

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра геології та екології

«Допускається до захисту»

В.о. завідувачки кафедрою,
канд.техн.наук

_____С.М.Панова

«___»_____2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА
МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

на тему: : «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ПО ЗМЕНШЕННЮ ПИЛО-
ГАЗОВИХ ВИКИДІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ БУРО-ВИБУХОВИХ РОБІТ»

Магістрант:

гр.ЗЕО-22м , Борисова І.В.

Керівник:

канд.техн.наук, доцент

Панова С.М.

Кривий Ріг

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Криворізький національний університет

Кафедра геології та екології

Заочна форма навчання

Другий (магістерський) рівень

Спеціальність 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

«Допускається до захисту»

В.о. завідувачки кафедрою,
канд.техн.наук

_____ С.М.Панова

«___» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Борисова І.В.

Тема роботи: «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ПО ЗМЕНШЕННЮ ПИЛО-ГАЗОВИХ ВИКИДІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ БУРО-ВИБУХОВИХ РОБІТ»

Керівник роботи канд.техн.наук,доцент Панова С.М.

затверджені

наказом Криворізького національного університету від 01.02.2023р. № 77с

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір матеріалу	01.02.2023	
2.	Аналіз умов утворення викидів оксидів азоту та способів їх зниження при проведенні вибухових робіт в кар ері	05.03.2023	
3	Аналіз існуючої моделі утримання продуктів вибуху в зарядній площині за допомогою застосування свердловинної забійки	2.09.2023	
4	Моделювання випробування розроблених рекомендацій	16.12.2023	

Засвідчую, що у магістерській роботі запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань не використовуються.

Здобувач _____ І.В.Борисова

Керівник роботи _____ С.М. Панова

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота: 67 сторінок, таблиці, рис
19 літературних джерел.

Мета даної роботи: ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ПО
ЗМЕНШЕННЮ ПИЛО-ГАЗОВИХ ВИКИДІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ БУРО-ВИБУХОВИХ
РОБІТ.

Для реалізації поставленої мети потрібно вирішити наступні *завдання*: -

- оцінити механізм утворення отруйних газів при масових вибухах в кар'єрі

- надати пропозиції зниження концентрації оксидів азоту при проведенні масових вибухів в кар'єрі

Предмет дослідження: проведення буро-вибухових робіт.

Об'єкт дослідження: кар'єр ІнГЗК .

У першому розділі розглянуті процеси виникнення та виділення оксидів азоту при проведенні масового вибуху

У другому розділі обґрунтовані можливості застосування високоактивних каталізаторів в складі профільованої забійки

Третій розділ присвячений дослідженню впливу застосування високоактивних каталізаторів на зниження викидів оксиду азоту в продуктах вибуху

Четвертий розділ моделювання випробування розроблених рекомендацій
ПИЛО-ГАЗОВІ ВИКИДИ, БУРО-ВИБУХОВІ РОБОТИ , ОКСИД АЗОТУ,
ОЦІНКА ВИКИДІВ

ЗМІСТ

Вступ

РОЗДІЛ 1. Аналіз умов утворення викидів оксидів азоту та способів їх зниження при проведенні вибухових робіт в кар'єрі

1.1. Механізм утворення отруйних газів при масових вибухах в кар'єрі

1.2. Процеси виникнення та виділення оксидів азоту при проведенні масового вибуху

1.3. Аналіз сучасних способів зниження викидів оксиду азоту при масових вибухах

РОЗДІЛ 2. Обґрунтування можливості застосування високоактивних каталізаторів в складі профільованої забійки

2.1. Аналіз існуючої моделі утримання продуктів вибуху в зарядній площині за допомогою застосування свердловинної забійки

2.2. Розрахунки відповідності температури і часу розкладання каталізаторів температурі продуктів вибуху і часу їх затримки в зарядній площині

РОЗДІЛ 3. Дослідження впливу застосування високоактивних каталізаторів на зниження викидів оксиду азоту в продуктах вибуху

3.1. Методика проведення лабораторних досліджень по визначенню концентрації оксидів азоту в продуктах вибуху

3.2. Експериментальні дослідження зміни концентрації оксидів азоту в продуктах вибуху в залежності від типу каталізатора

3.3. Дослідження основних закономірностей зміни концентрації оксидів азоту в продуктах вибуху від дисперсності каталізатора

3.4. Оцінка впливу концентрації каталізатора на вміст оксидів азоту в продуктах вибуху

3.5. Оцінка викидів оксидів азоту при детонації вибухової речовини

РОЗДІЛ 4. Моделювання випробування розроблених рекомендацій по вибору дисперсності і концентрації високоактивного каталізатора в складі профільованої забійки, що забезпечує зниження викидів оксидів азоту, в умовах ПРАТ «ІНГЗК»

4.1. Гірничо-геологічна характеристика родовища ПРАТ «ІНГЗК»

4.2. Методика проведення виробничих досліджень

4.3. Очікуванні результати оцінки зниження концентрації оксидів азоту при проведенні масових вибухів в кар'єрі

ВИСНОВКИ

Список використаних джерел

ВСТУП

На території України розміщено 20% світових запасів залізної руди. По залежам залізорудної сировини Україна займає перше місце в світі, а по обсягам виробництва сьоме.

Підприємства України експортують весь спектр залізорудної сировини: залізну руду кускову та мілку, залізорудний концентрат, окатиші, агломерати та ін. Виробничі потужності, які мають підприємства, дозволяють не тільки забезпечити сировиною вітчизняні металургійні заводи, а й експортувати значну частину продукції. До початку повномасштабного вторгнення російської федерації на територію України на експорт відправлялося приблизно 23 млн. тоН руди.

За статистикою багатство підземних запасів південного сходу України забезпечить безперервну роботу місцевих шахт більш ніж на 100 років.

В Україні відомі більше 80 родовищ. Основні запаси (70%) знаходяться на у Криворізькому залізорудному басейні. Промислові запаси залізних руд Криворізького басейну складають 16 млрд. тон. Тут є і багаті і бідні руди. Багаті руди можна без збагачення використовувати в металургії. Вміст заліза в багатих рудах в середньому складає 57,6%, однак розробка лише багатих руд не забезпечує потреби металургії, тому ведеться розробка бідних руд – залізистих кварцитів. Ці руди нескладно збагатити, процеси збагачення здійснюються на п'яти гірничо-збагачувальних комбінатах міста: Південному, Новокриворізькому (НКГЗК АрселорМіттал), Центральному, Північному та Інгuleцькому.

Криворізький регіон забезпечує 90% потреб металургійних підприємств України. Щорічно у Кривому Розі видобувають більш ніж 8 млн. тон залізної руди.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ УМОВ УТВОРЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДУ АЗОТУ ТА СПОСОБІВ ЇХ СНИЖЕННЯ ПРИ ВИБУХОВИХ РОБОТАХ В КАР'ЄРІ.

При розробці родовищ відкритим способом основним джерелом, яке негативно впливає на навколишнє середовище є технологічні процеси видобувних робіт пов'язані з проведенням масових вибухів в кар'єрі. З проведенням підричних робіт в атмосферу разом з продуктами вибуху викидається велика кількість шкідливих речовин, що містять отруйні гази та дрібнодисперсний пил. Найбільш отруйними газами є: оксид вуглецю CO_2 та CO , сірчаний ангідрид SO_2 та оксиди азоту NO , NO_2 , N_2O_5 . Оксиди азоту є найбільш небезпечними. Основну небезпеку являє діоксид азоту NO_2 .

1. МЕХАНІЗМ УТВОРЕННЯ ОТРУЙНИХ ГАЗІВ ПРИ МАСОВИХ ВИБУХАХ В КАР'ЄРІ.

Уявлення про утворення отруйних газів детально розглядалися багатьма вченими. В результаті проведення досліджень досягнуто уявлення про механізм утворення отруйних газів в продуктах вибуху. Великий вклад в науку в цій галузі внесли як вітчизняні так і зарубіжні вчені. Наприклад, Глазкова А.П. в своїх працях стверджувала, що солі лужних металів сприяють зниженню викидів оксиду азоту та оксидів вуглецю при очищенні газів в металургії.

Вплив вибуху являє собою доволі складний процес, тривалість якого можна виразити долею секунди в гірничому масиві, хвилинами при розсіюванні та розповсюдженні пилогазової хмари, а також невизначеним проміжком часу нанесення шкоди земельним ресурсам, атмосфері, гідросфері та територіям населеного пункту в результаті розсіювання продуктів вибуху та їх осадження. Пилогазова хмара, що утворюється в результаті проведення масових вибухів, а також швидкість осадження отруйних газів та часток пилу, яка на пряму залежить від зносу пилової хмари, впливає на рівень забруднення повітря робочої зони кар'єру та прилеглих територій. Підвищення безпеки ведення підричних робіт, а також ефективності ведення підричних робіт передбачає не тільки руйнування

гірничої маси у відповідності до вимог технологій, але і забезпечення зниження негативного впливу підливних робіт.

Загальна кількість отруйних газоподібних продуктів, що виділяються при вибуху промислових підливних речовин, складає не більше 10% від загального об'єму газів, що відповідає 100л на кожен кілограм промислової підливної речовини.

На теперішній час відомі десять з'єднань кисню з азотом. При вибуху промислових підливних речовин основними оксидами є: монооксид азоту NO, діоксид азоту NO₂, а також азотний ангідрид N₂O₅. Характеристики цих речовин наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Основні характеристики речовин

Речовина/ Властивість	Структурна формула	Емпірична формула	Молекулярна маса, г/моль	Щільність, дм ³	Температура плавлення, °C	Температура кипіння, °C
Монооксид азоту	N-O	NO	30.01	1.3402	-163.7	-151.8
Діоксид азоту	O-N-O	NO ₂	46.01	1.491	-11.2	-20.7
Азотний ангідрид	O ₂ N-O-NO ₂	N ₂ O ₅	108.01	1.642	+41	+47

Монооксид азоту – це безбарвний газ, що не має запаху. Малорозчинний у воді, при контакті з киснем окислюється до діоксиду азоту. У повітрі має агрегатний стан – пару. Гранично допустима концентрація NO в повітрі робочої зони кар'єру складає не більше 5,0 мг/м³. Оксид азоту відповідає 3 класу небезпеки газів.

Діоксид азоту – це отруйний газ червоно-бурого кольору з неприємним та різким запахом. Добре розчинний у воді, у повітрі має агрегатний стан – пару.

Гранично допустима концентрація NO_2 у повітрі робочої зони кар'єру складає не більше $2,0 \text{ мг/м}^3$. Діоксид азоту відповідає 3 класу небезпеки газів.

Азотний ангідрид – це безбарвні, дуже леткі кристали. Є потужним окислювачем, розчиняється у воді з утворенням азотної кислоти. N_2O_5 дуже нестійка, токсична сполука. При розкладанні виділяється отруйний діоксид азоту. Азотний ангідрид відповідає 3 класу небезпеки газів.

Основною причиною утворення оксидів азоту при вибуху зарядів промислових підривних речовин є надлишок кисню у хімічного складі підривної речовини. На рисунку 1.1 зображені основні групи промислових підривних речовин по вмісту кисню.



Рисунок 1.1. Розділення промислових підривних речовин за вмістом кисню.

Промислові підривні речовини діляться на два типи та являють собою суміш із речовин з високим вмістом кисню: добавки, окислювачі, сенсibilізатори та ін. Кисневим балансом є надлишок або нестача кисню у підривній речовині, необхідних для повного окислення всіх горючих елементів до вищих оксидів.

При кисневому балансі, який приблизно дорівнює нулю, підривна речовина вважається збалансованою. Відсотковий вміст кисню в складі промислової підривної речовини визначає характер протікання реакцій вибухового перетворення і склад продуктів вибуху. Також кисневий баланс впливає на значення термодинамічних характеристик підривної речовини: температура вибуху, об'єм газоподібних продуктів вибуху, тиск та ін.

При вибуху будь-якої промислової підривної речовини утворюються отруйні гази у великих та малих кількостях. За даними досліджень кількість отруйних газів багато в чому залежить від детонаційної здатності, хімічного складу підривної речовини та інших факторів, які визначають повноту хімічної реакції при вибуху.

У зв'язку з великим впливом кисневого балансу на утворення отруйних газів, на практиці застосовують підривні речовини з нульовим кисневим балансом. Однак, підривні речовини з низьким вмістом кисню, якого недостатньо для повного окислення всіх компонентів також утворюють окиси вуглецю та окиси азоту при веденні підривних робіт. За даними досліджень при випробуванні зарядів Амоніту 6ЖВ в патронах діаметром 32-36мм, при вибуху утворюється приблизно 30 л/кг окису вуглецю та 5 л/кг оксидів азоту. Окис вуглецю утворюється при розкладанні тротилу та нітроз'єднань, а окиси азоту першочергово утворюються при вибуховому розкладанні селітри, не встигають повністю вступити в реакцію між собою з утворенням нетоксичного окису вуглецю внаслідок швидкого охолодження продуктів вибуху.

Виходячи з вищесказаного, можна стверджувати, що утворення отруйних газів в продуктах вибуху прямо пов'язане із якістю виготовлення підривних речовин, та дисперсності підривної речовини, що впливають на повноту хімічної реакції при вибуху.

1.1. ПРОЦЕСИ ВИНИКНЕННЯ ТА ВИДІЛЕННЯ ОКСИДІВ АЗОТУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ МАСОВОГО ВИБУХУ.

Різноманіття фізико-механічних властивостей гірничих порід, гідрогеологічних умов та вимог до підготовки гірничої маси до вибуху обумовлює

застосування промислових підривних речовин з широким діапазоном вибухових характеристик. Вибух являє собою один з видів фізичного або хімічного перетворення речовин. Тобто вибух – це явище вкрай швидкого переходу речовин з одного стану в інший, що супроводжується швидким перетворенням його потенційної енергії в механічну роботу.

В більш вузькому розумінні вибух являє собою процес надзвичайно швидкого хімічного перетворення речовини, що супроводжується виділенням тепла та утворенням газів.

Хімічна реакція, що відбувається під час вибуху визначається трьома наступними умовами:

1. Екзотермічністю хімічної реакції;
2. Наявністю газоподібних продуктів реакції;
3. Швидкістю хімічної реакції.

Ці умови у поєднанні визначають не тільки можливість саморозповсюдження хімічної реакції у формі вибуху, але і його механічну дію.

Виділення тепла є першою необхідною умовою, без якої виникнення підривного процесу взагалі неможливе. Тепло хімічної реакції при вибуху є джерелом енергії.

При швидкому горінні підривної речовини під відносно невеликим тиском відбувається доволі розпад молекул речовин, а продукти розпаду складаються головним чином з: CO_2 , CO , N , C , H_2O , H_2 , N_2 , O_2 , O , NO . В умовах детонації склад продуктів перетворення кількісно та якісно відрізняється від складу продуктів горіння тієї самої підривної речовини. Це пояснюється тим, що під впливом високих тисків відбувається зміщення рівноваги між продуктами реакції в напрямленні зменшення об'єму, тобто у бік розвитку процесів асоціації молекул та часткового утворення вільного вуглецю ($2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$). Із збільшенням щільності заряду ці процеси отримують більш сильний розвиток, внаслідок чого продукти детонації збагачуються CO_2 та CO .

