

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет «Гірничий»
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра «Управління гірничим виробництвом»
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____/Ляшок Я.О./
“ ____ ” _____ 2021_року

Випускна кваліфікаційна робота

магістр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Обґрунтування способів і засобів запобігання займання і вибуху вугільного пилю в умовах ВП Шахта «Котляревська»

Виконав: студент 2 курсу, групи ОПГзм-19

напряму підготовки (спеціальності) 184 «Гірництво», спеціалізація «Охорона праці в гірництві»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Федосєєв Д.К. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник доц. каф. РРКК, к.т.н., доц. Мерзлікін А.В. _____
(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

*Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць ін-
ших авторів без відповідних посилань.*
Студент Федосєєв Д.К. _____
(підпис)

Покровськ – 2021

Напрямок підготовки (спеціальність) 184 «Гірництво»

“ ” 2021 року

викопіювання з плану гірничих виробок; загальна характеристика відомих способів і засобів запобігання займання і вибуху вугільного пилу; дослідження вибухових властивостей кам'яновугільного пилу; основні параметри процесів горіння і вибуху вугільного пилу; вплив добавок антипірогену на займистість і вибуховість вугільного пилу; пропоновані науково обґрунтовані рекомендації для запобігання займання і вибуху вугільного пилу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____ 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ n/n	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз відомих способів і засобів запобігання займання і вибуху вугільного пилу в шахтному середовищі		
2	Аналіз методів і методик дослідження параметрів процесів горіння і вибуху вугільного пилу		
3	Дослідження вибухових властивостей кам'яновугільного пилу в умовах глибоких шахт		
4	Методика дослідження впливу добавок антипірогену на займистість і вибуховість вугільного пилу		
5	Розробка науково обґрунтованих рекомендацій для запобігання займання і вибуху вугільного пилу		
6	Оформлення роботи і підготовка до захисту		

Студент _____ Федосєєв Д.К. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Мерзлікін А.В. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Федосєєв Д.К. Обґрунтування способів і засобів запобігання займання і вибуху вугільного пилу в умовах ВП Шахта «Котляревська / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 184 «Гірництво» (спеціалізація «Охорона праці в гірництві»). – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Магістерська робота присвячена питанням зниження небезпеки або ймовірності виникнення небезпечних ситуацій, які можуть супроводжуватися пожежею або вибухом.

В ході роботи запропоновано методику дослідження впливу добавок, які зменшують займистість і вибуховість вугільного пилу, що дозволяє кількісно оцінити найбільш значущі параметри займання і вибуху вугільної пилоповітряної суміші; розроблено ініціює пристрій з хімічного займання, що дає можливість повноцінно замінити стандартні промислові воспламенители і знизити трудовитрати на лабораторні випробування; встановлено вплив енергії піротехнічного займання на точність одержуваних результатів досліджень; досліджені вибухонебезпечні характеристики кам'яновугільної пилу і встановлено, що більшою вибухонебезпечністю володіє кам'яновугільна пил більш метаморфізованого вугілля; встановлено, що з ряду досліджених вогнегасних складових найбільшою вибухопридушуючою ефективністю володіє склад на основі карбаміду і хлористого калію.

Ключові слова: безпечна робота очисного вибою, вибухонебезпечність, газорясність, виробничий ризик.

ABSTRACT

Fedoseev D.K. Substantiation of methods and means to prevent ignition and explosion of coal dust in the conditions of VP Mine "Kotlyarevskaya / Graduation qualification work for the degree of "master" in the specialty 184 "Mining" (specialization "Safety in mining"). – DonNTU, Pokrovsk, 2021.

The master's thesis is devoted to the reduction of danger or the likelihood of dangerous situations that may be accompanied by fire or explosion.

In the course of work the technique of research of influence of additives which reduce flammability and explosiveness of coal dust is offered that allows to estimate quantitatively the most significant parameters of ignition and explosion of coal dust-air mixture; developed an initiating device for chemical ignition, which makes it possible to fully replace standard industrial igniters and reduce labor costs for laboratory tests; the influence of pyrotechnic ignition energy on the accuracy of the obtained research results is established; explosive characteristics of coal dust have been studied and it has been established that coal dust of more metamorphosed coal is more explosive; it was found that of a number of investigated fire-extinguishing components, the composition based on urea and potassium chloride has the greatest explosion-suppressing efficiency.

Key words: safe operation of the face, explosion hazard, gas clarity, production risk.

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ЛОКАЛІЗАЦІИ ВИБУХІВ ВУГІЛЬНОЇ ПИЛУ.....	8
1.1. Сучасні уявлення про механізм займання і вибуху метано пилоповітряних сумішей.....	8
1.2. Аналіз відомих способів і засобів запобігання займання і вибуху метано-пилоповітряних середовищ	17
1.3. Огляд існуючих сумішей запобігання займання і вибуху метано-пилоповітряних середовищ.....	24
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ І ВИБУХУ ШАХТНОГО СРЕДОВИЩА	28
2.1 Системи оцінки вибухопожежонебезпечності сумішей	28
2.2 Вітчизняні та іноземні методики	29
2.3 Методика дослідження впливу добавок, що пригнічують займистість і вибуховість вугільного пилу	33
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНИХ НАПОВНЮВАЧІВ НА ЗАПАЛЕННЯ І ВИБУХ ППС	42
3.1 Обґрунтування вибору енергії запалювання вугільного пилу піротехнічними запалювачами.....	42
3.2 Дослідження вибухових властивостей кам'яновугільної пилу глибоких шахт	45
3.3 Дослідження впливу різних типів інгібіторів на вибух	52
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ ІНГІБІТОРІВ У СКЛАДІ ЗАСОБІВ ЛОКАЛІЗАЦІИ ВИБУХІВ.....	58
4.1 Обґрунтування вибору системи локалізації вибухів	58
4.2 Обґрунтування застосування засобів на основі хлористого калію карбаміду в системі локалізації вибухів.....	61
ВИСНОВКИ.....	67
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68

