу (2.2) отримаємо для підриву окремих блоків в різний час, але продовж одного місяця наступні відповідні висоти підйому пилогазової хмари:

$$H_0^1 = 1 \cdot (164 + 0,258 \cdot 57,0) = 178,706 = 178,7 \text{ м};$$

$$H_0^2 = 1 \cdot (164 + 0,258 \cdot 107,4) = 191,7092 = 191,7 \text{ м};$$

$$H_0^3 = 1 \cdot (164 + 0,258 \cdot 38,1) = 173,8298 = 173,8 \text{ м};$$

$$H_0^4 = 1 \cdot (164 + 0,258 \cdot 6,5) = 165,677 = 165,7 \text{ м};$$

$$H_0^5 = 1 \cdot (164 + 0,258 \cdot 21,7) = 169,5986 = 169,6 \text{ м};$$

$$H_0^6 = 1 \cdot (164 + 0,258 \cdot 34,0) = 172,772 = 172,8 \text{ м};$$

$$H_0^7 = 1 \cdot (164 + 0,258 \cdot 64,34) = 180,6 \text{ м};$$

$$H_0^8 = 1 \cdot (164 + 0,258 \cdot 79,8) = 184,588 = 184,6 \text{ м}.$$

Результати розрахунків зводимо в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні параметри пилогазових хмар, які утворюються продовж місяця внаслідок виконання підривних робіт на гірничо-збагачувальному комбінаті

Кількість вибухової речовини, т	Об'єму пилогазової хмари $V_0$ , м <sup>3</sup>	Висота підйому пилогазової хмари $H_0$ , м
57	3465752,3	178,7
107,4	6869692,5	191,7
38,1	2243115,6	173,8
6,5	332199,6	165,7
21,7	1221319,2	169,6
34	1983580,9	172,8
64,34	3950137,5	180,6
79,8	4984433,4	184,6

Аналіз отриманих результатів показав, що зі збільшенням маси вибухової речовини зростають об'єм та висота підйому пилогазової хмари. Це свідчить про значний вплив параметрів вибуху на масштаби забруднення атмосферного повітря під час проведення вибухових робіт у кар'єрі.

## **2.2 Визначення кількості викидів пилогазової хмари при стандартній схемі проведення робіт та з використанням водних розчинів реагенту торфогідроксидного у зовнішній гідрозабійці**

Відповідно до інформації наданої гірничо-збагачувальним комбінатом, можна припустити, що за місяць у 2024 році в кар'єрі шляхом масових вибухів відбито  $V_{ГК} = 290\,400\,000$  м<sup>3</sup> руди та скельної гірничої маси [29].

Відповідно до даних, наведених у [28-29], даних промислових досліджень НДІБПГ КНУ з врахуванням використовуваної вибухової речовини «Емоніт» середня питома кількість пилу, що виділяється при вибухах в умовах кар'єрів гірничо-збагачувальних комбінатів Криворіжжя становить  $q_{пил} = 0,09$  кг/м<sup>3</sup>, оксидів азоту  $q_{NO} = 0,002$  кг/м<sup>3</sup>, оксиду вуглецю  $q_{CO} = 0,003$  кг/м<sup>3</sup>.

Маса викиду пилу за місяць складе:

$$\begin{aligned} M_{ГК_{пил}} &= V_{ГК} \cdot q_{пил} = 290\,400\,000 \cdot 0,09 = 26\,136\,000 \text{ кг} = \\ &= 26\,136 \text{ т} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Маса викиду оксиду азоту за місяць складе:

$$M_{ГК_{NO}} = V_{ГК} \cdot q_{NO} = 290\,400\,000 \cdot 0,002 = 580\,800 \text{ кг} = 580,8 \text{ т} \quad (2.4)$$

Маса викиду оксиду вуглецю за місяць складе:

$$M_{ГК_{CO}} = V_{ГК} \cdot q_{CO} = 290\,400\,000 \cdot 0,003 = 871\,200 \text{ кг} = 871,2 \text{ т} \quad (2.5)$$

Маса викидів забруднюючих речовин при проведенні масових вибухів з використанням водних розчинів реагенту торфогідроксидного (РТГ) у зовнішній гідрозабійці на кар'єрі в середньому за місяць складатиме [28-29]:

- по пилу:

$$M'_{ГК_{пил}} = M_{ГК_{пил}} \cdot (1 - \eta_{пил}) = 26\,136 \cdot (1 - 0,505) = 12\,937,320 \text{ т} \quad (2.6)$$

- по оксиду азоту:

$$M'_{ГК_{NO}} = M_{ГК_{NO}} \cdot (1 - \eta_{NO}) = 580,8 \cdot (1 - 0,680) = 185,856 \text{ т} \quad (2.7)$$

- по монооксиду вуглецю:

$$M'_{ГК_{CO}} = M_{ГК_{CO}} \cdot (1 - \eta_{CO}) = 871,2 \cdot (1 - 0,640) = 313,632 \text{ т} \quad (2.8)$$

де  $\eta$  – ефективність пилогазоподавлення при використанні методу з використанням реагентів на гуматовій основі у зовнішній гідрозабійці.

Таким чином, при використанні реагентів на гуматовій основі у зовнішній гідрозабійці при проведенні масових вибухів зниження викидів забруднюючих речовин складатиме [28-29]:

- по пилу:

$$M_{пил} = M_{ГК_{пил}} - M'_{ГК_{пил}} = 26\,136 - 12\,937,320 = 13\,198,68 \text{ т} \quad (2.9)$$

- по оксиду азоту:

$$M_{NO} = M_{ГК_{NO}} - M'_{ГК_{NO}} = 580,8 - 185,856 = 394,944 \text{ т} \quad (2.10)$$

- по монооксиду вуглецю:

$$M_{CO} = M_{ГК_{CO}} - M'_{ГК_{CO}} = 871,2 - 313,632 = 557,568 \text{ т} \quad (2.11)$$

Отримані результати розрахунків свідчать про те, що використання зовнішньої гідрозабійки у поєднанні реагентів на гуматовій основі є ефективним заходом зниження негативного впливу вибухових робіт на атмосферне повітря. У результаті застосування запропонованих технологічних рішень спостерігається суттєве зменшення маси пилових

викидів, а також зниження концентрації оксидів азоту та монооксиду вуглецю у складі пилогазової хмари [28-29]. Це дозволяє знизити рівень забруднення повітря в межах кар'єру та га прилеглих територіях.

### **2.3 Розрахунок необхідних об'ємів реагенту торфогідроксидного у гідрозабійках свердловин**

Природоохоронним заходом під час проведення масових вибухів є зволоження гірничої маси в розмірі половини об'єму гірничої маси, що підривається [28-29]. Тобто для підривання 290 400 000 м<sup>3</sup> гірничої маси [33-34], необхідно зволожити блок, об'ємом 290 400 000 / 2 = 145 200 000 м<sup>3</sup> блоку.

Визначаємо необхідну кількість води в гідрозабійці при середній нормі поливу  $q = 0,895$  л/м<sup>3</sup> [28-29]:

$$V_{\text{води для г.-з.}} = \frac{V_{\text{ГМ}}}{2} \cdot q = (290\,400\,000 / 2) \cdot 0,895 = 129\,954\,000 \text{ л} = 129\,954 \text{ м}^3 \quad (2.14)$$

Вага рукава для гідрозабійки складе [28-29]:

$$m_{\text{рукав}} = \frac{V_{\text{ГМ}}}{2} \cdot 3 = (290\,400\,000 / 2) \cdot 3 = 435\,600 \text{ кг} = 435,6 \text{ т} \quad (2.15)$$

Необхідний об'єм реагенту торфогідроксидного (РТГ) визначаємо з урахуванням ваги 1 м.п. рукава як 0,189 кг та діаметру рукава  $d = 0,268$  [28-29]:

$$V_{\text{РТГ}} = \frac{m_{\text{рукав}}}{0,189} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{435600}{0,189} \cdot \frac{3,14 \cdot 0,268^2}{4} = 129\,946,717 \text{ м}^3 \quad (2.16)$$

Ціни суттєво варіюють на гуматові водні розчини. Приймемо, що

вартість реагенту гуматового (водний розчин 30%) складає  $\zeta = 8$  грн/л. Тоді загальні витрати на реагент складуть [32]:

$$\zeta = V_{\text{РТГ}} \cdot \zeta = 129\,946\,717 \cdot 8 = 3\,484\,800 \text{ грн} \quad (2.17)$$

Застосування гідрозабійки та спеціальних реагентів потребує додаткових матеріальних витрат і ускладнює процес підготовки вибухового блоку. Також існує необхідність постійного контролю технічного стану обладнання та дотримання технологічних параметрів під час проведення вибухових робіт. Проте проведені розрахунки (див. п. 2.2) підтверджують доцільність застосування реагенту як засобу пилопригнічення для зменшення негативного впливу вибухових робіт на атмосферне повітря.