Отруйні гази можна поділити на дві категорії:

1. В момент вибуху основний об'єм отруйних газів викидається безпосередньо в атмосферу, взаємодіючи з повітрям;
2. Деяка частина продуктів вибуху та отруйних газів адсорбується підірваною породою.

Основну та масову шкоду наносять отруйні гази, які відносяться до першої групи. Однак небезпека виділення отруйних газів, поглинутих породою також дуже велика. Підірвана гірнича маса здатна виділяти деяку кількість газів в процесі транспортування, збереження та переробки.

Експериментально доведено, що властивості гірничих порід, такі як обводненість та тріщинуватість, впливають на кількість виділення отруйних газів. В таблиці 1.2. вказана кількість виділених оксидів азоту та окису вуглецю в розрахунку на 1 кг підірваної вибухової речовини в ґрунтах різної міцності.

Таблиця 1.2. Кількість оксидів азоту та окису вуглецю при вибуху.

Групи ґрунтів	Стан ґрунтів	Кількість окису вуглецю, л/кг	Кількість оксиду азоту, л/кг
5	Обводнені	10,5	5,0
5	Сухі	7,0	5,5
6	Сухі	19,0	1,5
7	Сухі	30,0	1,5
8..9	Сильно сухі тріщинуваті	20,5	4,5
8..9	Сухі тріщинуваті	34,0	1,2
9	Обводнені	33,5	2,0
Примітка: 1. Для ґрунтів інших груп міцності і обводненості кількість виділених оксиду азоту та окису вуглецю може бути визначено методом інтерполяції. 2. Кількість отруйних газів наведено для підірваних речовин з близьким до нульового кисневим балансом.			

Як видно з таблиці 1.2 при вибуху 1 кг підірвної речовини кількість виділених оксидів азоту в середньому складає 3л. Виходячи з цих даних, можна стверджувати, що при проведенні масового вибуху в кар'єрі в середньому

виділяється приблизно 135000 літрів оксиду азоту. Небезпеку продуктів вибуху, які містять таку кількість оксидів азоту складно переоцінити.

При вивченні виділених отруйних газів на рудниках Кривого Рогу із застосуванням амоніту №6ЖВ та водотривкого динафталіту, метою було встановити залежність між складом та кількістю отруйних газів, умовами проведення вибухів, матеріалом оболонки та фізико-механічними властивостями підірваних порід. Отримані результати дозволили зробити наступні висновки:

1. Склад і кількість отруйних газів залежить головним чином від фізико-механічних властивостей підірваних порід.
2. При підриванні відкритих скупчених зарядів утворюється в перерахунку на СО 36,5л газів на 1кг підривної речовини.
3. При підриванні заряду вибухової речовини в шпурі або свердловині приблизно 67% виділеного СО утворюється за рахунок окислення оболонки патронів.
4. При підривній відбійці міцних гірничих порід утворюється більше окису вуглецю та менше оксидів азоту, ніж при підриванні сильно тріщинуватих порід.

При дослідженні десорбції отруйних газів із рудникового пилу було відібрано 24 зразка пилу, зібраної після вибуху. Визначено, що загальна десорбція NO_2 складає 0,0407мг/г та СО – 0,00486мг/г. Також встановлено, що вміст NO_2 та пилу значно зменшується при підриванні зарядів з водною забивкою.

За належного ініціювання заряди сумішей АС-ДТ з нульовим кисневим балансом виділяється значна кількість оксидів азоту. При відсутності добавок води вони коливаються від $8,8 \cdot 10^{-4}$ до $29,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{кг}$, що в 20 разів більше, ніж для звичайних динамітів.

Дослідження сумішей АС-ДТ з позитивним кисневим балансом +7%, нульовим та негативним кисневим балансом -7% показали, що суміші з нульовим кисневим балансом дають результат в середньому 22л/кг СО та 6л/кг NO_2 . При кисневому балансі +7% обсяг NO_2 збільшується більш ніж вдвічі. Також вчені

довели, що NO_2 є найбільш небезпечним компонентом продуктів вибуху, тому що викиди NO_2 не зникають навіть при кисневому балансі -7%.

В сучасній гірничій промисловості при веденні вибухових робіт для руйнування гірничої породи найчастіше використовують емульсійні вибухові речовини. Перехід на використання цих підрильних речовин має забезпечити мінімальне утворення оксидів азоту, тому що склад емульсійних підрильних речовин розроблений таким чином, щоб кисневий баланс був приблизно рівний нулю.

Мінімальне виділення отруйних газів при використанні емульсійних підрильних речовин спостерігається тільки при їхньому збалансованому складі. Для уникнення утворення оксидів азоту та мінімізації вмісту окису вуглецю в складі продуктів вибуху, кисневий баланс емульсійних підрильних речовин повинен бути в межах від -0,2 до -2,0%.

Емульсійні підрильні речовини мають ряд корисних властивостей: мають високі підрильні характеристики, низьку чутливість до теплової та механічної дії, можливість зміни швидкості детонації в широких межах за рахунок технології виготовлення та компонентного складу. В таблиці 1.3 вказані теплота утворення і кисневий баланс деяких вибухових речовин, їх компонентів та продуктів вибуху.

Таблиця 1.3. Теплота утворення і кисневий баланс деяких ВР, їх компонентів та продуктів вибуху

Вибухова речовина	Хімічна формула	Атомна або молекулярна маса	Кисневий баланс, %	Теплота утворення, кДж/моль
1	2	3	4	5
Алюміній	Al	27	-89	-
Аміачна селітра	NH_4NO_3	80	+20	355
Борошно злаків	$\text{C}_{15}\text{H}_{25}\text{O}_{11}$	381	-132	-
Борошно деревне	$\text{C}_{15}\text{H}_{22}\text{O}_{10}$	362	-137	-

Вуглець аморфний	C	12	-266,7	-
Вода пароподібна	H ₂ O	18	-	242
Вуглекислий газ	CO ₂	44	-	395
Гексоген	C ₃ H ₆ N ₆ O ₆	222	-21,6	-
Гримуча ртуть	HgC ₂ O ₂ N ₂	284	-11,3	-
Дінітронафталін	C ₁₀ H ₆ N ₂ O ₄	218	-139,4	-
Калієва селітра	KNO ₃	101	+39,6	486
Калію хлорат	KClO ₃	122,5	+39,2	390
Калію перхлорат	KClO ₄	138,5	+46,2	438
Керосин	-	-	-343	-
Клітковина	C ₆ H ₁₀ O ₅	162	-118,5	965
Магній	Mg	23,4	-65,8	-
Натрієва селітра	NaNO ₃	85	+47	491
Натрію хлорат	NaCl	106,5	+45	350
Натрію перхлорат	NaClO ₄	122,5	+52,2	390
Нітрогліколь	C ₂ H ₄ N ₆ O ₆	152	0	-
Нітрогліцерин	C ₃ H ₅ N ₃ O ₉	22	+3,5	-
Нітрокліткорина:				
- коллодійна	C ₂₄ H ₃₁ N ₉ O ₃₈	1105,3	-38,7	2770
- піроксилін	C ₂₄ H ₂₉ N ₁₁ O ₄₂	1143	-28,6	2390
Окис алюмінію	Al ₂ O ₃	102	-	411
Окис кальцію	CaO	56	-	645
Окис азоту	NO	30	-	-90,5
Окис вуглецю	CO	28	-	114
Октоген	C ₄ H ₈ N ₈ O ₃	296	-21,6	-
Парафін	C ₂₄ H ₅₀	338,3	-346	-

(твердий)				
Папір (оболонка)	-	-	-130	-
Пікринова кислота	$C_6H_3N_3O_8$	229	-45,4	-
Тетранітрометан	CN_4O_8	196	+49	-
Тетрил	$C_7H_5N_5O_3$	287	-47,4	-
Тротил	$C_7H_5(NO_3)_2$	227	-74	-
Тен	$C_5H_8N_4O_{12}$	316	-10,1	-
Целюлоза	$C_6H_{10}O_5$	162	-	948

Погіршення підривних властивостей можливе при порушенні параметрів і технології виготовлення емульсійних вибухових речовин, а також при зниженні контролю з боку персоналу. В результаті не витримується збалансування співвідношення компонентів, не утворюється або передчасно втрачається структурна стійкість емульсійних вибухових речовин. Це тягне за собою переривання детонації по колонці заряду емульсійних вибухових речовин. Такі процеси відбуваються і при «затіканні» емульсійних вибухових речовин в тріщини та порожнини навколо свердловин, де немає умов для їх вибухового перетворення. Руйнування структури емульсійних вибухових речовин від передчасно ініційованих імпульсів і вплив свердловинного водного середовища, а також недостатня потужність проміжних детонаторів, сприяє погіршенню їх підривних властивостей та виділенню продуктів неповного окислення і вибухового перетворення рецептурних компонентів.

Таким чином, можна стверджувати, що за використання вибухових речовин при проведенні масових вибухів відбувається утворення оксидів азоту з їх подальшим викидом в атмосферу. На можливість утворення оксидів азоту в продуктах вибуху впливає величезна кількість зовнішніх та внутрішніх чинників.

1.2. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДУ АЗОТУ ПРИ МАСОВИХ ВИБУХАХ В КАР'ЄРІ.

Існуючи способи боротьби з викидами отруйних газів при веденні вибухових робіт ґрунтуються на їх нейтралізації різними розчинами, пілозв'язуючими домішками, пінами, однак в основному направлені на зниження викидів оксидів сірки та окису вуглецю. Способи боротьби з оксидами азоту розглядались дещо однобоко і більшість робіт пов'язані з очисткою газів в металургії та збагачені. Одним з найрозповсюдженіших способів боротьби з оксидами азоту є застосування гідрозабійки чи попередня поливка водою блоку, що підривається. Оксид азоту, вступаючи в реакцію з водою, утворює азотисту кислоту, яка осідає на поверхні. Однак цей спосіб недостатньо ефективний, хоча й не потребує особливих затрат.

Ще одним способом є застосування піногелевої. Принцип дії є ідентичним попередньому, піногелеві забійки виготовляють з 1,5-3,0% водних розчинів піногелеутворюючих речовин. Вміст рідини в піногелевій забойці визначає її властивості по зниженню викидів отруйних газів. Піногель разом з пілогазовими продуктами вибуху викидається в атмосферу у вигляді дрібних краплин та бульбашок, що є центрами нейтралізації отруйних газів. У порівнянні з гідрогелем та водою перевага піногелю в тому, що навіть при рівних результатах зниження концентрації шкідливих домішок, необхідна кількість компонентів для підготування забійки при п'ятикратному вспіненні, зменшується у стільки ж разів.

Наявність забійки в свердловині чи шпурі забезпечує завершення вторинних реакцій, тим самим зменшуючи кількість отруйних газів в продуктах вибуху. За отриманими даними угорського вченого І. Коти, за рахунок підвищення якості забійки шляхом заміни глини дрібним щебнем, при інших рівних умовах, в забої перерізом 10 м² вміст оксидів азоту в призабійному просторі знизилось у 8 разів, а окису вуглецю в 13,8 разів.

До технічних засобів зменшення початкових параметрів пілогазової хмари прийнято відносити: вибух високих уступів в стиснутому середовищі, підривання в свердловинах з повітряними проміжками, застосування активної забійки та направленою ініціювання вибухової речовини в свердловині. Ці способи в основному направлені на більш ефективне використання процесу детонації

вибухової речовини, і як наслідок, зменшення виходу із свердловини та воронки руйнування залишків продуктів детонації вибухової речовини.

Застосування активної забійки вимагає додаткових витрат вибухових речовин. Підривання високих уступів не знайшло широкого застосування, через відсутність відповідної навантажувальної та бурової техніки.

Підривання свердловин з повітряними проміжками скорочує кількість вибухової речовини, що розміщена в свердловині, зменшує радіус дії пластичної деформації та, як результат знижує пилогазовиділення в навколишнє середовище. Однак такий процес складно механізувати, крім того використання зарядів обмежене тріщинами в породі та високим рівнем обводнення свердловин.

Дослідження показали, що солі лужних металів, які вводяться у склад вибухових речовин, окрім того, що знижують температуру вибуху та виконують роль інгібіторів займання метану, є позитивними каталізаторами горіння аміачної селітри та сумішей на її основі. Експериментальні дослідження показали, що каталіз проявляється, з одного боку у збільшенні швидкості горіння, а з іншого боку – у збільшенні повноти згоряння: при додаванні солей лужних металів кількість оксидів азоту в продуктах вибуху зменшується с 20-30% до нуля. При додаванні нітрату калію в склад амоніту також спостерігається зниження отруйних газів NO та CO, що утворюються в продуктах вибуху.

РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОАКТИВНИХ КАТАЛІЗАТОРІВ В СКЛАДІ ПРОФІЛЬОВАНОЇ ЗАБІЙКИ.

2.1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ МОДЕЛІ УТРИМАННЯ ПРОДУКТІВ ВИБУХУ В ЗАРЯДНІЙ ПЛОЩИНІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСТОСУВАННЯ СВЕРДЛОВИННОЇ ЗАБІЙКИ.

В момент вибуху утворюється велика кількість оксидів азоту в складі продуктів вибуху, які викидаються із свердловини з високою швидкістю. Використання профільованої забійки при веденні вибухових робіт в кар'єрі дозволяє утримати газоподібні продукти вибуху з зарядній площині приблизно на 15-25мс. Крім того, з моменту завершення реакції вибухового перетворення відбувається викид продуктів вибуху через осьовий канал профільованої забійки. Висока температура продуктів вибуху впливає на забійку таким чином, що матеріал, з якого вона складається, починає пошарово вигорати. Це дає можливість застосування високоактивних каталізаторів у складі профільованої забійки для зниження викидів оксидів азоту за рахунок їх розкладання при високій температурі продуктів вибуху та часу затримки в зарядній площині.

З проведених досліджень відомо, що для боротьби з оксидами азоту можливе застосування лужноземельних металів, а також речовин із їх вмістом. І. Коти стверджував, що каталізуючою дією характеризуються атомарні метали чи оксиди металів, які утворюються внаслідок термічного розкладання солей. Представниками лужноземельних металів для рішення цієї задачі є хімічні елементи 2-ї групи періодичної таблиці Менделєєва: берилій (Be), магній (Mg), кальцій (Ca), стронцій (Sr), цинк (Zn), барій (Ba) та ін.

Експериментальні дослідження доводять, що чим довше забійка буде затримувати продукти вибуху в зарядній площині, тим більше часу каталізатор буде знаходитись в контакті з високотемпературними продуктами вибуху. Це приводить до того, що каталізатор при контакті з продуктами вибуху розкладається та вступає в реакцію по нейтралізації оксидів азоту.

Таким чином, існує можливість використання високоактивних каталізаторів у складі свердловинної забійки для зниження викидів оксидів азоту у навколишнє середовище при веденні вибухових робіт. Теоретично існує можливість використання високоактивних каталізаторів у складі вибухових речовин, однак це рішення може вплинути на їхні детонаційні властивості, а також може призвести до зниження температури продуктів вибуху.