ВСТУП

Практика ведення гірських робіт в умовах шахт, небезпечних за газом та пилом, показує, що, незважаючи на досягнення в розробці засобів і способів запобігання поширенню горіння і вибуху метано пилоповітряних сумішей відбуваються вибухи метану і вугільного пилу, що супроводжуються людськими жертвами і значним матеріальними збитками.

Проектування засобів і способів локалізації вибухів за рахунок більш високої чутливості метано-повітряної суміші до імпульсу займання, а також більш низькою критичною температурою її спалаху ведеться з метою запобігання вибуху метано-повітряних сумішей. Проте, оцінка ефективності їх дії проводиться в пилоповітряних сумішах.

Аналіз результатів розслідування аварій показує недостатню ефективність існуючих систем локалізації вибуху метано-плевовоздушних сумішей. Тому наукові дослідження, спрямовані на встановлення взаємозв'язку між властивостями сумішей, що пригнічують горіння і вибухи метано-плевовоздушних сумішей, і розробка рекомендацій щодо їх застосування для запобігання поширенню горіння і їх вибуху є важливим завданням для гірничодобувної галузі в науковому та практичному плані.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ЛОКАЛІЗАЦІИ ВИБУХІВ ВУГІЛЬНОЇ ПИЛУ

1.1. Сучасні уявлення про механізм займання і вибуху метано пилоповітряних сумішей

Серед небезпек гірничого виробництва найбільш важкими за своїми наслідками, як і раніше залишаються аварії, пов'язані із запалюванням метану і вугільного пилу, які в більшості випадків носять характер катастроф.

У сучасну епоху попередження і локалізація вибухів в шахтах набуває особливої значущості, стає не тільки актуальним завданням, але і практично єдиним способом життєзабезпечення в шахтах і збереження підприємства. [1]

Горіння - це сукупність складних фізико-хімічних процесів, таких як хімічні реакції між компонентами (паливо-окислювач), дифузія, теплопередача і ін. Саме теплопередача і (або дифузія) активних центрів полум'я (АЦП) обумовлюють процес поширення полум'я по горючій суміші. Як відомо, займанням і країнам, що розвиваються горінням називається режим прогресуючого самоускорення хімічного процесу. Такий процес може бути викликаний двома причинами:

- самозаймання (коли в будь-який з точок горючої суміші досягаються деякі критичні параметри нагріву і стиснення)

- займанням від зовнішніх джерел (несправне електрообладнання, вибухові роботи і фрикційне іскріння при роботі виїмкових і прохідницьких комбайнів, а також бурових верстатів і ін.)

В даний час існує дві основні теорії, що пояснюють процеси виникнення і розвитку вибуху:

- теплова теорія,
- теорія радикально-ланцюгових (або просто ланцюгових) реакцій.

Обидві теорії базуються на висновках кінетичної теорії і не тільки не виключають, але і доповнюють один одного.

В тепловому горінні необхідною умовою такого режиму є перевищення швидкості тепловиділення (Q_{+}) над швидкістю відводу тепла (Q_{-}) [2] і, разом з тим, більш сильне прискорення тепловиділення від підвищення температури в порівнянні з прискоренням тепловідведення, тобто процес горіння переходить в режим теплового вибуху, коли не тільки коли $Q_{+} > Q_{-}$, але і коли швидкість теплопроходу залежить від температури більше, ніж швидкість відводу тепла. [3]

$$\frac{\partial Q_{+}}{\partial T} > \frac{\partial Q_{-}}{\partial T}$$

У разі якщо горіння і займання протікають з настільки високою швидкістю, що нагріте в зоні горіння газ не встигає розширюватися до розмірів, порівнянних з розміром реактора, і тепло практично не встигає передаватися в сусідні шари газу, в безпосередній зоні реакції відбувається стрибкоподібне зростання тиску і температури. Кордон цієї області просувається в середовищі з надзвуковою швидкістю по відношенню до ненагрітими середовищі. [4]

Якщо швидкість поширення полум'я $V_{п}$ істотно менше швидкості звуку в даному середовищі - це дефлаграційне горіння, якщо більше - це детонаційне горіння (вибух). Однак в реальності між дефлаграційним горінням ($V_{п} = 0,1 \dots 10 \text{ м / с}$), коли ударна хвиля взагалі відсутній, і

детонаційними, коли фронт полум'я і фронт ударної хвилі суміщені, знаходиться досить велика частина так званих «подвійних нестационарних розривів». [5]

Відповідно до теорії ланцюгових реакцій, при наявності ланцюгового механізму горіння, який характерний для вуглеводнів, швидке накопичення АЦП в газовій суміші робить можливим «холодну» займання суміші, тобто без початкового розігріву реагує середовища.

Основними частинками, що формують АЦП і завдяки яким розвивається ланцюгова процес горіння, є частинки О, Н, ОН, СН₃, максимальні об'ємні частки яких ($V_d, \%$) в пламенах вуглеводнів досягають: Н - 0,3; О - 1; ОН - 1,5; СН₃ - 0,2 [6,7].