#### **2.4 Технологічні та технічні рішення щодо зниження впливу масових вибухів**

Для мінімізації негативного впливу масових вибухів на атмосферне повітря в умовах залізородних кар'єрів застосовується комплекс технологічних, технічних та організаційно-контрольних заходів пилогазопригнічення, до яких належать:

- технологічне водне гідрозрошення вибухового блоку і прилеглої території з використанням стаціонарних або мобільних систем дрібнодисперсного розпилення води;

- застосування зовнішньої та внутрішньої гідрозабійки свердловин для локалізації енергії вибуху та зменшення інтенсивності виходу пилогазової суміші в атмосферу;

- використання пилосв'язувальних реагентів на основі гуматових сполук, поверхнево-активних речовин та інших вологоутримувальних компонентів;

- оптимізація параметрів буропідливних робіт, зокрема маси заряду, схеми короткосповільненого підривання, сітки свердловин і черговості ініціювання зарядів;

- оперативний метеорологічний контроль умов проведення масового вибуху з урахуванням параметрів розсіювання пилогазової хмари;

- проведення інструментального моніторингу атмосферного повітря та оперативного контролю концентрацій пилу і шкідливих газів у межах санітарно-захисної зони кар'єру [16, 30].

Одним із базових технологічних методів пилопригнічення є попереднє водне зрошення вибухового блоку та прилеглих ділянок кар'єру перед проведенням масового вибуху. Реалізація даного заходу здійснюється персоналом дільниці буропідливних робіт із застосуванням поливальних машин, насосних станцій та систем трубопровідного транспортування води. Зрошення проводиться безпосередньо перед зарядженням свердловин і перед ініціюванням вибуху з метою підвищення вологості поверхневого шару гірничої маси [7, 13].

Ефективним технічним способом локалізації пилогазових викидів є застосування зовнішньої та внутрішньої гідрозабійки свердловин. Внутрішня гідрозабійка передбачає розміщення у верхній частині зарядженої свердловини водонаповнених рукавів, поліетиленових ємностей або спеціальних водоутримувальних модулів, які виконують функцію гідравлічного бар'єра. Під час детонації вибухової речовини вода поглинає частину енергії ударної хвилі, знижує температуру газових продуктів вибуху та сприяє осадженню пилових частинок [12].

Схему реалізації внутрішньої гідрозабійки свердловин перед проведенням масового вибуху наведено на рис. 2.1.

Зовнішня гідрозабійка реалізується шляхом розміщення системи водяних рукавів або трубопроводів по поверхні вибухового блоку. Після ініціювання вибуху формується зона інтенсивного водяного зрошення,

яка перешкоджає поширенню пилогазової хмари за межі кар'єру. Монтаж систем гідрозабійки виконується спеціалізованими працівниками буропідривної ділянки відповідно до проекту масового вибуху та схеми розташування свердловин [12].



Рисунок 2.1 – Внутрішня гідрозабійка свердловин перед проведенням масового вибуху

Приклад організації зовнішньої гідрозабійки вибухового блоку із використанням рукавних магістралей наведено на рис. 2.2.

Важливим напрямом зниження пилових викидів під час масових вибухів є застосування гуматових реагентів у системах зовнішньої гідрозабійки. Параметри зрошення та необхідна витрата реагенту визначаються розрахунковим шляхом залежно від умов проведення вибухових робіт [10].



Рисунок 2.2 – Зовнішня гідрозабійка вибухового блоку із застосуванням рукавів

На рис. 2.3 наведено один із можливих варіантів реалізації системи зовнішньої гідрозабійки із застосуванням гуматового реагенту під час проведення масового вибуху [30].

На рисунку 2.3 представлено принципову схему організації застосування зовнішньої гідрозабійки із використанням гуматового реагенту під час проведення масового вибуху у залізорудному кар'єрі [30].

Досліджуваний вибуховий блок розташований на горизонті – 360 м / – 375 м та умовно поділений на дві ділянки для проведення порівняльного експериментального дослідження ефективності пилопригнічення під час масових вибухів. На першій ділянці застосовується зовнішня гідрозабійка із використанням гуматового реагенту, який подається через систему форсунок, розташованих уздовж межі вибухового блоку. Зона обробки гуматовим реагентом охоплює частину свердловин досліджуваного блоку, де здійснюється попереднє зволоження поверхні масиву для зменшення інтенсивності утворення пилогазової хмари [30].

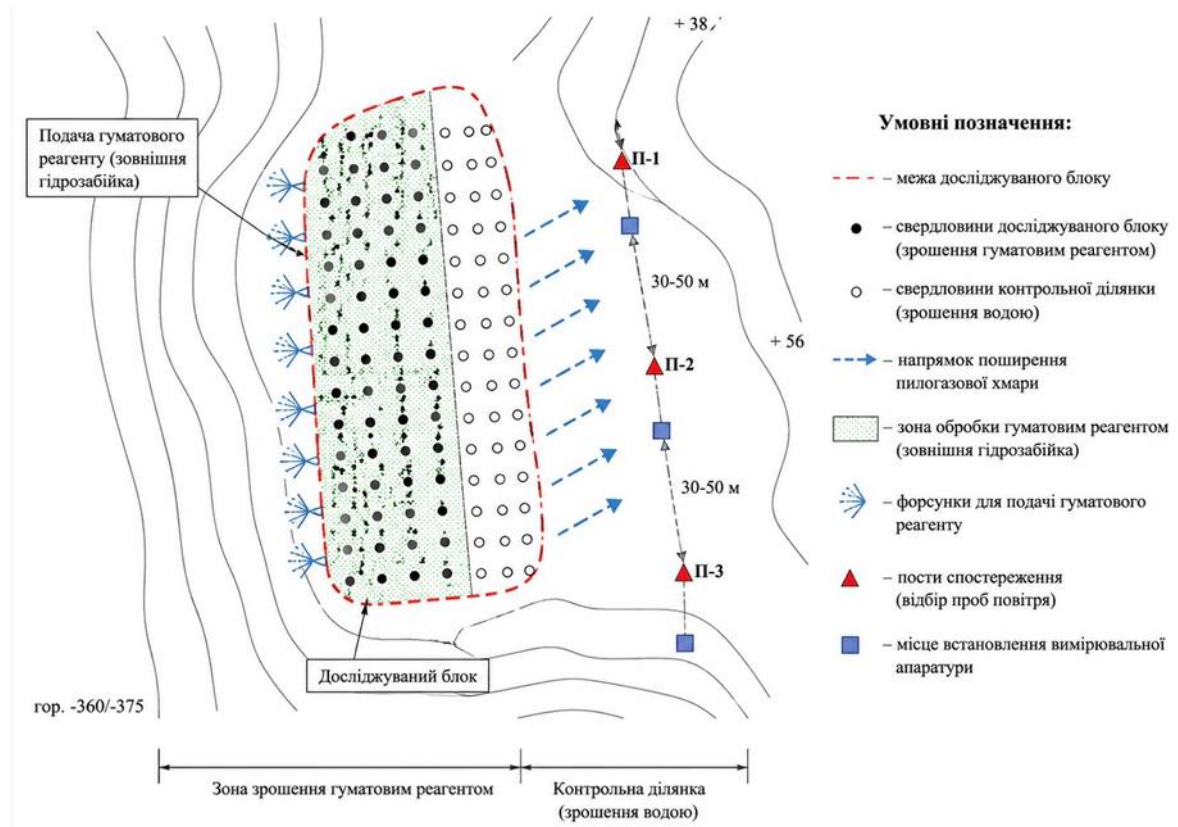


Рисунок 2.3 – Схема застосування гуматового реагенту у зовнішній гідрозабійці під час проведення масового вибуху (адаптовано автором на основі [30] за використанням AI ChatGPT)

Друга частина блоку є контрольною ділянкою, на якій проводиться традиційне зрошення водою без застосування гуматового реагенту. Такий розподіл блоку дозволяє провести порівняльну оцінку ефективності двох способів пилопригнічення в однакових гірничо-геологічних та технологічних умовах проведення вибуху.