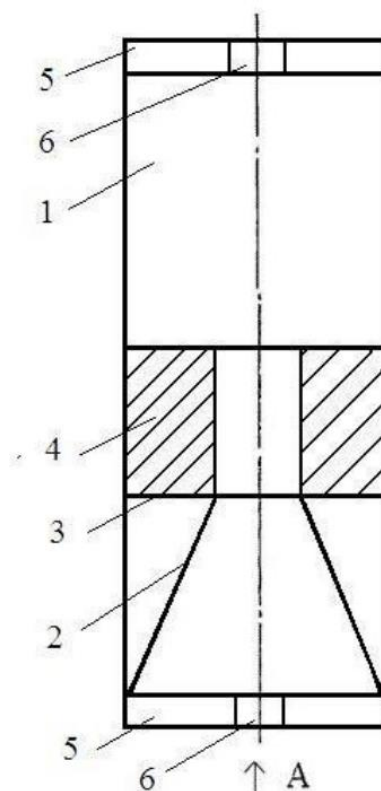


Рисунок 2.1. Свердловинна забійка із додаванням в склад карбонату цинку, де:

1 – порожній тонкостінний циліндр; 2 – дифузор, 3 – складовий елемент; 4 – карбонат цинку; 5 – кришка забійки; 6 – отвір для засобів ініціювання.

Забійка виконана у формі порожнього тонкостінного циліндра з товщиною стінок 2-4 мм, виготовленого з пластичного полімерного матеріалу. В ньому

розташований дифузор у вигляді осьової внутрішньої площини, що має вигляд усіченого конусу, довжина якого складає $1/3$ від довжини забійки. В простір між стінками порожнього тонкостінного циліндру та дифузору розміщується складовий елемент, виготовлений у формі порожнього циліндру з отвором для засобів ініціювання, виконаний з пластичного полімерного матеріалу, всередині якого міститься карбонат цинку. Для попередження потрапляння вибухової речовини нижня частина забійки оздоблена кришкою з отвором для засобів ініціювання.

Свердловинна забійка працює наступним чином: кришка забійки кріпиться в нижній частині забійки і попереджає потрапляння вибухової речовини у внутрішню площину (дифузор) при заряджанні свердловини. Через отвір для засобів ініціювання відбувається зарядження. Друга кришка забійки кріпиться у верхній частині та попереджає виліт складового елемента. Після перелому вибухової хвилі в просторі свердловини відбувається взаємодія вибухової хвилі з нижньою частиною дифузору. Вибухова хвиля руйнує кришку забійки, яка безпосередньо примикає до вибухової речовини та використовує внутрішню поверхню дифузору для перелому.

При наявності кришки забійки після повного відбиття від стінок дифузору вибухової хвилі, розрахованої за рівняннями газової динаміки, настає квазістаціонарна стадія взаємодії продуктів детонації із забійкою, що характеризується встановленням критичних параметрів (надзвуковою швидкістю) їх виходу через верхню частину дифузору. По мірі виходу високотемпературного потоку продуктів детонації, стінки складового елемента піддаються високотемпературній дії, що дозволяє карбонату цинку, який міститься в складовому елементі, брати участь в хімічній реакції з утвореними після вибуху оксидами азоту. Відомо, що при температурі 300°C карбонат цинку розкладається по реакції: $\text{ZnCO}_3 \rightarrow \text{ZnO} + \text{CO}_2\uparrow$, оксид цинку є каталізатором реакції нейтралізації оксиду азоту, а його реакція має вигляд: $\text{ZnO} + 3\text{NO}_2 \rightarrow \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO}\uparrow$.

Кришка забійки, закріплена у верхній частині запобігає вильоту складового елементу до повного згоряння. В залежності від різних параметрів кількість складових елементів може коливатися від 1 до 3.

В моменту початку протікання реакції вибухового перетворення відбувається тривале розкладання забійки та вихід її маси крізь профільований канал. При цьому температура продуктів вибуху може сягати 1500-2000⁰C, що є одним з визначальних чинників для вибору каталізатору з точки зору його розкладання та часу затримки продуктів вибуху в зарядній площині. Для проведення теоретичних і лабораторних досліджень можливості застосування каталізаторів в складі свердловинної забійки для зниження викидів оксидів азоту використовувались три наповнювача: карбонат магнію (MgCO₃), карбонат кальцію (CaCO₃) і карбонат цинку (ZnCO₃).

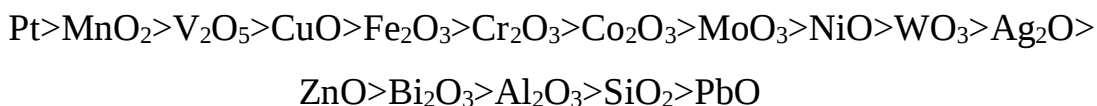
Реакція розкладання наповнювачів:

- 1) $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2\uparrow \text{ (t} \rightarrow 540^0\text{C)}$
- 2) $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow \text{ (t} \rightarrow 1000^0\text{C)}$
- 3) $\text{ZnCO}_3 \rightarrow \text{ZnO} + \text{CO}_2\uparrow \text{ (t} \rightarrow 300^0\text{C)}$

При розпаді наповнювача виділяється його оксид, який вступає в реакцію з оксидами азоту, нейтралізує їх, утворюючи при цьому нітрат. Складемо рівняння реакції оксидів азоту з оксидами наповнювачів, які протікають наступним чином:

- 1) $\text{MgO} + 3\text{NO}_2 \rightarrow \text{Mg(NO}_3)_2 + \text{NO}\uparrow$
- 2) $\text{CaO} + 3\text{NO}_2 \rightarrow \text{Ca(NO}_3)_2 + \text{NO}\uparrow$
- 3) $\text{ZnO} + 3\text{NO}_2 \rightarrow \text{Zn(NO}_3)_2 + \text{NO}\uparrow$

З реакцій видно, що кожний наповнювач нейтралізує частину оксидів азоту, утворюючи при цьому нітрат. Достовірність цих даних підтверджена дослідженнями [19], де в якості каталізаторів селективного відновлення оксидів азоту досліджувалися оксиди ванадію, хрому, цинку, заліза та інших металів. По даним досліджень [20] їхня каталітична активність знижується:



Необхідною умовою нейтралізації оксидів азоту в продуктах вибуху є відповідність температури і часу розкладання наповнювача температурі продуктів вибуху та часу їх затримки у зарядній площині.

2.2. ЧИСЕЛЬНІ РОЗРАХУНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ТЕМПЕРАТУРИ І ЧАСУ РОЗКЛАДАННЯ КАТАЛІЗАТОРІВ ТЕМПЕРАТУРІ ПРОДУКТІВ ВИБУХУ І ЧАСУ ЇХ ЗАТРИМКИ В ЗАРЯДНІЙ ПЛОЩИНІ.

Для обґрунтування застосування високоактивних каталізаторів для нейтралізації оксидів азоту необхідно знайти рішення задачі прогріву частинок каталізатору продуктами вибуху при вибуху заряду підривної речовини з урахуванням часу їх затримки у зарядній площині. Пригнічуючи властивості каталізаторів проявляються тільки у випадку їх повної дисоціації.

Для рішення задачі застосовувались методи математичного моделювання. В даному випадку припускалося, що використання профільованої забійки дає можливість утримувати продукти вибуху в зарядній площині на час, що забезпечує необхідні умови для дисоціації частинок каталізатору. Частинки наповнювача рівномірно розташовані, мають форму шару та однаковий розмір. Розміри частинок каталізатору (радіус) від $10 \cdot 10^{-5}$ м до $15,0 \cdot 10^{-5}$ м.

Виходячи з того, що час затримки продуктів вибуху в зарядній площині при застосуванні профільованої забійки складає $15 \cdot 10^{-3}$ с, що значно більше часу детонації та розповсюдження хвилі по заряду ($0,8 \cdot 10^{-3}$), отриманий процес взаємодії частинок каталізатору з продуктами вибуху можна вважати «квазістатичним». Тиск та температура розподілені рівномірно по всьому обсягу зарядної площини та залишаються незмінними на весь період навантаження.

В такому випадку температура продуктів вибуху в зарядній площині визначається наступним співвідношенням [21]:

$$T_{\text{СКВ}} = T_0 \left(\frac{P_{\text{СКВ}}}{P_0} \right) \quad (2.1)$$

де: $T_{\text{СКВ}}$ – температура продуктів вибуху;

T_0 – температура продуктів вибуху при миттєвій детонації;

P_0 – щільність продуктів вибуху при миттєвій детонації;

$P_{\text{СКВ}}$ – щільність продуктів вибуху в свердловині.

Співвідношення щільності продуктів вибуху при миттєвій детонації та щільності продуктів вибуху в свердловині визначається із закону збереження маси наступним чином:

$$\frac{P_0}{P_{\text{СКВ}}} = \left(\frac{d_{\text{СКВ}}}{d_0} \right)^2 \quad (2.2)$$

де: d_0 , $d_{\text{СКВ}}$ – діаметр заряду і діаметр свердловини відповідно.

Звідси виходить, що початкова температура продуктів вибуху при викиді через осьовий канал дорівнює:

$$T_0 = T_v \left(1 - \alpha_1 \frac{P_0}{P} \right) \quad (2.3)$$

де: T_v – температура продуктів вибуху чистої вибухової речовини;

α_1 – концентрація каталізатору;

P – щільність каталізатору.

Вираз для розрахунку температури продуктів вибуху в зарядній площині на період їх затримки має вигляд:

$$T_0 = T_v \left(1 - \alpha_1 \frac{P_0}{P} \right) \left(\frac{d_0}{d_{\text{СКВ}}} \right)^2 \quad (2.4)$$

Основним механізмом розігріву частинок каталізатору є конвективний теплообмін. В такому випадку дисоціація частинок відбудеться в момент, коли температура сягне критичної величини по всьому обсягу частинки. Оскільки за даними [22] карбонат цинку при температурі 815К дисоціюється без плавлення на ZnO та CO_2 , то температуру 815К можна вважати критичною температурою. Дану задачу конвективного стаціонарного теплообміну можна вирішити за допомогою рівняння теплопровідності:

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \left(\frac{d^2T}{dr^2} + \frac{2dT}{rdr} \right) \quad (2.5)$$

$t > 0$; $0 < r$

де: t – поточний час процесу розігрівання;

$T(r, t)$ – поточна температура в матеріальній точці шару;

R – радіус шару;

$\alpha = \frac{\lambda}{c_p}$ – коефіцієнт теплопровідності;

r – поточний радіус матеріальної точки;

λ , c , ρ – теплопровідність, питома теплоємність, щільність частинок відповідно.

В такому випадку початкові та граничні умови мають вид:

$$T(r,0) = T_0; T(0,t) \quad (2.6)$$

$$\frac{dT(0,t)}{dr} = 0 \quad (2.7)$$

$$-\frac{dT(R,t)}{dr} + \frac{\alpha}{\lambda} [T_{\text{скв}} - T(R,t)] = 0 \quad (2.8)$$

де: α – коефіцієнт теплообміну;

T_0 – початкова температура шару, рівна 300°K.

За допомогою закону теплообміну Ньютона можна описати граничні умови (2.8) на поверхні шару.

Для рішення рівняння (2.5) застосовано метод розділення перемінних Фур'є [23]. Метод рішення диференціальних рівнянь, заснований на алгебраїчному перетворенні вихідного рівняння до рівності двох виразів, які залежать від різних незалежних змінних.

Крім того, часткове рішення представленого рівняння (Θ_{1n}) являє собою рівняння:

$$\Theta_{1n} = T_{\text{скв}} - T(r,t) = C_n \frac{\sin(k_n \cdot r)}{r} e^{-ak_n^2 \cdot t} \quad (2.9)$$

де: k_n – власне значення функції.

Величина власного значення функції визначена і умов (2.8):

$$\frac{D\Theta_1(R,t)}{dr} + \frac{\alpha}{\lambda} \Theta_1(R,t) = 0 \quad (2.10)$$

Підставивши у формулу (2.10) рішення (2.9), застосувавши диференціювання, отримаємо:

$$C_H \frac{\sin k_n R}{R^2} e^{-ak_n^2 t} + C_H \frac{K_H}{R} \cos k_n R e^{-ak_n^2 t} + C_H \frac{\alpha}{\lambda R} \sin k_n R e^{-ak_n^2 t} = 0 \quad (2.11)$$

Далі, шляхом скорочення (2.11) на множники отримуємо вираз:

$$\left(\frac{\alpha}{\lambda} - \frac{1}{R}\right) \sin k_n R + k_n \cos k_n R = 0 \quad (2.12)$$

Рівняння (2.12) можна перетворити у трансцендентне рівняння та визначити власні значення:

$$\operatorname{tg} k_n R = -\frac{k_n R}{\frac{\alpha}{\lambda} R - 1} \quad (2.13)$$

Представимо власне значення функції у вигляді:

$$\mu_n = k_n R \quad (2.14)$$

Беручи до уваги $\frac{\alpha}{\lambda} R = Bi$,

де: Bi – це критерій Біо – один з критеріїв подоби стаціонарного теплообміну між нагрітим або охолодженим твердим тілом та навколишнього середовища, виводимо рівняння (2.13) у вигляді:

$$\operatorname{tg} \mu_n = \frac{1}{Bi-1} \mu_n \quad (2.15)$$

Рішень даного рівняння (2.15), що визначає власні значення, можна знайти незлічену кількість. Дане рішення – це точки перетину тангенсоїд з прямою. Уявимо, що тангенс кута нахилу прямої дорівнює $-\left(\frac{1}{Bi-1}\right)$.

Незлічена кількість отриманих значень дає також і незлічену кількість власних функцій. Виходячи з цього, загальне рішення рівняння можна записати у вигляді суми всіх рішень:

$$\theta_1(r, t) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \frac{\sin \mu_n \frac{r}{R}}{r} e^{-\mu_n^2 \cdot F_0} \quad (2.16)$$

де: $F_0 = \frac{a}{R^2} t$ – критерій Фур'є, що характеризує співвідношення між швидкістю зміни теплових умов в навколишньому середовищі та швидкістю перестройки поля температури всередині системи (тіла), який залежить від розмірів тіла і коефіцієнту його теплопровідності.

Постійна C_n знаходиться з умови (2.6), представленого у вигляді:

$$\theta_1(r, t) = \theta_{10} = T_{cp} - T_0 \quad (2.17)$$

$$\theta_{10} = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \frac{\sin \mu_n \frac{r}{R}}{r} \quad (2.18)$$

Помножимо обидві частини рівняння (2.18) на $r \sin \mu_m \frac{r}{R} dr$ та інтегруємо їх в межах від 0 до R.

$$\int_0^R r \theta_{10} \sin \mu_m \frac{r}{R} dr = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \int_0^R \sin \mu_m \frac{r}{R} \mu_n \frac{r}{R} dr \quad (2.19)$$

де: μ_m – корінь отриманого рівняння.