Процес окислення метану киснем складається більш ніж зі ста елементарних стадій. Ланцюгова реакція може бути простою і розгалуженою. В останньому випадку один із регенованих активних центрів буде продовжувати реакцію, а інші почнуть нові ланцюги (рис. 1.1) [8].

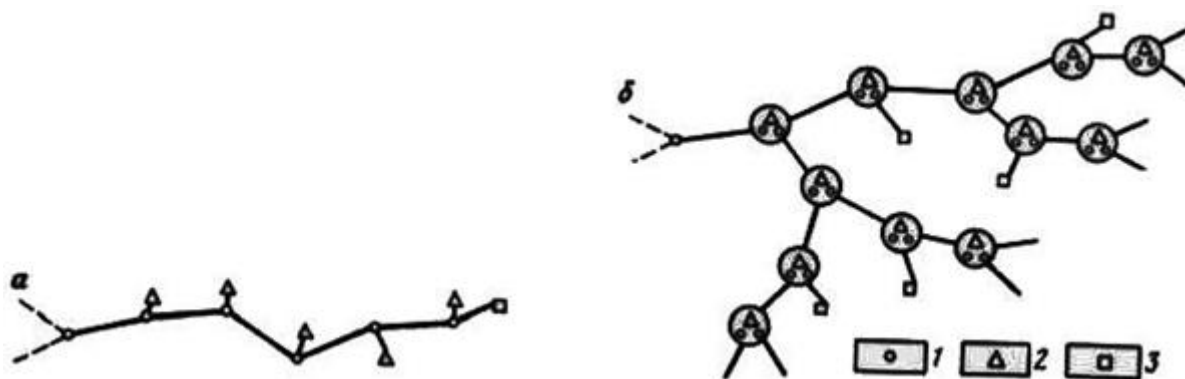
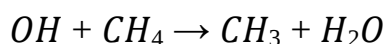
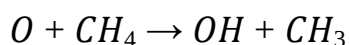
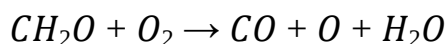
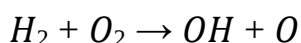


Рис. 1.1 - Схема ланцюгових реакцій: а - прості (нерозгалужені); б - розгалужені; 1 - активні центри; 2 - продукти реакції; 3 - побічні продукти зародження розгалуження

Однак наявний експериментальний матеріал про проміжні продуктах окислення метану дозволив багатьом авторам запропонувати більш-менш

повні схеми протікання цієї реакції. В даний час виявлено і відібрані 86 елементарних реакцій за участю 17 частинок (активних центрів); в тому числі OH, H, O, NO₂, H₂O₂, CH₂O. Оскільки тип проміжних продуктів і характер проміжних реакцій має велике значення при оцінці умов самозаймання газу і розробці заходів, що запобігають спалах, наведемо найбільш найімовірніше зі схем:



Джерелом зародження ланцюга, тобто утворення активних центрів в метано-повітряної суміші (МПС) може служити ударна хвиля. В принципі, досить одного активного центру, щоб вихідні компоненти (CH₄ і O₂) перетворити в кінцеві (CO₂ і H₂O). Найбільшим часом життя має радикал OH, а при підвищенні температури в багатьох метано-повітряної суміші, найбільш довготривалим є атомарний водень (H).