У межах досліджуваного блоку розташовані свердловини для заряджання вибухових речовин, при цьому свердловини зони застосування гуматового реагенту позначені окремо від свердловин контрольної ділянки. Напрямок поширення пилогазової хмари прогнозується у бік контрольних постів спостереження П-1, П-2 та П-3, встановлених на відстані 30–50 м від межі вибухового блоку. У зазначених точках проводиться відбір проб атмосферного повітря після

проведення масового вибуху з метою визначення концентрації пилю, оксидів азоту, оксиду вуглецю та інших компонентів пилогазової хмари [30].

Поряд із постами спостереження передбачено місця встановлення виміральної апаратури для контролю параметрів пилогазової хмари та оцінки ефективності застосованих заходів пилопригнічення. Використання гуматового реагенту забезпечує утворення захисної плівки на поверхні гірничої маси, що сприяє зв'язуванню дрібнодисперсних пилових частинок та зменшенню їх переходу в атмосферне повітря під час вибуху.

Запропонована схема відповідає підходам, наведеним у роботах Щокіна В.П. [30-32], де експериментально досліджувалась ефективність зовнішньої гідрозабійки із застосуванням гуматових реагентів. Результати проведених досліджень підтвердили зниження інтенсивності пиловиділення та концентрації шкідливих газів у пилогазовій хмарі, що свідчить про доцільність використання гуматових реагентів для зменшення негативного впливу масових вибухів на атмосферне повітря кар'єрів [30].

## **2.5 Визначення необхідного об'єму води для зрошення пилогазової хмари**

В роботі [14], як технічне рішення, запропоновано метод зрошення пилової хмари рідким агентом шляхом розбризкування його з обладнаних гелікоптерів. Дослідники [14] виконали розрахунок необхідної кількості води для зрошення пилогазової хмари під час масового вибуху потужністю 500т. За аналогією до представленої в роботі [14] методики, визначимо обсяг води для зрошення хмари  $V_{\text{рідина}}$ , м<sup>3</sup>, при різній ефективності пиловловлювання  $\eta$ .

Під час розрахунку використовуємо раніше отримані дослідниками

[14] дані як вихідні:

- діаметр крапель води, що розбризкується з вертольота,  $d_k=1000-10^{-6}$  м = 0,001 м;

- сумарний коефіцієнт захоплення пилових частинок  $\eta_\Sigma = 0,488$ ;

- швидкість осадження тонкодисперсного пилу  $u=0,00012$  м/с;

- швидкість осадження крапель води  $v=4,31$  м/с;

- відносна швидкість руху крапель води  $\omega =4,31$  м/с.

Об'єм пилогазової хмари  $V_0$ , м<sup>3</sup>, та визначено попередньо у п. 2.1 (див. табл. 2.1).

Задаємося рядом значень ефективності уловлювання пилу краплями води  $\eta$  від 0,1 до 0,9. Далі за виразом (2.12) для цих значень ефективності пиловловлювання розраховуємо необхідний показник зрошення пилової хмари  $m$ :

$$m = \ln \frac{1}{1-\eta} \left( \frac{3}{2} \frac{\omega H_0}{v d_k} \eta_\Sigma \right)^{-1}, \quad (2.12)$$

- де  $m = \frac{V_{\text{рідина}}}{V_0}$  – показник зрошення пилогазової хмари;
- $V_{\text{рідина}}$  – необхідний обсяг води для зрошення хмари, м<sup>3</sup>;
- $V_0$  – об'єм пилогазової хмари, м<sup>3</sup>;
- $\eta = \frac{\Delta C}{C}$  – ефективність пиловловлювання пилу краплями води при зрошенні хмари;
- $\Delta C$  – частина концентрації пилу, яка пригнічена за рахунок зрошення хмари, мг/м<sup>3</sup>;
- $C$  – початкова концентрація пилу в хмарі, мг/м<sup>3</sup>;
- $H_0$  – висота контакту рідини з хмарою, м;
- $\eta_\Sigma$  – сумарний коефіцієнт захоплення частинок сферичною краплею;
- $\omega$  – відносна швидкість руху краплі та пилової

- частинки, м/с;  
 $\vartheta$  – швидкість осадження частинки, м/с;  
 $d_k$  – діаметр краплі, м.

Ефективність пиловловлювання підвищується у разі збільшення сумарного коефіцієнта захоплення частинок сферичною краплею  $\eta_{\Sigma}$ , висоти контакту рідини з хмарою  $H_0$ , відносної швидкості руху краплі та пилової частинки  $\omega$ , показника зрошення пилу  $m$  [14].

При цьому оптимальним діаметром крапель води можна вважати  $d_k = 1000-1500\mu\text{м}$  (1,0-1,5 мм), оскільки в цьому разі сумарний коефіцієнт захоплення дрібнодисперсної (респірабельної) буде максимальним, тоді показник зрошення пилової хмари  $m$  визначається за формулою (2.15) [14]:

- при висоті підйому пилогазової хмари  $H_0 = 178,7$  м та при заданій ефективності пиловловлення  $\eta = 0,1$ :

$$m = \ln \frac{1}{1-\eta} \left( \frac{3}{2} \frac{\omega}{\vartheta} \frac{H}{d_k} \eta_{\Sigma} \right)^{-1} = \ln \frac{1}{1-0,1} \left( \frac{3}{2} \cdot \frac{4,31}{4,31} \cdot \frac{178,7}{0,001} \cdot 0,488 \right)^{-1} = 8,05 \cdot 10^{-7}.$$

Подальші результати розрахунків зводимо в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Залежність необхідного показника зрошення пилогазової хмари від ефективності пиловловлювання

$\eta$	Показник зрошення пилової хмари $m$ при різній висоті підйому пилогазової хмари $H_0$ , м							
	178,71	191,71	173,83	165,68	169,60	172,77	180,60	184,59
0,1	$0,8 \cdot 10^{-6}$	$0,75 \cdot 10^{-6}$	$0,83 \cdot 10^{-6}$	$0,86 \cdot 10^{-6}$	$0,84 \cdot 10^{-6}$	$0,83 \cdot 10^{-6}$	$0,79 \cdot 10^{-6}$	$0,77 \cdot 10^{-6}$
0,2	$1,70 \cdot 10^{-6}$	$1,59 \cdot 10^{-6}$	$1,75 \cdot 10^{-6}$	$1,84 \cdot 10^{-6}$	$1,79 \cdot 10^{-6}$	$1,76 \cdot 10^{-6}$	$1,68 \cdot 10^{-6}$	$1,65 \cdot 10^{-6}$
0,3	$2,72 \cdot 10^{-6}$	$2,54 \cdot 10^{-6}$	$2,80 \cdot 10^{-6}$	$2,94 \cdot 10^{-6}$	$2,87 \cdot 10^{-6}$	$2,82 \cdot 10^{-6}$	$2,69 \cdot 10^{-6}$	$2,64 \cdot 10^{-6}$
0,4	$3,90 \cdot 10^{-6}$	$3,64 \cdot 10^{-6}$	$4,01 \cdot 10^{-6}$	$4,21 \cdot 10^{-6}$	$4,11 \cdot 10^{-6}$	$4,03 \cdot 10^{-6}$	$3,86 \cdot 10^{-6}$	$3,78 \cdot 10^{-6}$
0,5	$5,29 \cdot 10^{-6}$	$4,93 \cdot 10^{-6}$	$5,44 \cdot 10^{-6}$	$5,71 \cdot 10^{-6}$	$5,58 \cdot 10^{-6}$	$5,48 \cdot 10^{-6}$	$5,24 \cdot 10^{-6}$	$5,12 \cdot 10^{-6}$