Застосовуючи принцип ортогональності отриманих власних функцій, маємо можливість з рівняння (2.19) знайти значення коефіцієнту C_n :

$$C_n = \frac{\int_0^R r \theta_{10} \sin \mu_n \frac{r}{R} dr}{\int_0^R \sin^2 \mu_n \frac{r}{R} dr} \quad (2.20)$$

В результаті інтегрування рівняння (2.20) отримаємо заключне значення коефіцієнту C_n :

$$C_n = \frac{2(\sin \mu_n - \mu_n \cos \mu_n) R}{(\mu_n - \sin \mu_n \cos \mu_n) \mu_n} \quad (2.21)$$

Після даних перетворень отримаємо рішення задачі у вигляді:

$$\theta = \frac{T(r,t) - T_0}{T_{cp} - T_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(\sin \mu_n - \mu_n \cos \mu_n) R}{\mu_n - \sin \mu_n \cos \mu_n} \frac{1}{r \mu_n} \sin \mu_n \frac{r}{R} e^{-\mu_n^2 F_0} \quad (2.22)$$

Використовуючи закон зміни температури в шарі у часі (2.22), обчислюємо температуру частини для кожного моменту часу в будь-якій точці, а також обчислюємо кількість тепла, що витрачається на розігрів шару. Для спрощення рішення рівняння достатньо знайти середню інтегральну температуру ($\bar{T}$) по товщині шару:

$$\bar{T}(t) = \frac{1}{R^2} \int_0^R r^2 T(r,t) dr \quad (2.23)$$

Підставляючи у рівняння (2.23) залежність температури від часу у вигляді (2.22) та проінтегрувавши, отримуємо:

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{T}(t) - T_0}{T_{cp} - T_0} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} B_n e^{-\mu_n^2 F_0} \quad (2.24)$$

де: $B_n = \frac{6B_i^2}{\mu_n^2(\mu_n^2 + B_i^2 - B_i)}$ – постійні коефіцієнти.

Знаючи значення середньої температури розігріву шару, можна знайти питому витрату тепла:

$$q_{\text{пит}} = C_p[\bar{T}(t) - T_0] \quad (2.25)$$

де: $q_{\text{пит}}$ – питома витрата тепла на розігрів шару.

Використовуючи вираз (2.25), повна витрата тепла на розігрів частки можна виразити у вигляді:

$$q = q_{\text{пит}} \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi R^3 C_p[\bar{T}(t) - T_0] \quad (2.26)$$

де: q – витрата тепла на прогрів частки каталізатору за час.

Число часток каталізатора в складі профільованої забійки (N) визначається у вигляді співвідношення:

$$N = \frac{\alpha_1 m_{\text{заб}}}{\frac{4}{3} \pi R^3} \quad (2.27)$$

де: $m_{\text{заб}}$ – маса профільованої забійки.

Отримане співвідношення дозволяє розрахувати тепловтрати на розігрів каталізатора у вигляді:

$$Q_1 = \alpha_1 c m_{\text{заб}}[\bar{T}(t) - T_0] \quad (2.28)$$

Із отриманої формули (2.28) можна знайти зниження температури (ΔT_1) в продуктах вибуху за рахунок втрат тепла на розігрів часток наповнювача:

$$\Delta T_1 = \alpha_1 \frac{c}{c_{\text{заб}}} [\bar{T}(t) - T_0] \quad (2.29)$$

За представленою математичною моделлю проведено розрахунок параметрів процесу дисоціації часток каталізатору. Результати розрахунків представлені в таблицях 2.1-2.3.

Таблиця 2.1. Результати розрахунку процесу розігріву і розпаду часток наповнювача CaCO_3 .

№	Розмір часток 10^{-6}м	Bi – критерій Біо	$t_1 \cdot 10^{-3}\text{с}$	$t_2 \cdot 10^{-3}\text{с}$
1	10	0,26	2,11	2,16
2	30	0,65	4,8	5,1
3	50	1,35	7,8	8,15
4	70	1,95	8,12	13,1
5	90	2,6	9,2	20,0
6	110	3,14	7,9	27,2

7	130	3,78	7,4	29,1
8	150	4,1	5,0	29,0

Таблиця 2.2. Результати розрахунку процесу розігріву і розпаду часток наповнювача MgCO_3 .

№	Розмір часток 10^{-6}м	Bi – критерій Біо	$t_1 \cdot 10^{-3}\text{с}$	$t_2 \cdot 10^{-3}\text{с}$
1	10	0,22	2,09	2,15
2	30	0,57	3,97	4,0
3	50	1,12	6,3	7,1
4	70	1,57	9,5	11,0
5	90	2,3	9,7	14,9
6	110	2,78	8,9	22,2
7	130	3,32	8,2	29,0
8	150	3,56	7,0	29,6

Таблиця 2.3. Результати розрахунку процесу розігріву і розпаду часток наповнювача ZnCO_3 .

№	Розмір часток 10^{-6}м	Bi – критерій Біо	$t_1 \cdot 10^{-3}\text{с}$	$t_2 \cdot 10^{-3}\text{с}$
1	10	0,19	1,9	2,0
2	30	0,59	3,0	3,1
3	50	0,98	5,7	5,9
4	70	1,23	7,8	9,0
5	90	2,0	7,9	12,0
6	110	2,2	8,1	17,1
7	130	2,7	7,5	21,0
8	150	3,12	6,3	25,9

де: t_1 – час нагріву зовнішньої поверхні до температури розпаду;

t_2 – час нагріву центра шару до температури розпаду;

Bi – це один з критеріїв подоби стаціонарного теплообміну між нагрітим чи охолодженим твердим тілом і навколишнім середовищем.

На рисунку 2.2. наведений графік залежності часу розкладання часток каталізатору від їх розміру.

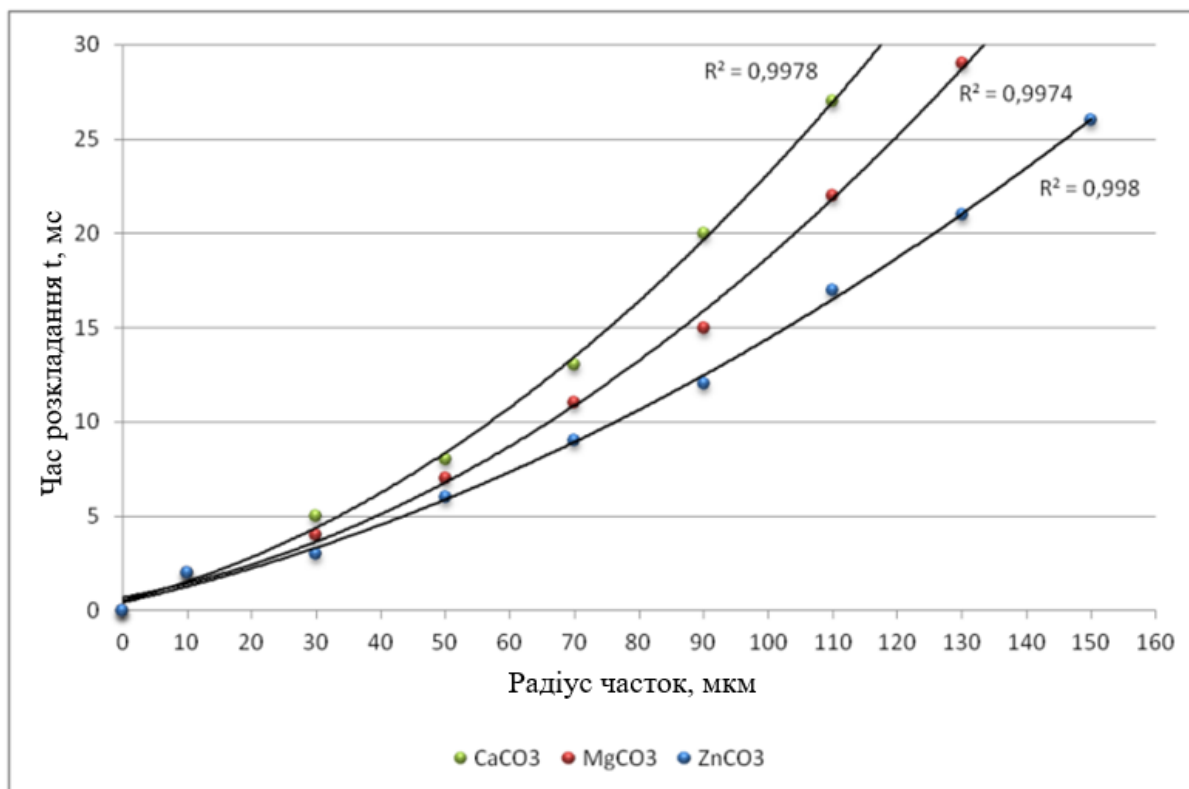


Рисунок 2.2. Графік залежності часу розкладання часток каталізаторів від їх розмірів.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОАКТИВНИХ КАТАЛІЗАТОРІВ НА ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ В ПРОДУКТАХ ВИБУХУ

3.1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ВИЗНАЧЕННЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОКСИДІВ АЗОТУ В ПРОДУКТАХ ВИБУХУ

Як показали результати чисельного моделювання процесу розігріву і розпаду часток каталізаторів, можна зробити висновок про можливість їх використання в складі свердловинної забійки для зниження оксидів азоту в складі продуктах вибуху. Для більш точного оцінювання їхньої ефективності зниження викидів оксидів азоту в продуктах вибуху були проведені лабораторні дослідження.

Для вимірювання концентрації оксидів азоту в продуктах вибуху була розроблена методика проведення лабораторних досліджень.

Загальні положення та область застосування.

Данні методичні вказівки описують методику кількісного хімічного аналізу продуктів вибуху для вимірювання в них концентрації оксидів азоту оптронноспектрофотометричним методом в діпазоні масових концентрацій від 0,5 до 20 мг/м³.

Характеристика вимірюваних речовин

Оксид азоту:

- Фізико-хімічні властивості: безбарвний газ, не має запаху, малорозчинний у воді. Щільність 1,3402г/дм³. При контакті з киснем окислюється до діоксиду азоту. Температура плавлення 163,7⁰С, температура кипіння 151,8⁰С. В повітрі має агрегатний стан – пару.

- Молекулярна маса 30,01.

- Структурна формула N-O.

- Емпірична формула NO.

- Характеристика: гранично допустима концентрація NO в повітрі робочої зони кар'єру складає не більше 5,0 мг/м³. Оксид азоту відповідає класу небезпеки газів – 3.

Діоксид азоту:

- Фізико-хімічні властивості: отруйний газ червоно-бурого кольору з неприємним різким запахом. Добре розчинний у воді. Щільність 1,491 г/дм³. Температура плавлення 11,2°C, температура кипіння 20,7°C. У повітрі має агрегатний стан – пару.

- Молекулярна маса 46,01.

- Структурна формула O-N-O.

- Емпірична формула NO₂.

- Характеристика: гранично-допустима концентрація NO₂ в повітрі робочої зони кар'єру складає не більше 2,0 мг/м³. Діоксид азоту відповідає класу небезпеки газів – 3.

Коротка характеристика вибуху заряду вибухової речовини, як джерела викидів оксидів азоту

- При вибуху заряду промислової вибухової речовини в продуктах вибуху утворюються отруйні гази: оксиди азоту NO, NO₂, N₂O₅, оксид вуглецю CO₂ та сірчаний ангідрид SO₂.

- При вимірюванні масових концентрацій оксидів азоту, які містяться в продуктах вибуху, необхідно враховувати кисневий баланс вибухової речовини:

$$K_B = \frac{16 \cdot [c - (2 \cdot a + \frac{b}{2})]}{M_{вр}} \cdot 100 \quad (3.1)$$

де: а, b, с – число атомів вуглецю, гідроген і кисень відповідно у вибуховій речовині у вигляді загальної формули C_aH_bO_cN_d.

M_{вр} – молекулярна маса вибухової речовини.

Метрологічні характеристики методики виконання вимірювань

При відповідності всім необхідним умовам вимірювання масових концентрацій оксидів азоту у відповідності з даною методикою похибка результатів вимірювання не буде перевищувати значень, вказаних в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Метрологічні характеристики методики виконання вимірювань

Діапазон вимірювання концентрацій діоксиду азоту, мг/м ³	Межа основної відносної похибки $\pm\delta$, %	Межа допустимої додаткової похибки, не більше	Межа відтворюваності, R_δ , %
Від 0,5 до 20,0	20	0,6 (від осн.)	20

Метод вимірювань

Вміст оксидів азоту в продуктах вибуху визначають оптронноспектрофотометричним методом шляхом вимірювання швидкості зміни затемнення (забарвлення) стрічки хімічної касети, пропорційній концентрації речовини, що визначається.

Вимірювання проводять на автоматичному газоаналізаторі безперервної дії, використовуючи необхідну хімічну касету.

Для прикладу розглянемо газоаналізатор типу ГАНК-4 призначений для автоматичного безперервного контролю концентрацій шкідливих речовин у повітрі робочої зони, в промислових викидах та технологічних процесах з метою охорони навколишнього середовища, що забезпечує безпеку труда та оптимізацію технологічних процесів.

Газоаналізатор включає в себе: 1) електронну схему з мікропроцесором, пам'яттю та програмним керуванням; 2) систему всмоктування аналізуемого повітря з малогабаритним насосом; 3) систему газових комунікацій; 4) систему вбудованих датчиків; 5) змінні хімічні касети з мініблоком пам'яті «TouchMemory» та реактивною стрічкою на речовини, що визначаються; 5) фотоголовку з оптронною парою (світлодіод-фотодіод); 6) акумулятор, вбудований в корпус; 7) зарядний пристрій акумулятору; 7) рідкокристалічний дисплей; 8) кнопки керування – Menu, Enter, стрілки вгору-вниз; 9) USB-порт для підключення персонального комп'ютера.

Робота газоаналізатора здійснюється в автоматичному режимі. Насос подає повітря, що аналізується через вхідний штуцер газоаналізатора. При вимірюванні за допомогою електрохімічного датчика вимірюється величина току, пропорційна концентрації речовини, що визначається.

При вимірюванні за допомогою напівпровідникового датчика вимірюється зміна електропровідності напівпровідникового газочутливого шару пропорційної концентрації визначаємої речовини при хімічній адсорбції газу на його поверхні.

При вимірюванні за допомогою термokatалітичного датчику вимірюється зміна провідності пропорційної концентрації речовини, що визначається на платино-паладієвому електроді при термokatалітичній реакції.

При вимірюванні за допомогою оптичного датчику вимірюється оптична щільність повітря проби, яка визначається концентрацією шкідливої речовини, що вимірюється згідно градування.

Іонізаційний метод ґрунтується на ефекті іонізації дослідного повітря під дією ультрафіолетового випромінювання. Сила току іонізації дослідного повітря пропорційна концентрації речовини, що визначається.

При вимірюванні за допомогою хімічної касети вимірюється швидкість зміни затемнення (забарвлення) стрічки, пропорційній концентрації речовини, що визначається.

При вимірюванні концентрацій дослідне повітря надходить через вхідний штуцер на датчик або хімічну касету. Через деякий час, не більше 20с (при вимірюванні датчиком), або час, не більше 30с (при вимірюванні хімічною касетою), сигнал надходить на обчислювальний пристрій, який перетворює його та видає на дисплей у вигляді значення поточної ($C_{\text{поточ}}$) і середньої ($C_{\text{ср}}$) концентрації в мг/м^3 .

Відбір проб проводять в автоматичному режимі після вибуху заряду вибухової речовини у підривної камері.

Нижня межа вимірювання масової концентрації оксидів азоту у повітрі складає $0,5 \text{ мг/м}^3$.

Вимірюванню не заважають супутно виділяемі отруйні гази.

Підготовка до виконання вимірювань.

Перед початком проведення лабораторних досліджень необхідно розрахувати кисневий баланс вибухової речовини та скласти реакцію вибухового перетворення.