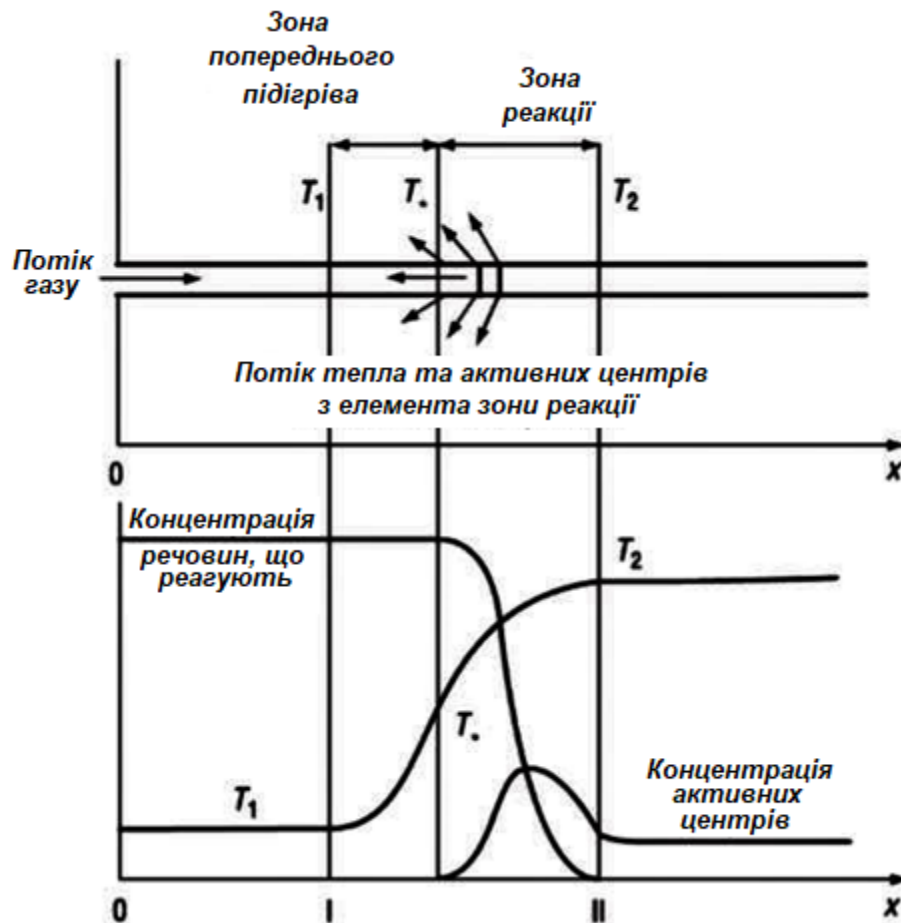


Рис. 1.2 - Схема поширення і структура хвилі горіння. Концентрація реагуючих речовин в хвилі горіння газоповітряної суміші монотонно падає від початкової величини до нульової. Одночасно, концентрація активних центрів, зростаючи в зоні хімічної реакції, проходить через максимум і знижується до величини, що відповідає тепловому

Рівноваги між атомами, вільними радикалами і нейтральними молекулами біля кордону II (рис. 1.2). Кордон між двома зонами, що розташовуються до і після перегину температурної кривої (зони попереднього підігріву і реакції), є фронтом займання. У гірських виробках на процес поширення хвилі горіння накладається турбулізуючий вплив шорсткуватих поверхонь стінок виробки або рух потоку повітря вентиляції. В результаті чого змінюється механізм передачі тепла - з молекулярної теплопровідності на турбулентну теплопровідність і дифузію.

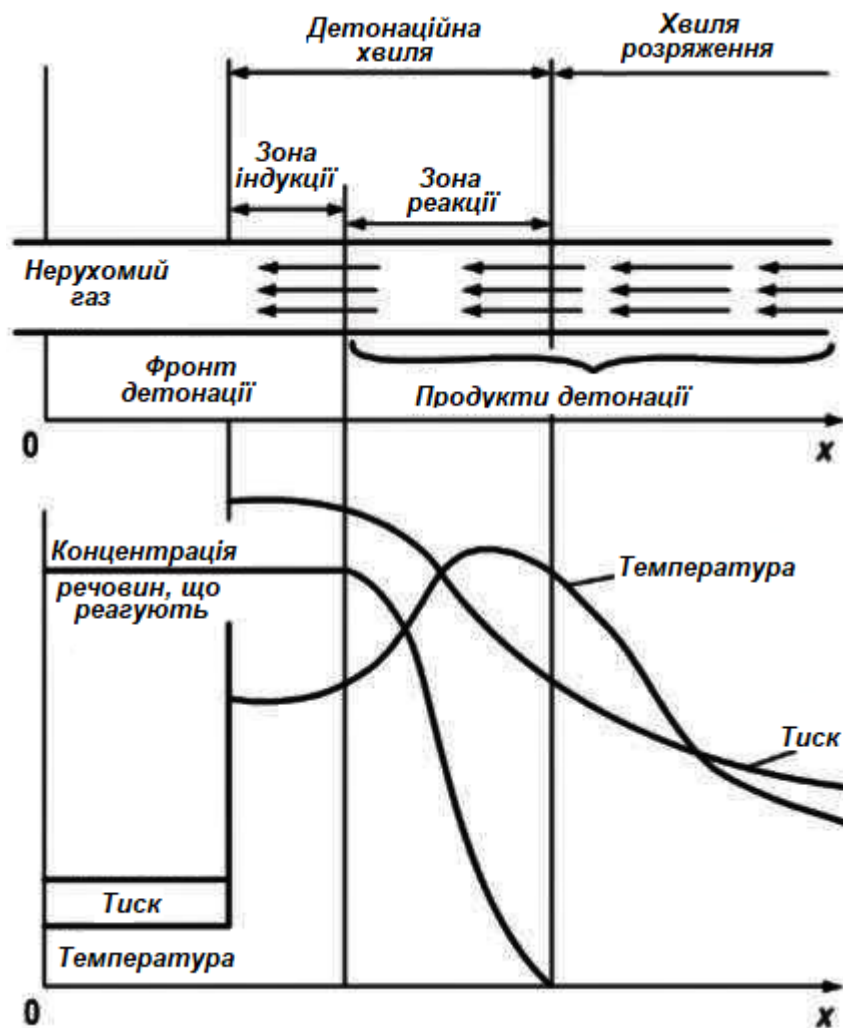


Рис. 1.3 - Схема поширення і структура детонаційної хвилі вибуху.

Відмінними рисами процесу вибухового горіння газу є триває розліт продуктів вибухового горіння і збереження високої температури продуктів горіння і після закінчення процесу [9].

Швидкість горіння збільшується за рахунок попереднього нагріву і стиснення газоповітряної суміші хвилями стиснення перед фронтом полум'я і при певних параметрах концентрації і об'єму пального можуть привести до

виникнення ударної хвилі. При цьому фронт полум'я зливається з фронтом ударної хвилі, створюючи єдиний фронт детонаційної хвилі (рис. 1.3).

Процес горіння газоповітряних сумішей в гірських виробках може поширюватися по газоповітряним сумішей з різними швидкостями. З кількісним зміною швидкості поширення полум'я різко змінюється якісна картина протікає процесу: виникаючи від слабкого джерела, хвиля горіння газу може з незначною швидкістю поширяться по шарових скупчень метану, але також може швидко розганятися з формуванням перед собою хвилі стиснення, яка в змозі зробити руйнівну роботу. Хвиля стиснення швидко переходить в ударну хвилю, швидкість поширення якої досягає декількох сотень метрів в секунду [9].