0,6	$7,00 \cdot 10^{-6}$	$6,52 \cdot 10^{-6}$	$7,20 \cdot 10^{-6}$	$7,55 \cdot 10^{-6}$	$7,38 \cdot 10^{-6}$	$7,24 \cdot 10^{-6}$	$6,93 \cdot 10^{-6}$	$6,78 \cdot 10^{-6}$
0,7	$9,20 \cdot 10^{-6}$	$8,57 \cdot 10^{-6}$	$9,46 \cdot 10^{-6}$	$9,92 \cdot 10^{-6}$	$9,69 \cdot 10^{-6}$	$9,51 \cdot 10^{-6}$	$9,10 \cdot 10^{-6}$	$8,91 \cdot 10^{-6}$
0,8	$12,30 \cdot 10^{-6}$	$11,46 \cdot 10^{-6}$	$12,64 \cdot 10^{-6}$	$13,27 \cdot 10^{-6}$	$12,96 \cdot 10^{-6}$	$12,72 \cdot 10^{-6}$	$12,17 \cdot 10^{-6}$	$11,91 \cdot 10^{-6}$
0,9	$17,60 \cdot 10^{-6}$	$16,40 \cdot 10^{-6}$	$18,09 \cdot 10^{-6}$	$18,98 \cdot 10^{-6}$	$18,55 \cdot 10^{-6}$	$18,20 \cdot 10^{-6}$	$17,41 \cdot 10^{-6}$	$17,04 \cdot 10^{-6}$

За цими даними, виходячи з визначення показника зрошення хмари, об'єм води для зрошення пилогазової хмари  $V_{рідина}$ , м<sup>3</sup>, визначиться як [14]:

$$V_{рідина} = m \cdot V_0, \quad (2.13)$$

- при  $\eta = 0,1$ :

$$V_{рідина} = 8,05 \cdot 10^{-7} \cdot 3\,465\,752,3 = 2,79 \text{ м}^3.$$

Обсяг води для зрошення хмари склав  $V_{рідина} = 2,79 \text{ м}^3$  при заданій ефективності пиловловлювання  $\eta = 0,1$ . Результати аналогічних розрахунків зводимо в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Залежність необхідного об'єму води для зрошення пилогазової хмари від ефективності пиловловлювання

$\eta$	Об'єм води для зрошення пилогазової хмари $V_{рідина}$ , м <sup>3</sup> при різній висоті підйому пилогазової хмари $H_0$ , м							
	178,71	191,71	173,83	165,68	169,60	172,77	180,60	184,59
0,1	2,79	5,16	1,86	0,29	1,04	1,65	3,15	3,89
0,2	5,91	10,92	3,93	0,61	2,20	3,50	6,67	8,23
0,3	9,45	17,46	6,29	0,98	3,51	5,59	10,66	13,16
0,4	13,53	25,01	9,01	1,40	5,03	8,01	15,26	18,84
0,5	18,36	33,93	12,22	1,90	6,82	10,87	20,71	25,57
0,6	24,28	44,86	16,15	2,51	9,01	14,37	27,38	33,80
0,7	31,90	58,94	21,22	3,30	11,84	18,88	35,97	44,41
0,8	42,64	78,79	28,37	4,41	15,83	25,24	48,09	59,37
0,9	61,00	112,72	40,59	6,31	22,65	36,11	68,80	84,94

Таким чином, при сприятливих метеорологічних умовах, щоб досягнути ефективність пилопригнічення на рівні  $\eta = 0,9$  пилогазової хмари, загальним об'ємом  $V_0 = 3465752,304 \text{ м}^3$ , необхідно здійснити зрошення з вертольоту водою, об'ємом  $V_{\text{рідина}} = 61,00 \text{ м}^3$  (див. табл. 2.3).

Незважаючи на ефективність запропонованих методів пилопригнічення, їх застосування має певні недоліки та обмеження. Використання водяного зрошення потребує значних об'ємів води та додаткового обладнання для її подачі і розпилення. При несприятливих метеорологічних умовах, зокрема за сильного вітру або високої температури повітря, ефективність осадження пилу суттєво знижується.

Крім того, у попередні роки для оперативного контролю поширення пилогазової хмари та моніторингу стану атмосферного повітря під час проведення масових вибухів могли застосовуватись авіаційні засоби, зокрема вертольоти. Проте в сучасних умовах воєнного стану використання повітряного простору суттєво обмежене, тому застосування вертолітної техніки для екологічного моніторингу та спостереження за вибуховими роботами наразі практично не здійснюється.

Водночас комплексне застосування сучасних технологічних і технічних рішень залишається одним із найбільш ефективних способів зниження пилових викидів та мінімізації негативного впливу вибухових робіт на атмосферне повітря.

## **Висновок до розділу 2**

У другому розділі проведено дослідження параметрів пилогазових викидів, що утворюються під час проведення масових вибухів у залізорудних кар'єрах. Виконано розрахунок об'єму та висоти підйому пилогазових хмар, а також визначено кількість викидів пилу, оксидів

азоту та оксиду вуглецю при проведенні вибухових робіт. Отримані результати підтвердили, що масові вибухи є значним джерелом забруднення атмосферного повітря та створюють підвищене техногенне навантаження на прилеглі території.

У розділі також розглянуто сучасні технологічні та технічні рішення щодо зниження пилогазових викидів, зокрема використання водяного зрошення, внутрішньої та зовнішньої гідрозабійки свердловин, а також гуматових реагентів. Проведені розрахунки показали, що застосування зазначених заходів дозволяє суттєво зменшити концентрацію пилу та шкідливих газів у складі пилогазової хмари, що сприяє підвищенню рівня екологічної безпеки буропідривних робіт у кар'єрах.

### 3 ПОНЯТТЯ ПРО ВІДСТАНІ, ЯКІ БЕЗПЕЧНІ ЗА ДІЄЮ ОТРУЙНИХ ГАЗІВ ВИБУХУ

Відповідно до Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення (редакція від 16.02.2024) [35], затверджених наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 12.06.2013 № 355, за одночасного підривання зарядів викидання загальною масою більше ніж 200 т необхідно враховувати газову небезпеку вибуху та встановлювати безпечну відстань  $r_r$ , за межами якої вміст отруйних газів (у перерахунку на умовний оксид вуглецю) не може перевищувати граничнодопустиму концентрацію.

Безпечну відстань  $r_r$  за дією отруйних газів в умовах відсутності вітру або в напрямку, перпендикулярному поширенню вітру, під час підривання зарядів викидання, визначають за формулою [35]:

$$r_r = 160 \cdot \sqrt[3]{Q}, \text{ м} \quad (3.1)$$

де  $Q$  – сумарна маса зарядів вибуху, т.

У напрямку, протилежному поширенню вітру, радіус газонебезпечної зони необхідно приймати рівним  $r_r$ . У напрямку вітру радіус газонебезпечної зони  $r_r$  визначають за формулою [35]:

$$r_r = 160 \cdot \sqrt[3]{Q} \cdot (1 + 0,5V_B), \text{ м} \quad (3.2)$$

де  $V_B$  – швидкість вітру перед вибухом, м/с.

За даними [14]  $V_B = 5$  м/с.