Вибухові речовини, що складаються з вуглецю, водню, азоту і кисню, можна уявити умовною формулою $C_aH_bO_cN_d$, тоді кисневий баланс можна визначити за формулою:

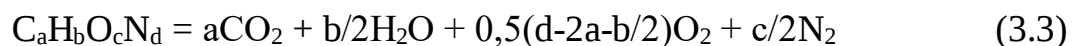
$$K_b = \frac{16 \cdot [c - (2 \cdot a + \frac{b}{2})]}{M_{вр}} \cdot 100 \quad (3.2)$$

де: a, b, c – число атомів вуглецю, водню і кисню відповідно у вибуховій речовині;

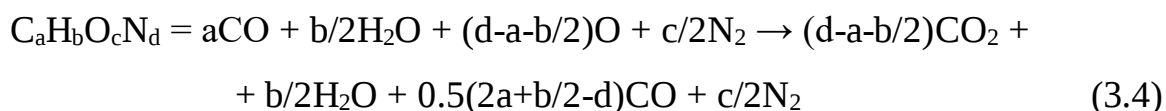
$M_{вр}$ – молекулярна маса вибухової речовини;

Можна розрахувати реакцію вибухового перетворення для різних типів вибухових речовин.

-Скласти реакцію вибухового перетворення для вибухових речовин з нульовим або позитивним кисневим балансом. Для вибухових речовин першої групи з $K_b \geq 0 (d \geq 2a + b/2)$ реакції вибухового перетворення складають виходячи з утворення вищих оксидів всіх горючих елементів, що є в складі вибухової речовини, а саме CO_2 , H_2O та ін. Надлишок кисню виділяється у вигляді O_2 , або витрачається на утворення оксидів азоту: NO , NO_2 , N_2O_5 та ін. Скласти реакцію вибухового перетворення для таких вибухових речовин можна за наступною схемою:



-Скласти реакцію вибухового перетворення для вибухових речовин з негативним кисневим балансом. Для умов повного газоутворення $d \geq a + b/2$ рівняння реакції вибухового перетворення має вигляд:



Для немов неповного газоутворення $b/2 \leq d \leq a + b/2$ рівняння реакції вибухового перетворення має вигляд:

$$C_aH_bO_cN_d = (d-b/2)CO + b/2H_2O + (a-d+b/2)C + c/2N_2 \quad (3.5)$$

- Виконати розрахунок об'єму газоподібних продуктів вибуху. Об'єм газоподібних продуктів вибуху визначається по реалізації вибухового перетворення речовини на основі закону Авогадро, згідно якого об'єм, зайнятий одним молем газу при температурі 0⁰C і тиску 0,01·10⁵Па, рівний 22,4л.

$$V_{вр} = 22,4(n_1+n_2+.....+n_n)/1000, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (3.6)$$

- Підготувати вимірювальний прилад у відповідності до інструкції його експлуатації.

- Підготувати досліджувану вибухову речовину. Наважку BaO₂, Ba(NO₃)₂, Zr масою 1,2гр необхідно попередньо змішати у співвідношенні 30/30/40 відповідно. Далі помістити у підготовлений запальник з пластиковою капсулою.

- Приєднати запальник до магістрального проводу. Провід зі зворотної сторони необхідно перемкнути, що забезпечить при цьому захист від блукаючого струму.

- Помістити запальник у вибухову камеру ємністю 5л.

- Закріпити кришку вибухової камери болтами, при необхідності підтягти гайковим ключем. Провід повинен бути виведений назовні під кришкою.

- Приєднати провд до вибухової машини.

Виконання вимірювань масових концентрацій оксидів азоту в продуктах вибуху.

- Перевірити рівень заряду батареї газоаналізатора. Батарея повинна бути повністю заряджена для безперебійної роботи обладнання.

- Встановити необхідну хімічну касету для вимірювання оксидів азоту у відповідності з вимогами інструкції по експлуатації обладнання.

- Приєднати щуп для забору проб і ввімкнути прилад.

- Розмістити прилад біля вибухової камери.

- Перевірити лабораторне устаткування. У спеціальному отворі вибухової камери, який призначений для розміщення щупу, повинен знаходитись закриваючий елемент.

- За допомогою вибухової машинки провести вибух модельної вибухової речовини.

- Від'єднати закриваючий елемент та помістити щуп газоаналізатора всередину вибухової камери.

- Ввімкнути газоаналізатор для відбору проб.

- Провести необхідну кількість вимірювань. Результати зафіксувати у пам'яті приладу.

- Зняти показники приладу на персональний комп'ютер.

3.2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОКСИДІВ АЗОТУ В ПРОДУКТАХ ВИБУХУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТИПУ ЗАСТОСОВАНОГО КАТАЛІЗАТОРА.

З метою визначення ефективності застосування каталізаторів для зниження викидів оксиду азоту були проведені лабораторні дослідження. Дослідження проводилися у вибуховій камері ємністю 5л, яка призначена для досліджень вибухових речовин з метою визначення складу продуктів вибуху і концентрації отруйних газів. Вибухова камера представлена на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1. Вибухова камера

Всередину камери встановлюється запальник з наважкою вибухової речовини та досліджуваного каталізатора. Вибухова речовина має склад: BaO_2 - 40%, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ - 30%, Zr - 30%. Реакція вибухового перетворення має наступний вигляд:



Наважку масою 1,2гр помістити в пластиковий ковпачок, куди також встановлюється запальник. Після цього кришку камери щільно закрутити за допомогою болтів. В кришці є отвір для відбору проб за допомогою газоаналізатора. Для своєчасного вимірювання концентрації оксидів азоту поруч розташовується газоаналізатор.

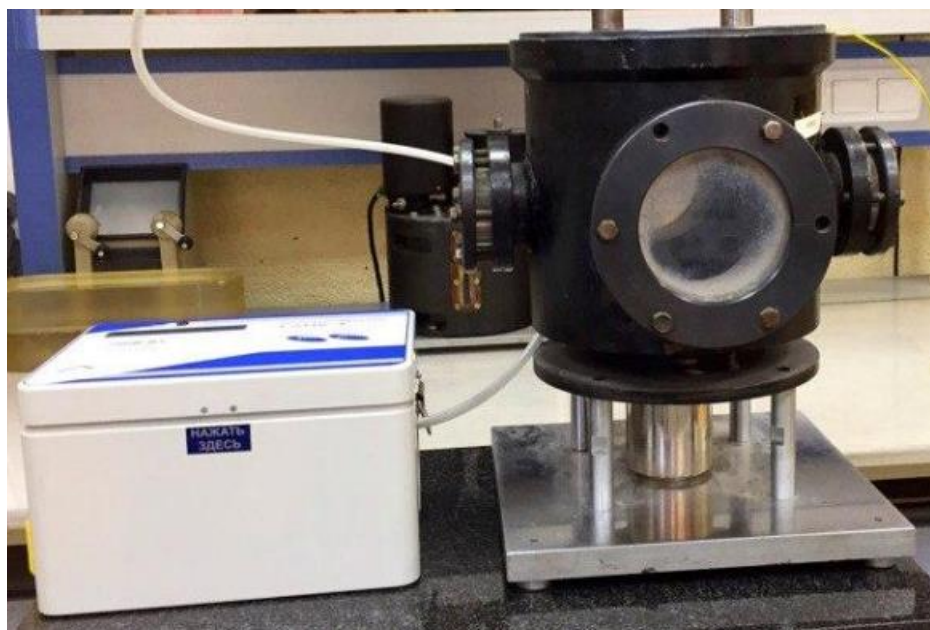


Рисунок 3.2. Лабораторне устаткування для вимірювання концентрації оксидів азоту.

Після вибуху, через щуп газоаналізатора автоматично відбувається відбір проб продуктів вибуху, а результати виводяться на дисплей і зберігаються в пам'яті пристрою. Після кожного вибуху камеру необхідно провітрювати та обробляти спеціальним розчином.

Для визначення ефективності застосування вибраних високоактивних каталізаторів з метою зниження викидів оксидів азоту з кожним з них необхідно провести лабораторні дослідження. Всі каталізатори повинні мати однакову дисперсність і однаковий відсотковий вміст в складі наважки. Для визначення дисперсності наповнювачів необхідно провести ситовий аналіз речовин з використанням ситового аналізатора А-30.



Рисунок 3.3. Ситовий аналізатор А-30

Перед проведенням досліджень каталізатори попередньо подрібнюють та просушують в тепловій камері за температури 50°C впродовж 12 годин. На рисунку 3.4 зображений каталізатор карбонат кальцію CaCO_3 , підготовлений для ситового аналізу.



Рисунок 3.4. Подрібнений карбонат кальцію CaCO_3 перед проведенням ситового аналізу.

Для визначення масових концентрацій оксидів азоту, що утворюються при вибуху модельованого складу без додавання наповнювача, проводиться серія експериментальних вибухів, після чого отримані дані зводились до середнього значення. Результати досліджень представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Концентрація оксидів азоту в продуктах вибуху при вибуху модельованої вибухової речовини.

№ з/п	t, c	Концентрація NO ₂ , мг/м ³
1	0	0
2	15	853
3	30	829
4	45	817
5	60	851
6	75	850
7	90	847
8	105	833
9	120	781
10	135	799
11	150	739
12	175	717

Далі, для визначення ефективності дії каталізаторів були проведені дослідження з кожним з них. Результати досліджень концентрації оксидів азоту в продуктах вибуху з різними каталізаторами наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Концентрація оксидів азоту в продуктах вибуху при вибуху модельованої вибухової речовини з додаванням карбонату кальцію CaCO₃.

№ з/п	t	Концентрація NO ₂ , мг/м ³
1	0	0
2	15	683
3	30	634
4	45	625

5	60	598
6	75	572
7	90	545
8	105	523
9	120	471
10	135	428
11	150	412
12	175	398

Таблиця 3.4. Концентрація оксидів азоту в продуктах вибуху при вибуху модельованої вибухової речовини з додаванням карбонату магнію $MgCO_3$.

№ з/п	t, с	Концентрація NO_2 , mg/m^3
1	0	0
2	15	523
3	30	477
4	45	469
5	60	467
6	75	443
7	90	408
8	105	382
9	120	378
10	135	367
11	150	359
12	175	341

Таблиця 3.5. Концентрація оксидів азоту в продуктах вибуху при вибуху модельованої вибухової речовини з додаванням карбонату цинку $ZnCO_3$.

№ з/п	t	Концентрація NO_2 , mg/m^3
1	0	0
2	15	253

3	30	237
4	45	211
5	60	173
6	75	159
7	90	133
8	105	129
9	120	111
10	135	87
11	150	73
12	175	65

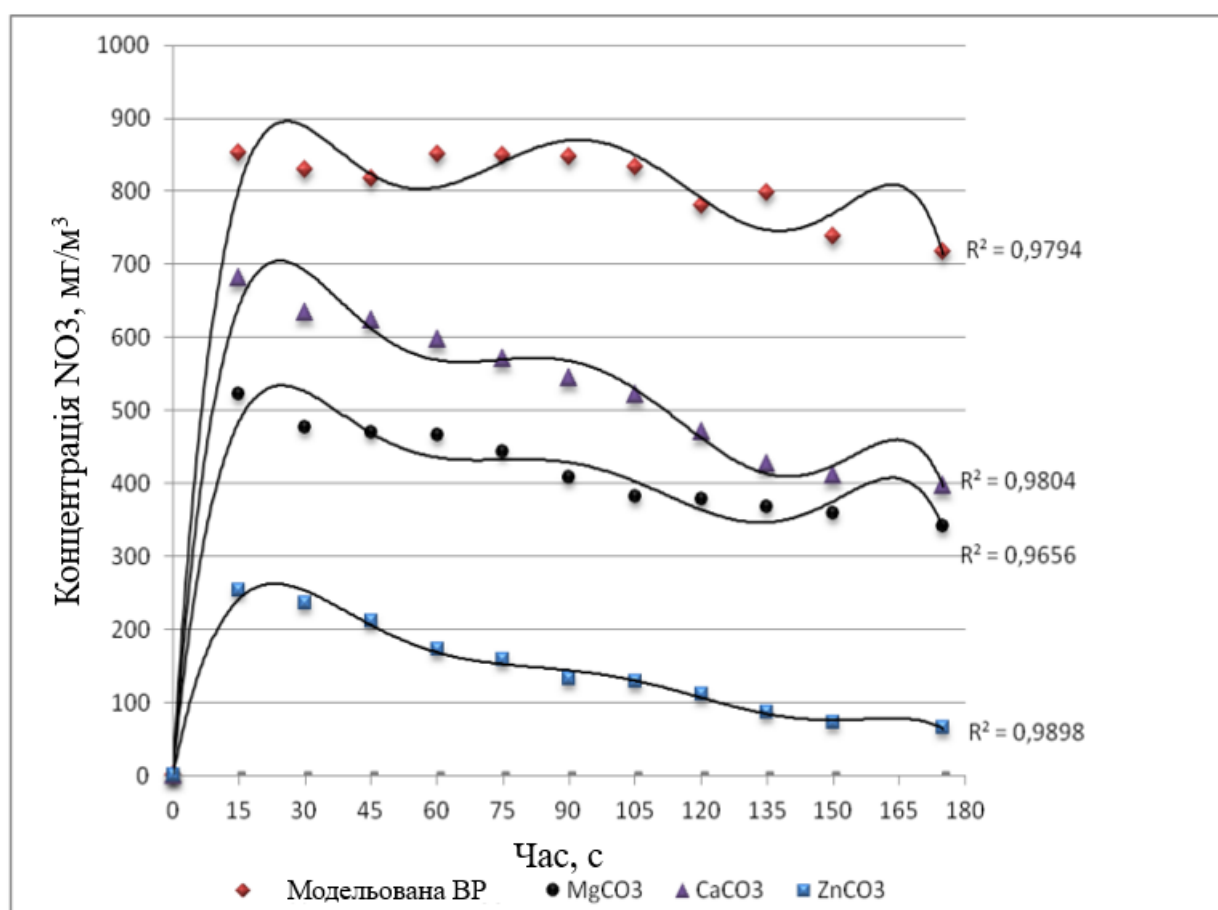


Рисунок 3.5. Залежність концентрацій оксидів азоту в продуктах вибуху в залежності від використаного концентрату.

Спираючись на отримані результати, можна зробити висновок, забезпечення нейтралізації оксидів азоту в складі продуктів вибуху можливе за

рахунок застосування високоактивних каталізаторів карбонату магнію MgCO_3 , карбонату кальцію CaCO_3 , карбонату цинку ZnCO_3 . Також можна стверджувати, що найбільш ефективним каталізатором для зниження викидів оксидів азоту є карбонат цинку ZnCO_3 . Однак дисперсність наповнювача відіграє важливу роль в процесі хімічної реакції з продуктами вибуху. Для визначення найбільш оптимальної дисперсності каталізатора карбонату цинку ZnCO_3 проведені експериментальні дослідження по визначенню залежності зниження масових концентрацій оксидів азоту від дисперсності каталізатора.

3.3. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОКСИДІВ АЗОТУ В ПРОДУКТАХ ВИБУХУ ВІД ДИСПЕРСНОСТІ ВИКОРИСТАНОГО КАТАЛІЗАТОРА.