Також слід врахувати властивість «чистих» метано-повітряних і пилоповітряних сумішей істотно знижувати свій нижню концентраційну межу вибуховості (НКМВ) як при додаванні в метано-повітряну суміш вугільного пилу, так і при підвищенні концентрації метану в пиловій аерозолі. Так, наприклад, при додаванні в метано-повітряну суміш 50-100 г / м³ вугільного пилу створюються умови, при яких МПС об'ємної концентрацією всього 2% стає вибуховою, і, аналогічно, наявність в пилоповітряної суміші 6% метану збільшує верхній концентраційний межа вибуховості (ВКМВ) з 1500 до 3000 г / м³ [10]. Таким чином, вугільний пил, що відкладений на стінках гірничих виробок і поверхнях гірських машин, при переході у зважений стан, завдяки ударній хвилі від вибуху, може створити вибухонебезпечну МПВС на великої протяжності гірничих виробок.

Маса зваженої в повітрі частинки вугілля являє собою сукупність складних макромолекул, розкладених рослин, які включають в себе молекули целюлози, лігніну, білків, жирів і воску [8], а також алифатичну частину, що складається з елементів вуглецю, водню, кисню, азоту та сірки (рис. 1.4).

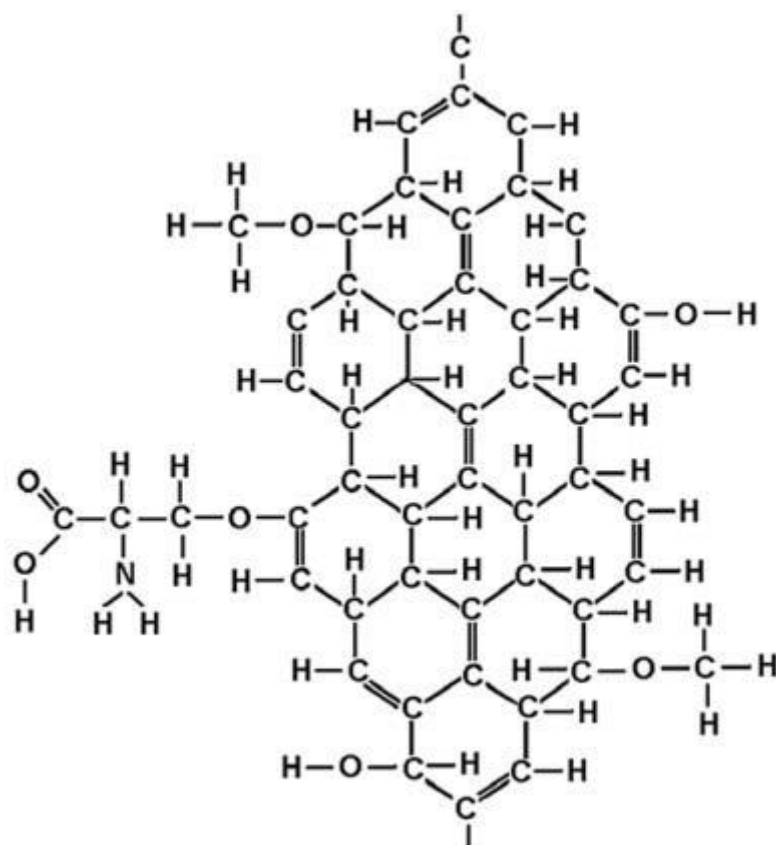


Рис. 1.4 - Схема фрагмента макромолекули вугілля

Відповідно до гіпотези, запропонованої авторами [125] процес горіння і вибуху вугільного пилу розглянуто з позиції поширення горючого середовища в результаті передачі енергії від шару до шару. Відтворена енергія в попередньому шарі є ініціатором для початку ендотермічної реакції в наступному шарі, що призводить до збільшення енергії, що виділяється, температури та надлишкового тиску в геометричній прогресії. Швидкість поширення фронту полум'я зростає пропорційно збільшенню енергії. Кількість енергії зовнішнього джерела одно сумарної внутрішньої енергії міжатомних зв'язків горючих фракцій вугільного пилу і визначається за формулою:

$$U_e = m \cdot V) \cdot (0,34 \cdot C_P - 2,56 \cdot H_P + 0,22 \cdot O_{PKДж} / \text{мЗ},$$

де m - маса фракцій вугільного пилу, V -початковий обсяг, H_P і C_P O_P - масові частки водню, вуглецю і кисню (%) відповідно.

Екзотермічні реакції в частинках вугільного пилу починаються паралельно з ендотермічними. Хімічні реакції в частинках вугільного пилу такі ж, як і в метані. Атоми водню об'єднуються в молекули і з'єднуються з киснем, що входять до складу вугілля і що надходять з навколишнього повітря. Вільні радикали, що звільняються в процесі реакції, утворюють вуглекислий газ в з'єднанні з киснем повітря і молекули води. В пористої масі вугільного пилу підвищується тиск в результаті переходу твердої речовини в газоподібний. Першими відбуваються реакції з елементами алифатической групи. Беруть участь молекули метану додатково розігрівають внутрішню частину частки. Сумарна кількість енергії при утворенні продуктів горіння вугільного пилу визначається за формулою:

$$E = (m \cdot V) \cdot (-4,43 \cdot H_P - 0,328 \cdot C_P, \text{кДж} / \text{мЗ},$$

де m - маса фракцій вугільного пилу, V -початковий обсяг, H_P і C_P - масові частки водню і вуглецю (%).