Для підриву 290,4 тис. м<sup>3</sup> [33-34], або при прийнятій середній щільності 4 000 кг/м<sup>3</sup> – 1 161 600 000 т, сумарна маса зарядів вибуху становить 301,24 т. У разі використання такої кількості вибухової речовини одноразово, отримуємо:

- безпечна відстань  $r_T$  за дією отруйних газів в умовах відсутності вітру або в напрямку, перпендикулярному поширенню вітру, під час підривання зарядів викидання визначають за формулою (3.1):

$$r_T = 160 \cdot \sqrt[3]{301,24} = 1072,57 \text{ м,}$$

- у напрямку, протилежному поширенню вітру, радіус газонебезпечної зони необхідно приймати рівним  $r_T$  за формулою (3.2):

$$r_T = 160 \cdot \sqrt[3]{301,24} \cdot (1 + 0,5 \cdot 5,0) = 3753,98 \text{ м}$$

Але проведення масових вибухів із одночасним підриванням зарядів загальною масою понад 200 т на гірничо-збагачувальних комбінатах у сучасних умовах практично не застосовується. Як правило, вибухові роботи виконують поетапно, окремими блоками меншого масштабу протягом тижня, місяця чи більш тривалого періоду. У досліджуваній період максимальна маса зарядів вибуху за одне підривання становила 61,5 т, що не перевищує встановленого нормативного значення 200 т. Таким чином, необхідність визначення газонебезпечної зони та розрахунку безпечної відстані  $r_T$  відсутня [35].

Такий підхід забезпечує вимоги безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення, а також сприяє зменшенню негативного впливу пилогазових викидів на атмосферне повітря та прилеглі до кар'єру території.

### **Висновок до розділу 3**

У третьому розділі виконано визначення безпечних відстаней за дією отруйних газів, що утворюються під час проведення масових вибухів у кар'єрах гірничо-збагачувальних комбінатів, у разі здійснення потужних вибухів сумарною масою зарядів вибуху 301,24 т. Наразі не здійснюються одночасне підривання зарядів викидання загальною масою більше ніж 200 т. Такий підхід щодо проведення вибухів окремими блоками відповідає вимогам промислової та екологічної безпеки.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто проблему утворення і поширення пилогазових викидів під час проведення масових вибухів у залізорудних кар'єрах гірничо-збагачувальних комбінатів та обгрунтовані заходи з мінімізації впливу.

1. Встановлено, що найбільший вплив на інтенсивність пиловиділення мають маса вибухових речовин, фізико-механічні властивості гірських порід, параметри буровибухових робіт та метеорологічні умови.

2. Визначено, що при підриві окремих блоків в різний час, але продовж одного місяця, пилогазові хмари, об'ємом від 1,22 млн м<sup>3</sup> до 6,87 млн м<sup>3</sup>, можуть піднятися на висоту від 165,7 м до 191,7 м.

3. Визначено, що при відбитті  $V_{ГК} = 290,40$  млн м<sup>3</sup> руди та скельної гірничої маси шляхом проведення масових вибухів в кар'єрі за використання «Емоніту» як вибухової речовини, утворюються викиди 26 136 т пилу, 580,8 т оксиду азоту, 871,2 т оксиду вуглецю. Маса викидів забруднюючих речовин при проведенні масових вибухів з використанням водних розчинів реагенту торфогідроксидного у зовнішній гідрозабійці на кар'єрі в середньому за місяць складатиме: 12 937,32 т пилу, 185,86 т оксиду азоту, 313,63 т монооксиду вуглецю. Необхідний об'єм реагенту торфогідроксидного (РТГ) становить  $V_{РТГ} = 129\,946,717$  м<sup>3</sup>, а наближені витрати на закупівлю реагенту складуть 3,48 млн грн.

4. Визначено, що при сприятливих метеорологічних умовах, щоб досягнути ефективності пилопригнічення на рівні  $\eta = 0,9$  пилогазової хмари, загальним об'ємом  $V_0 = 3465752,304$  м<sup>3</sup>, необхідно здійснити зрошення з вертольоту водою, об'ємом  $V_{рідина} = 61,00$  м<sup>3</sup>. При цьому оптимальним діаметром крапель води можна вважати  $d_k$  від 1,0 мм до 1,5 мм, оскільки в цьому разі сумарний коефіцієнт захоплення

дрібнодисперсної буде максимальним.

5. При сумарній масі зарядів вибуху становить 301,24 т безпечна відстань  $r_f$  за дією отруйних газів в умовах відсутності вітру або в напрямку, перпендикулярному поширенню вітру, під час підривання зарядів викидання, становить 1 072,57 м, а у напрямку, протилежному поширенню вітру, радіус газонебезпечної зони необхідно приймати рівним 3 753,98 м. Але проведення масових вибухів із одночасним підриванням зарядів загальною масою понад 200 т на гірничо-збагачувальних комбінатах у сучасних умовах практично не застосовується, що сприяє досягненню вимог промислової та екологічної безпеки.

Отже, використанням водних розчинів реагенту торфогідроксидного у зовнішній гідрозабійці на кар'єрі при проведенні масових вибухів сприяє підвищенню рівня екологічної безпеки під час виконання вибухових робіт в умовах залізородного кар'єру. Але пошук і в подальшому заходів з мінімізації впливів є актуальним.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чиж А. А., Максимова Н. М. Огляд екологічних аспектів здійснення масових вибухів та заходів по зниженню викидів забруднюючих речовин. *Start in Science* : збірник тез і анотацій наукових доповідей студентської науково-технічної конференції, м. Одеса, 12 грудня 2025 р., Одеса, 2025. С. 295-299. URI: <https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/3204>
2. Sevelka T. Blasting Quarry Operations: Adverse And Cumulative Effects, Lawsuits And Complaints, And Suggested Remedies. *Journal of Environmental Law & Policy*. 2023. 03. 1-79. DOI: 10.33002/jelp03.01.01.
3. Skvarekova E., Tomaskova M., Zelenak S., Pacaiova H. Analysis of Environmental Risk Factors in Selected Mining Activities. *MM Sci. J.* 2023, 6501–6506. DOI : [10.17973/MMSJ.2023\\_06\\_2023027](https://doi.org/10.17973/MMSJ.2023_06_2023027)
4. Sekhar B. Ch., Sangaraju S., Bonthu K. Environmental Aspects of Iron ore Mining. *International Journal of Engineering Science & Research Technology*. 2014. 3. 63-73. [https://www.researchgate.net/publication/388568467 Environmental Aspects of Iron ore Mining](https://www.researchgate.net/publication/388568467_Environmental_Aspects_of_Iron_ore_Mining)
5. Ozcan O., Musaoglu N., Seker D. Environmental Impact Analysis Of Quarrying Activities Established On And Near River Bed By Using Remotely Sensed Data. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2011. 21. URL: [https://www.researchgate.net/publication/233728844 Environmental Impact Analysis Of Quarrying Activities Established On And Near River Bed By Using Remotely Sensed Data](https://www.researchgate.net/publication/233728844_Environmental_Impact_Analysis_Of_Quarrying_Activities_Established_On_And_Near_River_Bed_By_Using_Remotely_Sensed_Data) (дата звернення: 01.05.2026).
6. Al. Ramanathan K., Abdullah R. Effects of Quarry Blasting Towards the Residential Area at Kangkar Pulai, Johor, Malaysia. *Sains Malaysiana*. 2019. 48. 1583-1592. DOI: 10.17576/jsm-2019-4808-03.
7. Хоменко О.Є. Основи екологічної безпеки гірничих підприємств.

Дніпро : НГУ, 2020. 284 с.

8. Asif Z., Chen, Z.; Han, Y. Air Quality Modeling for Effective Environmental Management in the Mining Region. *J. Air Waste Manag. Assoc.*, 2018, 68, 1001–1014.

<https://doi.org/10.1080/10962247.2018.1463301>

9. Kharytonov M., Zberovsky A., Drizhenko A., Babiy A. Air Pollution Assessment Inside and Around Iron Ore Quarries. *Advances in Air Pollution Modeling for Environmental Security : Conference paper. NATO Science Series*, 2005. vol 54. Springer, Dordrecht. pp 263–274.