Для визначення найбільш оптимальної дисперсності каталізатору карбонату цинку ZnCO_3 було проведено ряд досліджень, де визначалися залежності зниження масових концентрацій оксидів азоту від дисперсності каталізатора. Дослідження проводились у вибуховій камері ємністю 5л, призначеній для вимірювання масових концентрацій продуктів вибуху за запропонованою методикою.

Спираючись на попередні результати, з досліджених каталізаторів був обраний максимально ефективний – карбонат цинк ZnCO_3 . Для вивчення впливу дисперсності каталізатора на зниження викидів оксидів азоту були проведені дослідження із дисперсністю карбонату цинку ZnCO_3 50, 100 і 150 мкм.

Карбонат цинку визначеної дисперсності помістити в наважку модельованої вибухової речовини. При дослідженні різної дисперсності каталізатору концентрація наважки повинна бути однаковою. Результати проведених досліджень різної дисперсності карбонату цинку наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6. Концентрація оксидів азоту в продуктах вибуху при вибуху модельованої вибухової речовини з додаванням карбонату цинку ZnCO_3 дисперсністю 150 мкм.

№ з/п	t, с	Концентрація NO ₂ , мг/м ³
1	0	0
2	15	253
3	30	242
4	45	221
5	60	197
6	75	182
7	90	163
8	105	149
9	120	144
10	135	131
11	150	112
12	175	98

Таблиця 3.7. Концентрація оксидів азоту в продуктах вибуху при вибуху модельованої вибухової речовини з додаванням карбонату цинку ZnCO₃ дисперсністю 100 мкм.

№ з/п	t, с	Концентрація NO ₂ , мг/м ³
1	0	0
2	15	242
3	30	220
4	45	191
5	60	185
6	75	162
7	90	145
8	105	122
9	120	87
10	135	76
11	150	72
12	175	70

Таблиця 3.8. Концентрація оксидів азоту в продуктах вибуху при вибуху модельованої вибухової речовини з додаванням карбонату цинку ZnCO_3 дисперсністю 50 мкм.

№ з/п	t, с	Концентрація NO_2 , мг/м ³
1	0	0
2	15	210
3	30	202
4	45	183
5	60	174
6	75	153
7	90	119
8	105	87
9	120	65
10	135	57
11	150	50
12	175	48

Залежності зниження масових концентрацій оксидів азоту від дисперсності каталізатору наведені на рисунку 3.6.

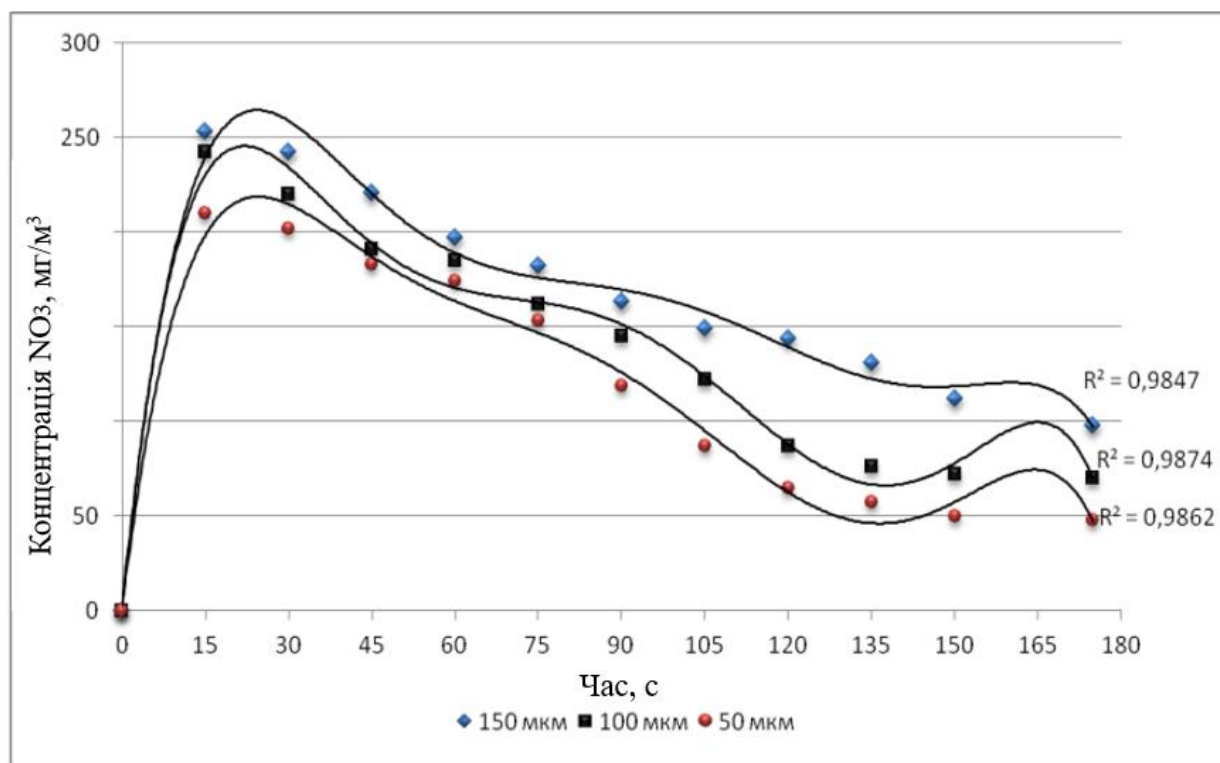


Рисунок 3.6. Залежність концентрації оксидів азоту в продуктах вибуху від дисперсності наповнювача.

Отримані в ході досліджень данні показали, що частинки каталізатора дисперсністю 50-75 мкм найбільш ефективно знижують утворення оксидів азоту в продуктах вибуху.

3.4. ОЦІНКА ВПЛИВУ КОНЦЕНТРАЦІЇ КАТАЛІЗАТОРА НА ВМІСТ ОКСИДІВ АЗОТУ В ПРОДУКТАХ ВИБУХУ.

Для визначення ефективності роботи каталізатору в залежності від відсоткового вмісту був проведений ряд експериментів з різною концентрацією.

Дослідження проводились по методиці, викладеній вище. У наважку модельованої вибухової речовини додавався карбонат цинку ZnCO_3 дисперсністю 50-75 мкм. Концентрація використаного каталізатора 5%, 10%, 15%, 20%. Результати проведених досліджень наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9. Концентрація оксидів азоту в продуктах вибуху при вибуху модельованої вибухової речовини з 5% вмістом карбонату цинку ZnCO_3 .

№ з/п	t	Концентрація NO_2 , мг/м ³
-------	---	--

1	0	0
2	15	250
3	30	240
4	45	220
5	60	180
6	75	165
7	90	140
8	105	115
9	120	80
10	135	75
11	150	65
12	175	65

Таблиця 3.10. Концентрація оксидів азоту в продуктах вибуху при вибуху модельованої вибухової речовини з 10% вмістом карбонату цинку ZnCO_3 .

№ з/п	t	Концентрація NO_2 , мг/м^3
1	0	0
2	15	250
3	30	230
4	45	210
5	60	160
6	75	135
7	90	115
8	105	80
9	120	65
10	135	60
11	150	60
12	175	55

Таблиця 3.11. Концентрація оксидів азоту в продуктах вибуху при вибуху модельованої вибухової речовини з 15% вмістом карбонату цинку ZnCO_3 .

№ з/п	t	Концентрація NO ₂ , мг/м ³
1	0	0
2	15	250
3	30	230
4	45	200
5	60	160
6	75	120
7	90	95
8	105	65
9	120	50
10	135	45
11	150	40
12	175	40

Таблиця 3.12. Концентрація оксидів азоту в продуктах вибуху при вибуху модельованої вибухової речовини з 20% вмістом карбонату цинку ZnCO₃.

№ з/п	t	Концентрація NO ₂ , мг/м ³
1	0	0
2	15	250
3	30	240
4	45	215
5	60	190
6	75	180
7	90	150
8	105	130
9	120	100
10	135	70
11	150	65
12	175	60

На основі отриманих результатів будуємо графік залежності концентрації оксидів азоту в продуктах вибуху від відсоткового вмісту каталізатора.

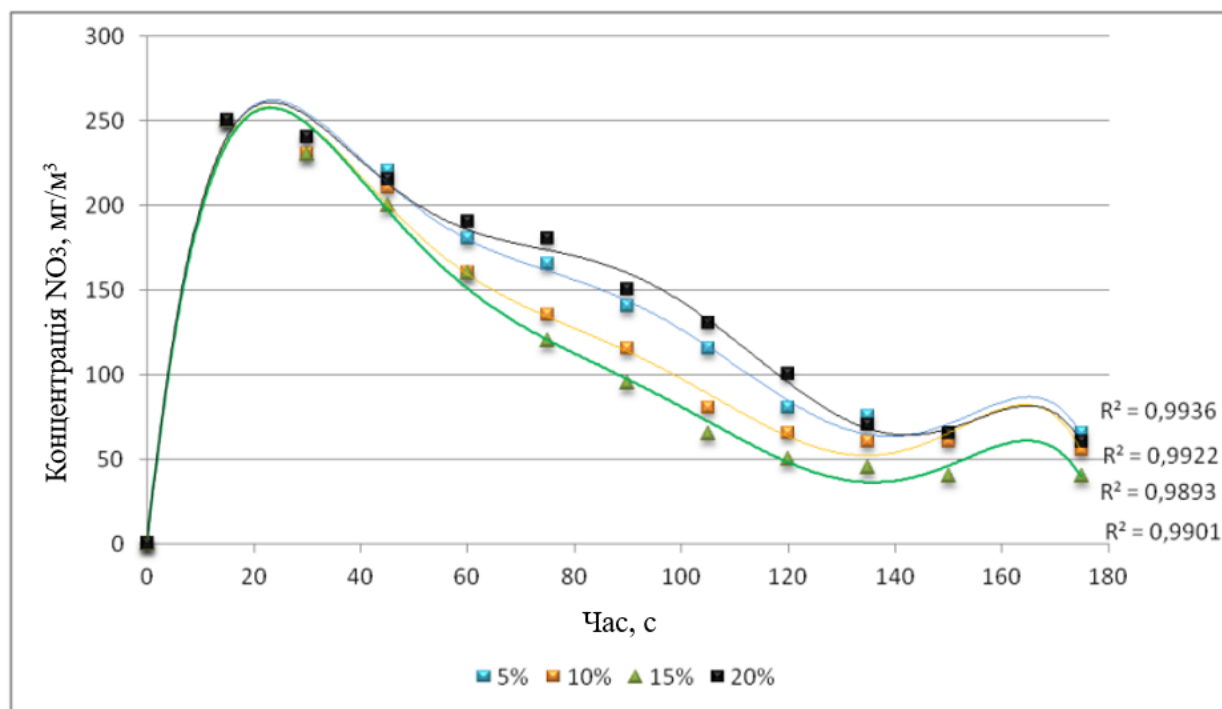


Рисунок 3.7. Залежність концентрації оксидів азоту в продуктах вибуху від відсоткового вмісту домішки.

3.5. ОЦІНКА ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ ПРИ ДЕТОНАЦІЇ ВИБУХОВОЇ РЕЧОВИНИ.

Дослідження викидів оксидів азоту при використанні модельованої вибухової речовини є незакінченим без підтвердження можливої реакції при вибуху. З метою підтвердження отриманих результатів було проведено ряд додаткових лабораторних досліджень. В якості досліджуваної вибухової речовини візьмемо пентаерітриттетранітрат (ТЕН). ТЕН – хімічне з'єднання $(\text{CH}_2\text{ONO}_2)_4\text{C}$, потужна вибухова речовина, чутлива до удару. В чистому вигляді ТЕН використовується для зарядження капсулі-детонатора, а у флегматизованому – для зарядження кумілятивних зарядів та детонуючого шнура. Хімічно стійка, являє собою білий порошок кристалічного вигляду. В загальному вигляді хімічна формула має вигляд $\text{C}_5\text{H}_8\text{N}_4\text{O}_{12}$, молярна маса складає 316,25г/моль, кисневий баланс – 10,12%.

Для визначення вмісту оксидів азоту в продуктах вибуху ТЕН проводились лабораторні дослідження у вибуховій камері ємністю 5л, газоаналізатор ГАНК-4, хімічна касета для визначення концентрацій оксидів азоту.

У вибухову камеру розміщується металева мортира діаметром 100мм і висотою 100мм. В центрі мортири пробурений шпур діаметром 6мм і глибиною 60мм. Схема виготовленої мортири наведена на рисунку 3.8.

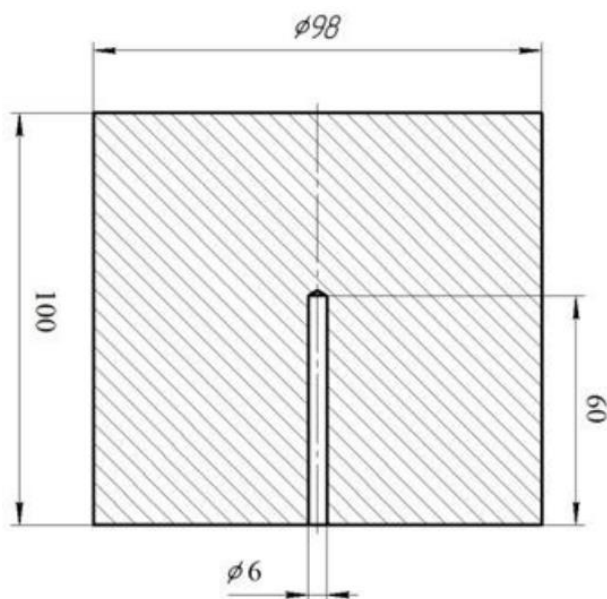


Рисунок 3.8. Металева мортира для проведення досліджень.

Для ініціювання ТЕН застосовано електричний запальник, який розташовується в нижній частині шпура. В заряджену частину шпура розміщується ТЕН масою 1,02гр. В якості забійного матеріалу використовується кварцовий пісок. Довжина заряду складає 36мм, а довжина забійки 21мм. Схема повністю готового устаткування наведена на рисунку 3.9.



Рисунок 3.9. Схема вимірювання викидів оксиду азоту.



Рисунок 3.10. Вид мортири з наважкою ТЕН в шпур

Для визначення вмісту оксидів азоту в продуктах вибуху дослідної вибухової речовини лабораторні дослідження проводяться без застосування будь-яких додаткових домішок. Отримані результати наведені у таблиці 3.13.

Таблиця 3.13. Концентрація оксидів азоту в продуктах вибуху при підриванні наважки ТЕН масою 1,02гр.

t, C ⁰	Концентрація NO ₂ , м ³	1	2	3	4	5
0		635	360	550	670	480
15		579	560	470	580	440
30		564	533	482	585	421
45		548	521	451	530	389
60		470	490	433	470	375
75		454	430	412	468	343
90		365	380	396	437	351
105		345	355	365	402	328
120		368	340	320	380	315
135		283	290	301	391	289
150		285	276	290	359	280
165		250	244	255	345	276
180		235	226	243	321	257
195		213	221	218	298	255
210		220	225	210	278	243
225		212	218	206	266	232
240		208	216	204	244	211
255		210	216	208	238	202

З наведених вище результатів видно, що у випадку використання вибухової речовини ТЕН у складі продуктів вибуху виділяється велика кількість оксидів азоту. Отримані результати підтверджують доцільність досліджень з модельованою вибуховою речовиною.