Швидкість переходу реакцій від одного шару до сусіднього шару залежить від тривалості ендотермічних реакцій і початку екзотермічних. Візуально цей перехід супроводжується переходом полум'я горіння. Таким чином, швидкість поширення полум'я у виробленні залежить від сумарної тривалості реакцій розкладання горючої речовини на елементи. При виникненні зовнішнього джерела запалювання відбувається нагрівання горючої речовини і молекул кисню та азоту в повітрі. Тривалість ендотермічних реакцій метану і вугільного пилу не однакова, так як на відміну від вугільного пилу до молекул метану кисень повітря має безпосередній доступ.

1.2. Аналіз відомих способів і засобів запобігання займання і вибуху метано-пилоповітряних середовищ

Аналізуючи сучасні уявлення про процес горіння і вибуху МППС вочевидь, що для створення умов їх запобігання і ліквідації необхідно:

1. Виключити можливість виникнення енергетичного імпульсу, який «запускає» процес.
2. Виключити наявність компонента, який запалює концентрацією, що перевищує НКМВ і ВКМВ.
3. Виключити доступ окислювача (кисню) до вогнища або знизити його зміст в суміші.
4. Охолодити осередок загоряння нижче температури займання.
5. Припинити або сповільнити утворення нових АЦП (перервати ланцюгові реакції горіння).

Перші два пункти мають місце бути в ситуації, коли займання ще не відбулося. Їх рішенням зазвичай є такі профілактичні операції як застосування вибухозахищеного гірничо-шахтного устаткування, застосування запобіжних вибухових речовин (ЗВР) під час проведення підривних робіт, контроль над концентрацією і ліквідація скупчень метану, заходи по перетворенню вугільного пилу в невибухових середу.

Заходи, спрямовані на попередження вибухів вугільного пилу реалізуються шляхом застосування:

- інертного пилу (осланцювання);

- води або водних розчинів поверхнево-активних речовин (гідропиловибухозахист);

- води та інертного пилу.

Гідропиловибухозахист включає в себе:

- зрошення пилу водою або розчинами ПАР;

- прибирання пилу;

- зволоження вугілля в масиві;

- зв'язування пилу.

Останні ж три пункти умов запобігання вибуху відносяться до ситуації, коли займання горючої суміші вже відбулося і необхідно вжити заходів щодо його ліквідації або локалізації.

Для локалізації вибухів МППС застосовуються заслони. За принципом дії заслони діляться на пасивні і активні (автоматичні). Пасивні заслони спрацьовують безпосередньо від дії ударної хвилі вибуху, а автоматичні від спеціальних датчиків або пристроїв.

Пасивні заслони класифікують за видом речовини полум'ягасіння (вода, інертний пил), кількості виробок що захищаються (основні і допоміжні) і за розподілом речовини гасіння в заслоні (концентровані і розосереджені). Заслони також відрізняються конструктивно, способом кріплення у виробці і за геометричними параметрами.

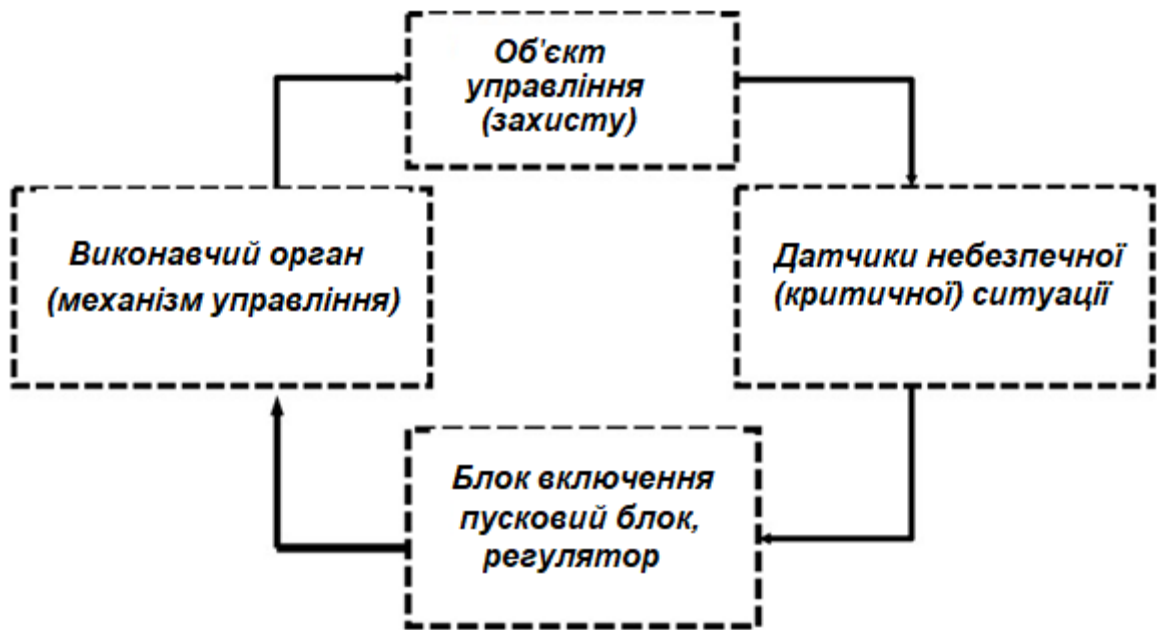


Рис. 1.7 - Структурна схема автоматичної системи.