[https://doi.org/10.1007/1-4020-3351-6\\_24](https://doi.org/10.1007/1-4020-3351-6_24)

10. Adesida P., Oladayo O. Evaluating the Influence of Blast Design in Quarrying Operations on the Environment. *ABUAD Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2024. 2. 40-47. DOI: 10.53982/ajeas.2024.0202.07-j.

11. Novikov L., Ishchenko K., Ishchenko O., Ponomarenko I., Kryvenko Ye. Determination of the lifting height of particulate solids after detonation of borehole charge in an iron ore open pit. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2025. 1491. 012010. DOI: 10.1088/1755-1315/1491/1/012010.

12. Кузьменко О.М., Назаренко В.Г. Екологія гірничого виробництва. Київ : Наукова думка, 2019. 312 с.

13. Собко Б.Ю., Ложніков О.В., Чебанов М.О. Буропідривні роботи на кар'єрах : навч. посіб. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2021. 179 с.

14. Колесник В.Є., Юрченко А.А., Литвиненко А.А., Павличенко А.В. Способи і засоби підвищення екологічної безпеки масових вибухів в залізорудних кар'єрах за пиловим чинником. Дніпропетровськ : Літограф, 2014. 112 с.

15. Zhang J., Liu R., Wang H., He Yi, Chen J. Study on Airflow Field Distribution and Dust Distribution Characteristics at Blast Piles. *Applied Sciences*. 2024. 14. 11351. DOI: 10.3390/app142311351.

16. Cao Y., Jiao X, Liu R., Wang H., He Yi, Chen J., Lu X., Zhang H. Research on the Distribution and Escape Characteristics of Dust at the Blasting Pile in an Open-Pit Mining Area. *Geosciences*. 2025. 15. 238. DOI: 10.3390/geosciences15070238.

17. Srivastava N., Keshav K., Goel A., Raj B. Impact of quarrying operations on ambient air quality and vegetation. *Indian Journal of Environmental Protection*. 2010. 30. 604-612. URL: [https://www.researchgate.net/publication/288979107\\_Impact\\_of\\_quarrying\\_operations\\_on\\_ambient\\_air\\_quality\\_and\\_vegetation](https://www.researchgate.net/publication/288979107_Impact_of_quarrying_operations_on_ambient_air_quality_and_vegetation) (дата звернення: 01.05.2026).

18. Gaman A. N., Gheorghe Gh., Toth L., Kovacs M., Ilie C. Impact of the workflow from quarries on the surrounding environment case study. *5th jubilee Balkan Mining Congress : Conference*. Ohrid, Macedonia. 2013. URL: [https://www.researchgate.net/publication/267251650\\_Impact\\_of\\_the\\_workflow\\_from\\_quarries\\_on\\_the\\_surrounding\\_environment\\_case\\_study\\_-\\_SC\\_CUPRUMIN\\_SA\\_Abrud](https://www.researchgate.net/publication/267251650_Impact_of_the_workflow_from_quarries_on_the_surrounding_environment_case_study_-_SC_CUPRUMIN_SA_Abrud) (дата звернення: 01.05.2026).

19. Khomenko O., Kononenko M., Myronova I., Kovalenko I., Cáceres Cabana E., Dychkovskiy R. Technology for increasing the level of environmental safety of iron ore mines with use of emulsion explosives. *Mining Machines*. 2023. 41. 48-57. DOI: 10.32056/KOMAG2023.1.5.

20. Saka M., Hashim M. Preliminary Investigation of Dust Generation in Granite Quarry. *Journal of Physics: Conference Series*. 2024. 2907. 012002. DOI: 10.1088/1742-6596/2907/1/012002.

21. Babii K., Kurinnyi V., Harkysya I., Zhuravlov M., Bartashevskaya L. Research of processes that allow to find values of definitive parameters of the explosive substance. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2025. 1491. 012051. DOI: 10.1088/1755-1315/1491/1/012051.

22. Hamidun H., Mohamad E. Effects of Blast Design to the Environment in Limestone Quarry. *Journal of Mines, Metals and Fuels*. 2023. 467-475. DOI: 10.18311/jmmf/2022/32097.

23. Аерологія. Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньо-проф. програмами «Геоінженерія» спец. G16 «Гірництво та нафтогазові технології» та «Екоінженерія та природоохоронні технології» спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. О. Фролов, А. Л. Ган, О. В. Ган. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 58 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/fd25b887-97e1-4703-bf0c-d51241737a1c/content> (дата звернення: 01.05.2026).

24. Гурін А. О., Бересневич П. В., Немченко А. А., Ошмянський І. Б. Аерологія гірничих підприємств: підручник. Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2007. 462 с.

25. Левашова Ю. С., Косенко Н. О. Дрібнодисперсний пил у повітрі урбанізованих територій як загроза цивільній безпеці та сталому розвитку міст. Проблеми охорони праці в Україні, 2025. 41(1–2), С. 73–78. DOI: 10.36804/nndipbor.41-1-2.2025.73-78

26. Chen Zh., Du C., Wang J., Wang Yu. Influence of Recirculation Flow on the Dispersion Pattern of Blasting Dust in Deep Open-Pit Mines. *ACS Omega*. 2023. 8. DOI: 10.1021/acsomega.3c03528.

27. Звіт з оцінки впливу на довкілля «Видобування незміненого та порушеного вивітрюванням андезиту в якості сировини для виробництва щебеню для баластного шару залізничної колії та для виробництва каменю будового, відсіву від подрібнення андезитів придатні для благоустрою, рекультивації і планування території на Кам'яницькому родовищі відповідно до Спеціального дозволу на користування надрами №4527 від 06 грудня 2007 року» / філія «Центр управління промислового» Акціонерного товариства «Українська залізниця». Львів : ТзОВ «Компанія «Центр ЛТД», 2025. 587 с. URL: [https://luzh-rda.gov.ua/sites/default/files/inline/files/zvit\\_9838.pdf](https://luzh-rda.gov.ua/sites/default/files/inline/files/zvit_9838.pdf) (дата звернення: 05.04.2025).

28. Чумак В.С. Скорочення викидів забруднюючих речовин в умовах залізорудного кар'єру : кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістр за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища. Кам'янське : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 122 с. (на правах рукопису).

29. Методики розрахунку викидів забруднюючих речовин кар'єрів з врахуванням нестационарності технологічних процесів. Кривий Ріг, 1988.

30. Щокін В.П., Щокіна О.В. Застосування гуматового реагенту для пилопригнічення і дегазації при масових вибухах. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2021. № 1. С. 132–139. URL: <https://energy.kpi.ua/article/download/242194/240146/555576> (дата звернення: 26.05.2026).

31. Shchokin V., Pavlychenko A., Yezhov V., Kormer M. The environmental effectiveness of humate reagent in internal and external hydro-filling of quarries. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024. 128-134. DOI: 10.33271/nvngu/2024-3/128.

32. Щокін В. В. Відновлення довкілля Дніпропетровської області. Розробки НДІБПГ та НДГРІ: технологія зменшення викидів забруднюючих речовин при масових вибухах; результати експериментів з пилозакріплення на хвостосховищах, відвалах та укосах. Дніпро, 2023. URL: <https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2023/11/cleanair.org.ua-261023-ndgri-.pdf> (дата звернення: 26.05.2026).

33. Показники емісії (питомі викиди) забруднюючих речовин в атмосферне повітря при масових вибухах у Глеюватському кар'єрі ПРАТ «ЦГЗК». Кривий Ріг, 2024. (внутрішня документація).

34. Коригування календарних планів розвитку гірничих робіт кар'єру № 4 на 2023–2050 рр. та до кінця відпрацювання до проекту «Розкриття та розробка глибоких горизонтів кар'єру № 4 для підтримки виробничої потужності комбінату (II-а черга поглиблення)» : звіт з оцінки впливу на

довкілля / ПРАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» ; розробник ТОВ «Центр екології та розвитку нових технологій». Кривий Ріг, 2025. Реєстр № 14207.