З метою доведення ефективності застосованого каталізатора для зниження викидів оксиду азоту в продуктах вибуху проводяться лабораторні дослідження по визначенню концентрації оксидів азоту при застосуванні карбонату цинку в

складі забійки в розмірі 20% відносно маси ТЕН. Отримані результати наведені наведені в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14. Концентрація оксидів азоту в продуктах вибуху при підриванні ТЕН з 20% вмістом карбонату цинку у складі забійки.

t, C ⁰	Концентрація NO ₂ , м ³	1	2	3	4	5
0		380	402	398	356	412
15		360	387	402	334	400
30		352	366	387	320	380
45		334	340	366	334	376
60		318	332	354	340	366
75		306	323	348	345	340
90		292	305	332	323	321
105		280	298	320	320	310
120		276	280	312	318	298
135		264	282	295	315	290
150		258	278	280	310	288
165		240	266	275	287	280
180		227	243	267	280	275
195		219	233	265	270	276
210		205	220	244	266	266
225		198	221	232	246	235
240		194	214	220	240	220
255		188	206	214	233	221

На рисунку 3.11. наведений графік залежності концентрації оксидів азоту в продуктах вибуху при вибуху наважки ТЕН масою 1,02гр і наважки ТЕН з 20% вмістом карбонату цинку у складі забійки.

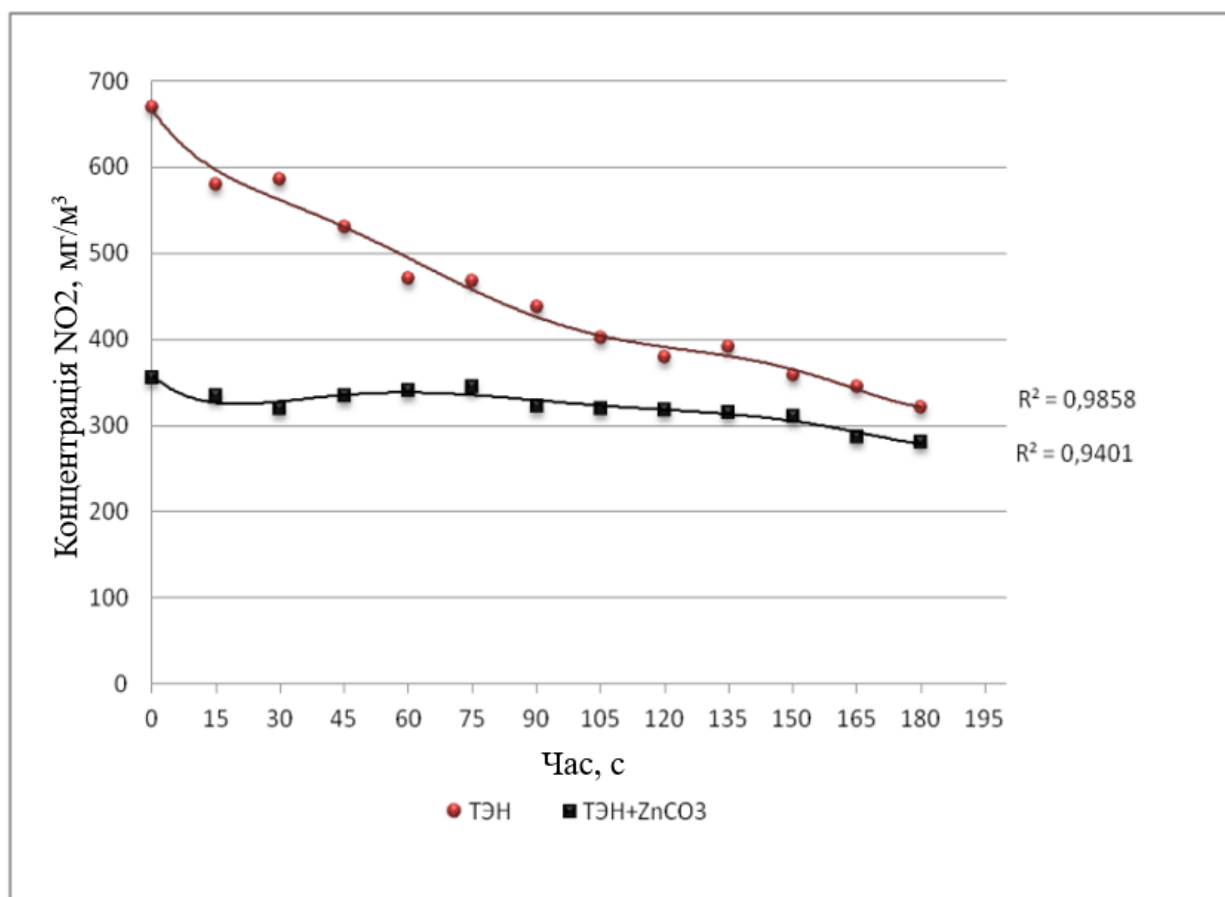


Рисунок 3.11. Графік залежності концентрації оксидів азоту в продуктах вибуху.

З наведених результатів видно, що застосування карбонату цинку дозволяє знизити викиди оксидів азоту більш ніж на 40%.

ГЛАВА 4. МОДЕЛЮВАННЯ ВИПРОБУВАННЯ РОЗРОБЛЕНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ВИБОРУ ДИСПЕРСНОСТІ І КОНЦЕНТРАЦІЇ ВИСОКОАКТИВНОГО КАТАЛІЗАТОРА В СКЛАДІ ПРОФІЛЬОВАНОЇ ЗАБІЙКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ, В УМОВАХ ПРАТ «ІНГЗК».

4.1. ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ РОДОВИЩА ПРАТ «ІНГЗК».

Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат введений в експлуатацію в 1965 році, п'ятим за рахункам і Кривому Розі. Видобуток магнетитових кварцитів відкритим способом, їх збагачення, укладка та зберігання відходів збагачення в шлаконакопичувачах складають основу виробничого процесу ПРАТ «ІНГЗК».

Основне призначення ПРАТ «ІНГЗК» - це виробництво залізорудного концентрату для металургійного переділу. Споживачі: металургійні комбінати України і ряду країн Східної Європи. Запаси силікато-магнетитових руд і окислених кварцитів дозволяють розглядати строк експлуатації ПРАТ «ІНГЗК» до 2050 року.

В геологічній будові родовища: граніти, залізисті кварцити протерозою, глини, пісок, вапняки кайнозою. Потужності перекривних порід складають 30-40м. За мінералогічним складом розрізняють руди силікато-магнетитові, магнетитові, магнетито-силікатні роговики, магнетитові і гематито-магнетитові джеспіліти. При відкритій розробці – розкриття родовища відбувається постійними внутрішніми траншеями. Система розробки – транспортна із вивозом пустих порід у зовнішні відвали. Шахтним способом розробляються прилеглі до джеспілітів крутопадаючі залежи багатих гематитових залізних руд.

Гірничо-транспортне обладнання: бурові установки, екскаватори, автосамоскиди великої вантажопід'ємності, конвеєри, залізничний транспорт, прохідні комплекси, навантажувальні машини, контактні електровози.

Територіальне віддалення ПРАТ «ІНГЗК» від Кривого Рогу визначило необхідність створення самостійної та незалежної інфраструктури. Фактично комбінат є підприємством-містом.

ПРАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» входить у склад Гірничодобувного дивізіону Метінвест, який на сьогоднішній день є одним із найбільш успішних підприємств України. Підприємство першим серед підприємств ГМК розробило, запровадило та сертифікувало системи менеджменту якості навколишнього середовища та охорони праці у відповідності вимог міжнародних стандартів ISO 9001, ISO 14001 та OHSAS 18001 відповідно.

В структурному плані підприємство являє собою поєднання гірничотранспортного та дробарно-збагачувального комплексів, блоку допоміжних цехів (в інфраструктуру підприємства входить 17 структурних підрозділів) та управління.

Основний комплекс:

- Кар'єр з виробничою потужністю по гірничій масі 70млн. тон в рік, глибина -425 метрів, довжина 3600 м, ширина 2300 метрів. Гірничі роботи ведуться одночасно на 31 горизонті.

- Цех технологічного автотранспорту потужністю по об'ємам перевезення більш ніж 60 млн.тон в рік.

- Залізничний цех, що здійснює відвантаження розкритих порід з горизонтів кар'єру, перевезення вскриші та вивіз продукції.

- Дробарна фабрика виробничою потужністю більше 36 млн.тон сирової руди в рік. Здійснює дроблення та подрібнення руди до потрібної консистенції.

- Дві рудозбагачувальні фабрики з річною виробничою потужністю $\approx 14,5$ млн.тон концентрату з масовою долею заліза 64,8-67%. Забезпечують виробництво та відвантаження товарного концентрату споживачу.

Допоміжний комплекс:

- Цех технічного водопостачання і шламового господарства. Здійснює транспортування, прийом та організоване складання «хвостів» збагачувальних фабрик та забезпечення їх водою для процесу збагачення.

- Автотранспортний цех. Здійснює перевезення робочих і ТМЦ, забезпечує доставку питної та технологічної води, а також харчування робітників.

- Лабораторія контролю якості. Виконує роботу по контролю процесу збагачення, стану навколишнього природного середовища, підтриманню працездатності електротехнічного, ваговимірювального обладнання, приймає участь у проведенні контролю якості товарно-матеріальних цінностей.

- Відділ технічного контролю (рудо-випробувальна станція). Основною задачею є контроль якості виробленого та відвантаженого концентрат, видача сертифікатів якості на готову продукцію.

- Цех технологічної диспетчеризації. Забезпечує надійний та якісний зв'язок між структурними компонентами підприємства.

- Цех мереж і підстанцій. Забезпечує безперебійне електропостачання споживачів комбінату електроенергією, здійснює проведення всіх видів ремонтів та оперативне обслуговування в цехах, використання виробничих потужностей та надійний облік отриманої та використаної електроенергії.

- Цех автоматизації технологічних процесів. Здійснює встановлення, обслуговування, профілактику та ремонт програмно-апаратних комплексів та блоків систем автоматизації технологічних процесів.

- Цех підготовки виробництва. Здійснює відвантаження, складання, складський облік та збереження товарно-матеріальних цінностей, забезпечує підрозділи комбінату обладнанням, матеріалами та запасними частинами.

- Спеціальна аварійно-рятувальна служба. Здійснює цілодобове чергування на випадок аварійного виклику. В разі необхідності займається рятуванням людей та безпосередньо ліквідацією аварії.

- Служба безпеки. Здійснює охорону власності та матеріальних цінностей ПРАТ «ІНГЗК», попередження, своєчасне виявлення і усунення загроз для персоналу, а також охорону фінансових і матеріальних ресурсів підприємства, проведення ревізій, перевірок, інвентаризацій, аналіз фінансово-господарської діяльності структурних підрозділів.

Технічне оснащення виробництва та застосування унікальних методів контролю, включаючи статистичні методи, дозволяють підтримувати стабільність якості продукції на всіх етапах виробництва.

Серед споживачів продукції ПРАТ «ІНГЗК» найбільші підприємства в Україні МК «Запоріжсталь», ВАТ «КЕМЕТ-СТАЛЬ». На зовнішньому ринку споживачів продукції заводи Східної Європи. До початку повномасштабного вторгнення російської федерації та тимчасової окупації продукція підприємства постачалась на ПРАТ «Азовсталь» та Маріупольський МК.

4.2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Данні методичні вказівки описують методику кількісного хімічного аналізу повітря робочої зони кар'єру для вимірювання в ньому оксидів азоту оптронноспектрофотометричним методом в діапазоні масових концентрацій від 0,5 до 20мг/м³.

Характеристика досліджуваних речовин

Оксид азоту:

- Фізико-хімічні властивості: безбарвний газ, не має запаху та незначно розчиняється у воді. Щільність 1,3402г/дм³. При контакті з киснем окислюється до діоксиду азоту. Температура плавлення – 163,7⁰С, температура кипіння – 151,8⁰С. У повітрі має агрегатний стан – пару;

- Молекулярна маса – 30,01;

- Структурна формула – N-O;

- Емпірична формула – NO;

- Характеристика: існує гранична допустима концентрація NO в повітрі робочої зони кар'єру, яка складає не більше 5,0мг/м³;

Діоксид азоту:

- Фізико-хімічні властивості: отруйний газ червоно-бурого кольору з неприємним різким запахом. Добре розчинний в воді. Щільність 1,491г/дм³. Температура плавлення – 11,2⁰С, температура кипіння – 20,7⁰С. У повітрі має агрегатний стан – пару;

- Молекулярна маса – 46,01;

- Структурна формула – O-N-O;

- Емпірична формула - NO₂;

- Характеристика: існує гранично допустима концентрація NO_2 в повітрі робочої зони кар'єру, яка складає не більше $2,0 \text{ мг/м}^3$.

Коротка характеристика вибухів, як джерел забруднення повітря.

При веденні буро-вибухових робіт на родовищах, що розробляються відкритим способом, забруднення повітря відбувається внаслідок викидів отруйних газів, які утворюються при вибухах і як наслідок руйнування гірської породи.

При вимірюванні масових концентрацій оксидів азоту у повітрі робочої зони кар'єру зруйновану гірничу масу та пилогазову хмару необхідно розглядати як два окремих самостійних джерела виділення отруйних газів.

Пилогазова хмара – це потужний миттєвий викид отруйних газів.

Зруйнована гірнична маса – постійно діюче джерело виділення отруйних газів впродовж всього періоду її екскавації.

При проведенні досліджень необхідно враховувати напрямок та швидкість вітру.

Метрологічні характеристики методики виконання досліджень.

При дотриманні всіх необхідних умов вимірювання масових концентрацій оксидів азоту у відповідності з даною методикою похибка результатів вимірювань не буде перевищувати значень наведених в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Метрологічні характеристики методики виконання досліджень.

Діапазон вимірювань концентрації оксидів/діоксидів азоту, мг/м^3	Межа основної відносної похибки $\pm\delta$, % відн.	Межа допустимої додаткової похибки, не більше	Межа відтворюваності, $R\delta$, % відн.
від 0,5 до 20,0	20	0,6 (від основної)	20

Метод вимірювань

Вміст оксидів азоту в повітрі робочої зони кар'єру визначають органноспектрофотометричним методом шляхом вимірювання швидкості зміни забарвлення стрічки хімічної касети, пропорційній концентрації речовини, що визначається.

Вимірювання проводять на автоматичному газоаналізаторі безперервної дії, використовуючи необхідну хімічну касету.

Відбір проб проводять в автоматичному режимі в момент ведення вибухових робіт на безпечній відстані.

Нижня межа вимірювань масової концентрації оксидів азоту у повітрі робочої зони кар'єру становить 0,5мг/м³. Вимірюванню не заважають супутні отруйні гази.

Підготовка до виконання вимірювань

Для безпечного встановлення вимірювального обладнання необхідно провести розрахунок мінімальної безпечної відстані по розльоту уламків від підривного блоку до точки встановлення газоаналізатора.

Визначити напрямлення та швидкість вітру на підривному блоці за допомогою анеометра.