Застосування так званої другої лінії вибухозахисту ведеться шляхом використання принципово нових заслонів - автоматичних систем вибухоподавлення (АСВП), які мають на меті локалізувати спалах (вибух) МППС, причому безпосередньо вогнищі - на початковій стадії розвитку. Принципова схема автоматичної системи представлена на рис. 1.7.

Ґрунтуючись на даній структурній схемі можна побудувати блок схему всіх видів АСВП в гірничій виробці (рис. 1.8, 1.9, 1.10)



Рис. 1.8 - Блок-схема пасивного заслону

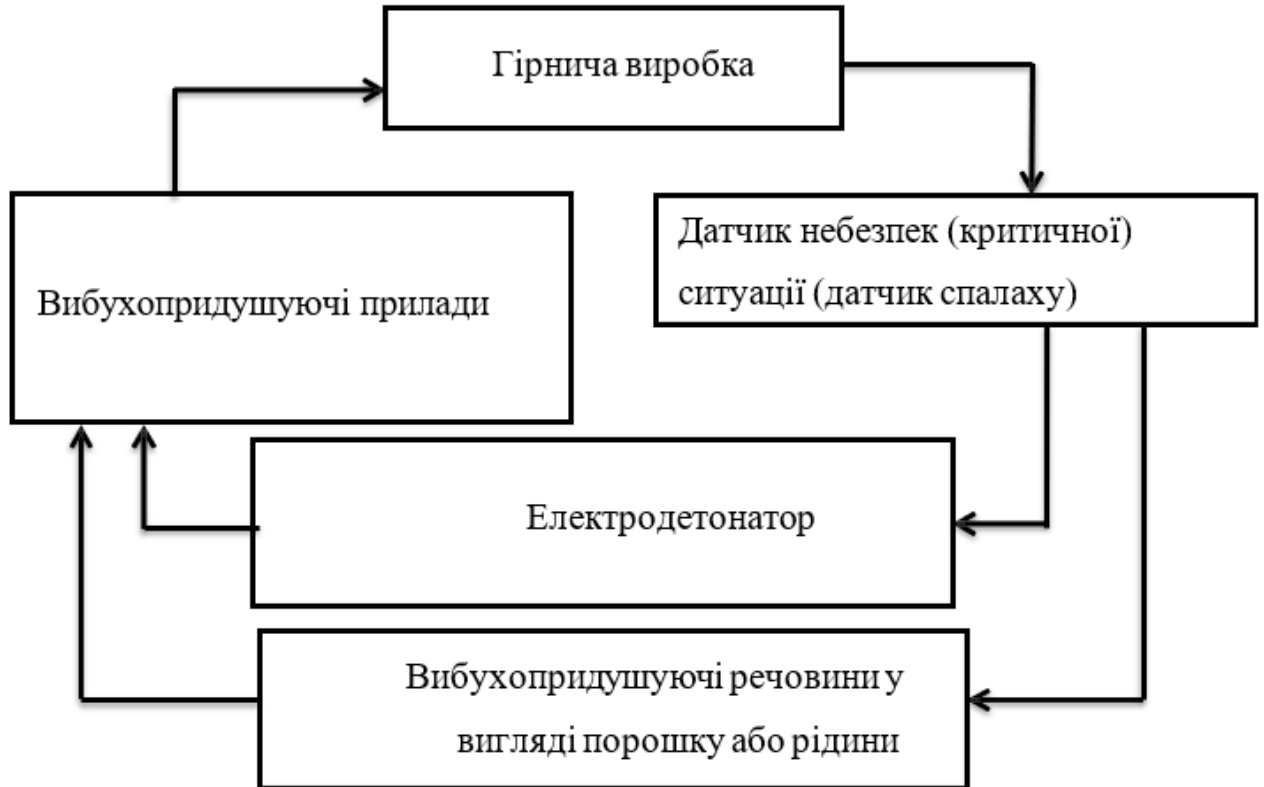


Рис. 1.9 - Блок-схема первинного заслону ПЗМ-2

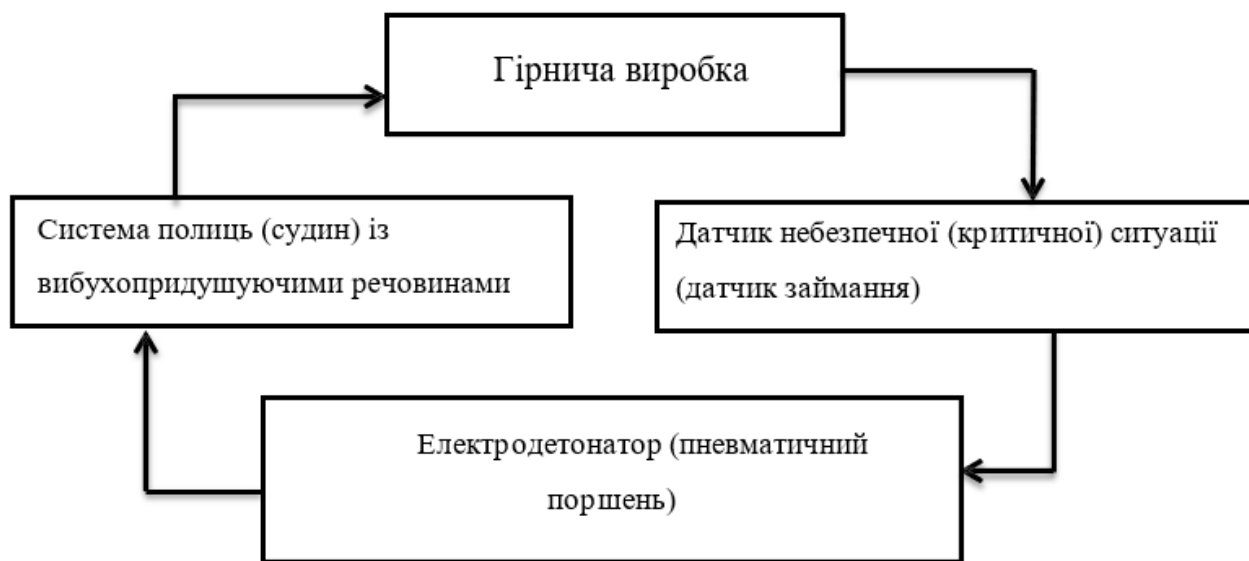


Рис. 1.10 - Блок-схема заслону з примусовим розпиленням

Автоматичні системи покликані усунути істотні недоліки пасивних заслонів. Серед таких недоліків висока інерційність спрацьовування. У спробі усунення цього недоліку в середині 50-х років XX століття була створена система ПЗМ-2 і ПЗМ-3 на базі пасивного заслону. Наявність примусового механізму перекидання полиць, який приводився в дію фотоелектричним датчиком полум'я, дозволяв значно знизити інерційність системи, однак, з огляду на свою складність і громіздкість конструкції, а також нездатність локалізувати вибух в загазованому виробленні, випуск даних систем був припинений.

За своєю конструкцією всі заслони з примусовим розпиленням речовин гасіння полум'я, відрізняються один від одного за способом розпилення. Розпилення може бути здійснено поршнем, енергія руху якого утворюється від вибуху заряду ВР, енергією стисненого (зрідженого) під високим тиском газу, енергією вибуху заряду ВР.