35. Про затвердження Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 12.06.2013 № 355. Редакція від 16.02.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1127-13#top> (дата звернення: 25.05.2026).

## ДОДАТОК А. Публікація здобувача

1. Чиж А. А., Максимова Н. М. Огляд екологічних аспектів здійснення масових вибухів та заходів по зниженню викидів забруднюючих речовин. Start in Science : збірник тез і анотацій наукових доповідей студентської науково-технічної конференції, м. Одеса, 12 грудня 2025 р., Одеса, 2025. С. 295-299. URI: <https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/3204>.

Продовження дод. А



Продовження дод. А



## **Start in Science**

### **Студентська науково-технічна конференція**

**Збірник тез і анотацій наукових доповідей**

12 грудня 2025 року

**Одеса • 2025 • Олді+**



УДК 001.892(062.552)  
S81

**Організаційний комітет конференції:**

*Голова* – **Володимир КУХАР**, д.т.н., професор, проректор з науково-дослідної роботи.

*Секретар* – **Христина МАЛІЙ**, к.т.н., доцент, керівник науково-дослідного департаменту.

*Члени комітету:*

**Володимир ПАШИНСЬКИЙ**, д.т.н., доцент, завідувач кафедри матеріалознавства та прикладної механіки;

**Ігор БОЙКО**, к.т.н., доцент кафедри матеріалознавства та прикладної механіки;

**Едуард ГРИБКОВ**, д.т.н., професор, завідувач кафедри металургії та організації виробництва;

**Юрій ДОБРОНОСОВ**, к.т.н., доцент, доцент кафедри металургії та організації виробництва;

**Іван САХНО**, д.т.н., професор, завідувач кафедри гірничої справи;

**Діна МИХАЙЛОВА**, викладач кафедри гірничої справи;

**Олексій КОЙФМАН**, к.т.н., доцент, завідувач кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем;

**Юрій ШРАМКО**, к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем;

**Ірина СМІРНОВА**, к.е.н., доцент, завідувач кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень;

**Олена ЛАТИШЕВА**, к.е.н., доцент кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень;

**Олег КРУЖИЛКО**, д.т.н., професор, професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля;

**Марина ТАВРЕЛЬ**, старший викладач кафедри безпеки праці та охорони довкілля;

**Наталія КАЙДАН**, к.ф.-м.н., доцент, завідувач кафедри природничо-наукових та загальноінженерних дисциплін;

**Наталія ГРУДКІНА**, д.т.н., доцент, професор кафедри природничо-наукових та загальноінженерних дисциплін

**Start in Science: студентська науково-технічна конференція : збірник тез і анотацій наукових доповідей.** – Одеса : Олді+, 2025. – 350 с.

ISBN 978-617-8559-69-4

До збірника увійшли матеріали, у яких обговорюються перспективні науково-технічні розробки молодих науковців прикладного характеру.

**УДК 001.892(062.552)**

ISBN 978-617-8559-69-4

© ТОВ «ТУ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025

## START IN SCIENCE

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ ІЗ ЗАМКНЕНИМ ЦИКЛОМ ВОДОПОСТАЧАННЯ <i>Савенко К. Р., Накемпій О. К.</i> . . . . .	285
ПЕРСОНІФІКОВАНА ПРЕВЕНЦІЯ: НОВІТНІЙ ПІДХІД У ЗАПОБІГАННІ ПРОФЕСІЙНИМ ЗАХВОРЮВАННЯМ <i>Сердюк О. С., Шароватова О. П.</i> . . . . .	289
ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПРЕСОРНИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ <i>Халепа Ю. В., Цимбал Б. М.</i> . . . . .	292
ОГЛЯД ЕКОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ЗДІЙСНЕННЯ МАСОВИХ ВИБУХІВ ТА ЗАХОДІВ ПО ЗНИЖЕННЮ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН <i>Чиж А. А., Максимова Н. М.</i> . . . . .	295
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕРГОНОМІЧНИХ АСПЕКТІВ ПРОЄКТУВАННЯ РОБОЧИХ МІСЦЬ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ <i>Чуприна Н. А., Цимбал Б. М.</i> . . . . .	299
МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛЕЙ РОЗСІЮВАННЯ <i>Шапошникова К. С., Каракай М. С., Чеберячко Ю. І.</i> . . . . .	302
ПСИХОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРАЦІВНИКІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ <i>Штукіна В. В., Цимбал Б. М.</i> . . . . .	306

**СЕКЦІЯ ПРИРОДНИЧО-НАУКОВИХ  
ТА ЗАГАЛЬНОІНЖЕНЕРНИХ ДИСЦИПЛІН**

METHOD OF EXPONENTIAL ESTIMATION OF ASINCHROMOUS MOTOR PARAMETERS <i>Horb I. O., Dmytryshyn I. S.</i> . . . . .	309
ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ РОЗВИТКУ ЛОГІЧНОГО МИСЛЕННЯ <i>Дряглін О. О., Величко В. Є.</i> . . . . .	312
ВИКОРИСТАННЯ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ PYTHON ДЛЯ РОБОТИ З ЧИСЛОВИМИ РЯДАМИ <i>Кайдан Є. В.</i> . . . . .	316
МАТЕМАТИЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПРИКЛАДІ ДИНАМІКИ СТУДЕНТСЬКОЇ ЧИСЕЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ <i>Колесников Д. О., Грудкіна Н. С.</i> . . . . .	318
ІНТЕРАКТИВНА АНАЛІТИКА В EXCEL: ПРАКТИЧНІ НАВИЧКИ СТУДЕНТІВ У ДИСЦИПЛІНІ «ПРОДУКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ОФІСНИХ СИСТЕМ» <i>Овдієнко М. Є., Кайдан Н. В.</i> . . . . .	321

**ОГЛЯД ЕКОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ЗДІЙСНЕННЯ  
МАСОВИХ ВИБУХІВ ТА ЗАХОДІВ ПО ЗНИЖЕННЮ ВИКИДІВ  
ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН**

**Чиж А. А.**

*студентка гр. ТЗ-22-16*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

**Максимова Н. М.**

*к.т.н., доцент, доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля,  
науковий керівник*

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»*

*м. Запоріжжя, Україна*

Добуток залізної руди відкритим способом передбачає проведення масових вибухів, вплив яких на довкілля є суттєвим і повинен розглядатись комплексно.

Всі суб'єкти господарювання, які ведуть вибухові роботи на денній поверхні, повинні дотримуватись Технічних правил ведення вибухових робіт на денній поверхні, затверджених наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 18.07.2013 № 469 [1]. Ці Технічні правила встановлюють основні технічні вимоги безпечного ведення вибухових робіт на об'єктах, розташованих на денній поверхні [1]. Вимоги цих Технічних правил є обов'язковими для виконання суб'єктами господарювання, які займаються проведенням вибухових робіт на об'єктах, розташованих на денній поверхні, а також проєктних організацій і тих, які організують і контролюють роботу з промислової безпеки та охорони праці [1]. При цьому вживається термін «денна поверхня» в наступному значенні: поверхня землі, на якій та з якої проводяться вибухові роботи з використанням енергії вибуху, які пов'язані з видобуванням корисних копалин відкритим способом, у будівництві, при проведенні робіт з подрібнення бетонних і залізобетонних конструкцій, у разі обвалення будівель, споруд і комунікацій, у тому числі на свою основу, при руйнуванні емностей

гідропідриванням, при руйнуванні металоконструкцій, при зварюванні вибухом, при штампуванні вибухом, у разі подрібнення криги на водоймах, при корчуванні пнів і звалюванні дерев, під час застосування вибухового плантажу, при підводних роботах, при роботах у глибоких свердловинах тощо [1].

Дослідженню екологічних проблем, що виникають, та їх попередженню за рахунок впровадження природоохоронних заходів присвячено багато робіт як вітчизняних, так і закордонних науковців та практиків [2–5].