Визначити місце встановлення обладнання для вимірювання масових концентрацій оксидів азоту виходячи із розрахунків безпечної відстані по розльоту уламків та напрямку вітру.

Виміряти температуру повітря безпосередньо в зоні відбору проб за допомогою термометра.

Виміряти вологість повітря безпосередньо в зоні відбору проб за допомогою психрометра.

Розрахувати основні параметри пилогазової хмари.

Обсяги пилогазової хмари V_0 розраховується за формулою:

$$V_0 = 44000 \cdot A^{1.08} \text{ , м}^3 \quad (4.1)$$

де: А – маса підірваної вибухової речовини, т.

Примітка: розрахунок обсягу пилогазової хмари може бути виконаний по спрощеним формулам в залежності від маси підірваної вибухової речовини:

$$\text{коли } A \leq 3 \quad V_0 = 47890 \cdot (A - 0,062), \text{ м}^3 \quad (4.2)$$

$$\text{коли } 3 \leq A \leq 30 \quad V_0 = 57580 \cdot (A - 0,62), \text{ м}^3 \quad (4.3)$$

$$\text{коли } A > 30 \quad V_0 = 69220 \cdot (A - 6,2), \text{ м}^3 \quad (4.4)$$

Висота підйому пилогазової хмари H_0 розраховується по формулі:

$$H_0 = B \cdot (164 + 0,258A), \text{ м} \quad (4.5)$$

де: B – безрозмірний коефіцієнт, який враховує глибину свердловини (при свердловині глибиною до 15м $B=1$; при свердловині глибиною більше 15м $B=0,8$).

Температура газів в хмарі T_0 розраховується по формулі:

$$T_0 = T_B + \Delta T, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.6)$$

де: T_B – температура навколишнього повітря, $^\circ\text{C}$

ΔT – перегрів пилогазової хмари відносно навколишнього повітря, $^\circ\text{C}$ (значення визначається з таблиці 4.2).

Таблиця 4.2. Значення ΔT в залежності від маси підірваної вибухової речовини

A, т	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	0,40	0,60	0,97	1,40	1,79	2,24	2,62	3,44	4,09	4,80

Відносна похибка при розрахунку об'єму і висоти підйому пилогазової хмари складає не більше 10%, при розрахунку температури газів – менше 5%.

Підготувати вимірювальний прилад у відповідності із інструкцією з використання.

Підготувати металеве укриття для встановлення в нього газоаналізатору. Конструкція укриття повинна забезпечити безпеку від потрапляння в обладнання уламків породи від вибуху. Рекомендовані розміри укриття залежать від габаритів газоаналізатора. У верхній частині укриття повинен бути отвір для встановлення щупу газоаналізатора.

Порядок виконання вимірювань масових концентрацій оксидів азоту в поверхні робочої зони кар'єру при масовому вибуху.

Перевірити рівень заряду батареї газоаналізатора. Батарея повинна бути повністю заряджена для безперервної і максимально можливої роботи обладнання.

Встановити необхідну хімічну касету для вимірювання оксидів азоту у відповідності з вимогами інструкції з використання обладнання.

Приєднати щуп для забору проб в необхідне місце і ввімкнути прилад.

Для визначення концентрації оксидів азоту у повітрі робочої зони до моменту вибуху провести декілька контрольних вимірювань.

За допомогою секундоміру зафіксувати час початку вимірювань і запустити відлік.

Накрити обладнання підготовленим металевим укриттям і помістити у отвір щуп для відбору проб, відійти на безпечну відстань від вибуху.

Зафіксувати за допомогою секундоміру час в момент масового вибуху.

Після повного провітрювання кар'єру та отримання дозволу на вхід в робочу зону кар'єру негайно відправитись до залишеного обладнання.

Зняти металеве укриття і оглянути прилад на наявність пошкоджень після чого зупинити роботу обладнання.

Зняти показники приладу на персональний комп'ютер.

Аналіз отриманих результатів

При аналізуванні отриманих результатів слід виділити три відрізки часу:

- 1) Час роботи обладнання до вибуху;
- 2) Час роботи обладнання від моменту вибуху до повного провітрювання;
- 3) Час роботи обладнання від повного провітрювання до зупинки роботи приладу.

Для визначення зниження викидів оксиду азоту при веденні вибухових робіт за рахунок застосування високоактивних каталізаторів у складі профільованої забійки вимірювання проводяться декілька разів.

В ході першого експерименту вимірюється концентрація оксидів азоту після проведення масового вибуху з використанням застосованої технології

ведення вибухових робіт. Враховуються діаметр свердловини, маса та щільність вибухової речовини, кількість свердловин, їх довжина та довжина заряду вибухової речовини, тип та довжина забійки.

В ході другого експерименту вимірюється концентрація оксидів азоту після проведення масового вибуху із застосуванням запропонованої свердловинної забійки з додаванням високоактивного каталізатора карбонату цинку ZnCO_3 . Маса каталізатора, що додається в забійку, визначається з урахуванням діаметра свердловини, маси і щільності застосованої вибухової речовини, довжини свердловини та довжини заряду вибухової речовини. Дисперсність застосованого каталізатора карбонату цинку ZnCO_3 складає 50-100мкм, концентрація в складі забивочного матеріалу 15-25% від маси забійки.

За результатами проведених досліджень встановлена залежність зниження викидів оксиду азоту від застосованого каталізатора карбонату цинку в складі профільованої забійки.

4.3. ОЧІКУВАННІ РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ ЗНИЖЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОКСИДІВ АЗОТУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ МАСОВИХ ВИБУХІВ В КАР'ЄРІ

Очікувані результати вимірювання концентрації оксидів азоту у повітрі робочої зони при застосуванні забійки з дрібного щебню наведені в таблиці 4.3., а в таблиці 4.4. наведені результати вимірювань концентрації оксидів азоту у повітрі робочої зони при застосуванні запропонованої свердловинної забійки з додаванням в склад карбонату цинку. На рисунку 4.1 наведена залежність концентрації оксидів азоту у повітрі робочої зони у часі для проведення досліджень.

Таблиця 4.3. Концентрація оксидів азоту у повітрі робочої зони при застосуванні забійки з дрібного щебню.

№ з/п	Час, с	Концентрація, мг/м ³	№ з/п	Час, с	Концентрація, мг/м ³
1	30	0	22	660	14,19
2	60	0	23	690	13,87
3	90	0	24	720	12,31

4	120	0	25	750	11,67
5	150	0	26	780	10,5
6	180	0	27	810	9,33
7	210	0	28	840	7,91
8	240	0	29	870	5,21
9	270	0	30	900	3,7
10	300	0	31	930	2,1
11	330	0	32	960	1,87
12	360	0	33	990	0,92
13	390	0	34	1020	0,77
14	420	0	35	1050	0,54
15	450	0	36	1080	0,23
16	480	0	37	1110	0,07
17	510	0	38	1140	0
18	540	12,5	39	1170	0
19	570	13,35	40	1200	0
20	600	14,01	41	1230	0
21	630	14,23	-	-	-

Таблиця 4.4. Концентрація оксидів азоту у повітрі робочої зони при застосуванні запропонованої свердловинної забійки з додаванням в склад карбонату цинку

№ з/п	Час, с	Концентрація, мг/м ³	№ з/п	Час, с	Концентрація, мг/м ³
1	30	0	24	720	0
2	60	0	25	750	0,95
3	90	0	26	780	1,34
4	120	0	27	810	1,67
5	150	0	28	840	1,71

6	180	0	29	870	1,69
7	210	0	30	900	1,41
8	240	0	31	930	1,35
9	270	0	32	960	1,33
10	300	0	33	990	1,37
11	330	0	34	1020	1,19
12	360	0	35	1050	0,81
13	390	0	36	1080	0,67
14	420	0	37	1110	0,53
15	450	0	38	1140	0,37
16	480	0	39	1170	0,21
17	510	0	40	1200	0,05
18	540	0	41	1230	0
19	570	0	42	1260	0
20	600	0	43	1290	0
21	630	0	44	1320	0
22	660	0	45	1350	0
23	690	0	-	-	-

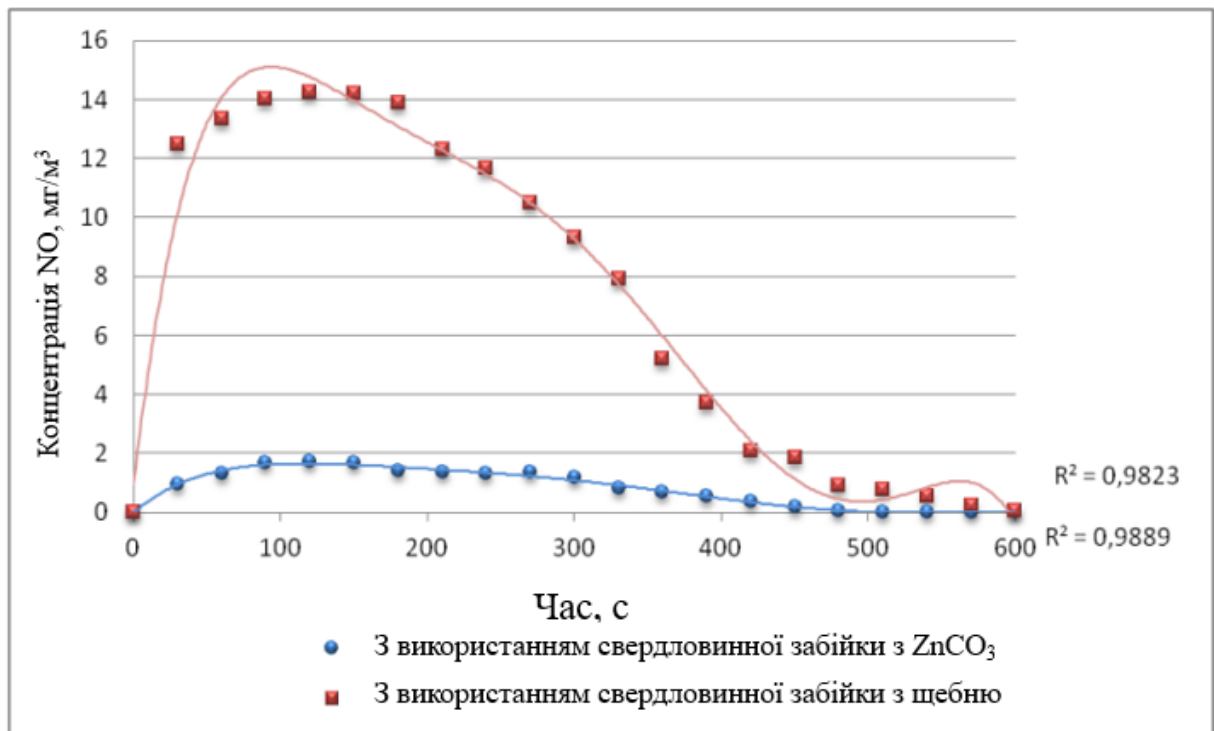


Рисунок 4.1. Залежність концентрації оксидів азоту у повітрі робочої зони.

При використанні свердловинної забійки із вмістом в складі карбонату цинку, концентрація оксидів азоту у повітрі робочої зони не перевищує гранично допустимих значень. Проведені дослідження вибухового руйнування свердловинними зарядами із застосуванням запропонованої конструкції заряду доводять, що використання карбонату цинку дисперсністю 50-75мкм та концентрацією 15-20% у складі профільованої забійки, веде до мінімальних викидів оксидів азоту. Це зумовлено тим, що за рахунок затримки продуктів детонації в свердловинах карбонат цинку бере участь в хімічній реакції з утвореними після вибуху оксидами азоту та нейтралізує їх.

ВИСНОВКИ

В даній роботі запропоновано проект рішення актуальної проблеми гірничодобувних підприємств – зниження шкідливих викидів, а саме оксиду азоту, в продуктах вибуху при проведенні вибухових робіт на основі застосування високоефективних каталізаторів у складі свердловинної забійки.

Основні результати:

1. Запропонована методика визначення концентрації оксидів азоту в складі продуктів вибуху при проведенні масових вибухів на родовищах, що розроблюються відкритим способом.

2. Проведені математичні розрахунки параметрів процесу дисоціації часток каталізаторів, встановлена залежність часу розкладання каталізаторів від діаметра часток та температури продуктів вибуху.

3. Запропонований метод зниження вмісту оксидів азоту в продуктах вибуху при веденні вибухових робіт на основі застосування високоактивних каталізаторів у складі свердловинної забійки.

4. Підтверджена достовірність отриманих результатів теоретичних досліджень шляхом порівняння з експериментальними даними.

5. Встановлена залежність зниження концентрації оксидів азоту в продуктах вибуху в часі від типу застосованого каталізатора та його дисперсності.

6. На основі моделювання встановлена можливість застосування високоактивних каталізаторів у складі профільованої забійки.

7. Експериментальним шляхом встановлено, що найбільш ефективним каталізатором у складі свердловинної забійки для зниження викидів оксидів азоту є карбонат цинку ZnCO_3 .

8. Доведено, що використання карбонату цинку дисперсністю 50-75 мкм та концентрацією 15-20% у складі профільованої забійки веде до мінімізації викидів оксиду азоту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузьмина, Р.И. Каталитическая очистка газовых выбросов от оксидов углерода и азота / Р.И. Кузьмина, В.П. Севостьянов // Росс. хим. журн. 2000. - Т. 44, №1.-С. 71-77.
2. Ефремов, В.Н., Моисеев М.М., Леонов В.Т. и др. Ж. прикл. химии, 1998, т. 71, вып. 3, С. 427-431.
3. Баум Ф.А., Державец А.С. и др. Термостойкие взрывчатые вещества на их действие в глубоких скважинах., М., «Наука», 1960, 157с.
4. Верятин У.Д. и др. Термодинамические свойства неорганических веществ. Справочник. Атомиздат. М. 1968, 460с.
5. Лютов В.Д., Воскобойников И.М., Афанасенков А.Н., Апин А.Я. Об оценке давления детонации ВВ, содержащих инертную добавку. Сб. «Взрывное дело», № 63/20, М., Недра, 1967, с. 82-86.
6. Д.М. Гончаров Звіт з оцінки впливу на довкілля. Київ, 2018р.
7. Д. М. Гончаров Звіт з оцінки впливу на довкілля. Київ, 2020р.
8. <https://kdpu.edu.ua/pryrode-kryvorizhzhia>.
- 9.В.А. Юрченко, Д.В. Кулікова Економічна безпека та охорона праці.
- 10.М.О. Шепелюк, О.Я. Смірнов Геолого-мінералогічний вісник Кривбасу.
- 11.<https://agrarii-razom.com.ua/plants/klen>
12. <https://ogorodnikam.com/derevyja/ajlonti>.
- 13.<https://geovys.ezikashtan-voseni-opis-i-budova/>
- 14.<https://proxima.net/ua/ua/lipa-cordata-html>.
- 15.<https://ru.ostiva.ua/vnz/repost/biolog127328/>.
- 16.<https://icenoz.orgip/buzok-zvichainii/>.
- 17.<https://studfile.net.preview/5775247/page:33/>.
- 18.<https://pidru4niki.com/18800413/bzhd/shum-viznachannya-polya>.
- 19.<https://pidru4niki.com/1181092038290/bzhd/vibrotsiya>.