Під час масових вибухів у кар'єрах зародження і формування пилогазової хмари являє собою високоенергетичний, складний і швидкоплинний процес, який умовно можна поділити на три етапи [2]:

- перший етап тривалістю до 180 мс з моменту початку процесу детонації, під час якого в атмосферу надходять сипкі речовини забійок, що виштовхуються зі свердловин високим тиском, і частково продукти детонації вибухових речовин, що фільтруються через пористий матеріал забойки;

- другий етап зародження і формування пилогазової хмари тривалістю від 180 до 800 мс, що настає після розлому гірничого масиву та характеризується інтенсивним виходом в атмосферу газоподібних продуктів детонації та вибуху, а також пилу по всій межі роздробленого масиву. Відбувається найбільш інтенсивний розвиток пилогазової хмари за рахунок його підживлення з осередку вибуху;

- третій етап тривалістю від 800 мс до 30 с характеризується початком самостійної теплової еволюції хмари вибуху, її гальмування і розсіювання в атмосфері.

Найважливішими параметрами пилогазової хмари є висота підйому від поверхні землі та дальність її поширення в приземному шарі атмосфери, оскільки вони визначають ступінь забруднення довкілля викинутими в атмосферу продуктами вибуху.

Буропідривні роботи на гірничих підприємствах ведуться із застосуванням вибухових речовин. Сучасний етап розвитку вибухової справи характеризується заміною дорогих і небезпечних

---

СЕКЦІЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ

---

в обігу тротиловмісних дрібнодисперсних вибухових речовин на вибухові речовини: гранульовані, водовмісні, емульсійні та суспензійні суміші типу «окислювач-пальне» на основі нітрату амонію [3–4].

Залишки продуктів детонації, що виходять зі свердловини, мають високу початкову швидкість руху (динамічний фактор) і температуру, що перевищує температуру навколишнього середовища (тепловий фактор).

Початкова швидкість і температура залишків продуктів вибуху формують пилогазову хмару певної висоти. Час дії динамічного фактора обчислюється частками секунди, а теплового – хвилинами.

Приблизно через 1 хвилину пилогазова хмара починає втрачати свої чіткі обриси і за кілька хвилин швидкість розвитку стає мінімальною і відповідає швидкості вітру на поверхні кар'єра.

Основні небезпечні домішки, які виділяються під час виконання масових вибухів, – це пил та небезпечні гази. Небезпечні домішки виділяються в атмосферу кар'єрів у вигляді пилогазової хмари. Частина небезпечних газів (близько третини) залишається в гірничій масі і потім виділяється до атмосфери, забруднюючи район підірваного блоку та прилеглі до нього ділянки. Пил, який виділився, випадаючи з пилогазової хмари, осідає на уступах, біля кар'єрних майданчиків, та в прилеглих населених пунктах, являючись в подальшому джерелом пиловиділення.

Аналіз джерел [2, 4] щодо параметрів пилогазової хмари (її висоти та радіусу розповсюдження) виявляє значні розбіжності в оцінках науковців. Зокрема, в роботах Колесника В. Є. та Юрченко А. А. відзначено наступне: під час масштабних вибухів хмара може підніматися до 1,6 км, а її поширення сягає 8–12 км і більше. При цьому крупні частинки пилу осідають вже через 1–2 хв після детонації, тоді як гази та дрібнодисперсний пил, залежно від швидкості вітру, можуть переноситися на значно більші відстані від 2–3 км і далі від епіцентру.

Наразі поширення набули наступні технологічні заходи, спрямовані на зниження забруднення атмосфери кар'єрів:

використання емульсійних безтритилових вибухівок, які за своїми властивостями не вносять суттєвих змін до обсягу викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря; зволоження забійки водою; зрошування підірваної гірничої маси в екскаваторних забоях та на перевантажувальних майданчиках і дегазація блоків після вибуху поливо-зрошувальною технікою. Наприклад, поширення набуває застосування гуматового реагенту, який показав добру ефективність з пилопригнічення і дегазації при проведенні масових вибухів у кар'єрі гірничозбагачувального комбінату [5].

Для розгляду в подальшому питань пилопригнічення пилогазової хмари, зокрема за рахунок зрошення, або для прогнозування розсіювання пилу під дією вітру, важливо знати дисперсний розподіл частинок пилу по висоті хмари. Тому необхідно оцінити висоту підйому частинок різного розміру під дією теплового фактору, що потребує подальших аналітичних досліджень.

#### Перелік використаних джерел

1. Про затвердження Технічних правил ведення вибухових робіт на денній поверхні : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 18.07.2013 № 469. *Верховна Рада України* : офіційний вебсайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1320-13#top> (дата звернення: 04.11.2025).
2. Юрченко А. А. Підвищення екологічної безпеки масових вибухів в залізрудних кар'єрах за пиловим чинником : Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01. ДВНЗ «Нац. гірничий ун-т». Дніпропетровськ, 2012. 19 с. URI: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/198> (дата звернення: 04.11.2025).
3. Тверда О. Я. Науково-теоретичні основи екологічної безпеки гірничопромислових комплексів з виробництва щебеню західного регіону України : дис. ... д-р. техн. наук : 21.06.01. Сумський державний університет. Суми, 2018. 365 с. URI: <https://essuir.sumdu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/dd3ba1cf-1d00-4689-8be4-b2a14958b747/content> (дата звернення: 04.11.2025).
4. Бойко В. В., Ган А. Л., Ган О. В. Спеціальні вибухові технології в геоінженерії : монографія / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 316 с.

5. Щокін В. П., Щокіна О. В. Застосування гуматового реагенту для пилопригнічення і дегазації при масових вибухах. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2021. № 1. С. 132–136. URI: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/61c85094-cf68-4ba0-96e2-f9db2b1d268f/content> (дата звернення: 04.11.2025).

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕРГОНОМІЧНИХ АСПЕКТІВ ПРОЄКТУВАННЯ РОБОЧИХ МІСЦЬ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ**

**Чуприна Н. А.**

*здобувач вищої освіти гр. ОПс-23(22)*

*Національний університет цивільного захисту України  
м. Черкаси, Україна*

**Цимбал Б. М.**

*д.н.держ.упр., доцент, професор кафедри підвищення кваліфікації  
та спеціалізованої підготовки у сфері цивільного захисту,  
науковий керівник*

*Національний університет цивільного захисту України  
м. Черкаси, Україна*

Ергономічне проектування робочих місць є ключовим аспектом забезпечення безпеки праці та зниження професійних ризиків. Правильна організація робочого середовища, яка враховує антропометричні, фізіологічні та психологічні особливості працівників, дозволяє зменшити статичні та динамічні навантаження на опорно-руховий апарат, знизити рівень стресу та підвищити загальне самопочуття працівників.

Оптимізація робочих місць включає корекцію висоти робочих столів та стільців, правильне розташування обладнання та інструментів, а також забезпечення зручного доступу до робочих зон. Такий підхід сприяє зменшенню ризику розвитку м'язово-скелетних розладів, покращує фізичний комфорт та сприяє

## ДОДАТОК Б. Декларація про розкриття факту делегування завдань генеративному ШІ

Розкриття факту делегування завдань генеративному ШІ

Автор заявляє про використання генеративного ШІ у процесі дослідження та підготовки рукопису. Відповідно до таксономії GAIDeT (2025), наведені нижче завдання були делеговані інструментам генеративного ШІ за повного людського нагляду:

- Генерування ідей
- Пошук і систематизація літератури
- Переклад
- Реформатування
- Графічні зображення

Використаний інструмент генеративного ШІ: ChatGPT-5.

Повну відповідальність за фінальний рукопис несуть автори.

Інструменти генеративного ШІ не зазначаються як автори та не несуть відповідальності за кінцеві результати.

Декларацію подала: Анна Чиж

Додаткова примітка: Я використала ChatGPT-5 для допомоги у синтезі літератури, її перекладі та реформатування тексту, а також для створення графічних зображень.