Як показала практика, найбільш оптимальним варіантом з точки зору створення мобільного, чи розташованого в поперечному перерізі гірничої виробки АСВП є саме представники третьої конструктивної групи.

Головним завданням, при розробці таких систем було створення АСВП з високою швидкістю і, в той же час, високою стійкістю до механічних впливів. Результатом перших порівняно успішних спроб стало створення таких систем як «Заслон АВП-1» і «СЛВА-1» (рис. 1.11.)

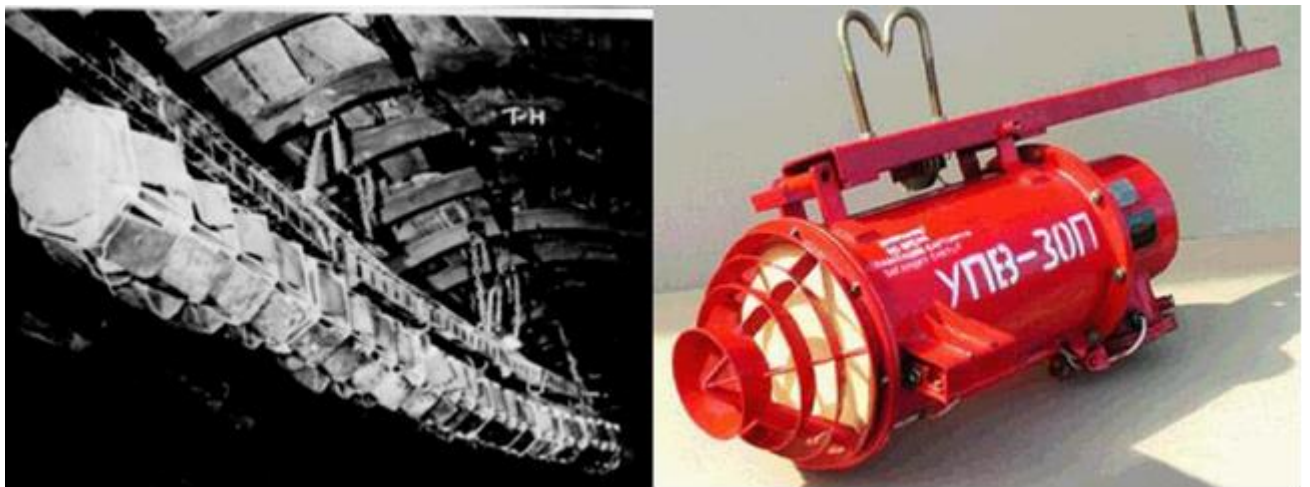


Рис. 1.11 - Зовнішній вигляд системи а) - «Заслон АВП-1»; б) - «СЛВА-1»

З огляду на недосконалість конструкції, а також частих випадків браку при виготовленні, відбувалися помилкові спрацьовування системи «Заслон АВП-1», що є причиною припинення випуску таких систем. Що стосується «СЛВА- 1», то основними недоліків цієї системи був автономний блок живлення, а також те, що на поверхню скла датчиків осідає шар пилу, що знижує надійність дії всієї системи.

Найбільш вдалою розробкою в цій області є автоматична система вибухопридушення - локалізації вибухів АСВП-ЛВ (рис. 1.12,1.13), що має кращі в світі технічні характеристики за швидкістю і параметрам створюваного локалізується хмари вибухопридушуючого порошку [11].

Система АСВП-ЛВ складається з пристрою локалізації вибуху (ПЛВ) і автономного командного пристрою (АКП). ПЛВ складається з пристрою спрацювання, конусоподібного бункера і проміжної камери, яка заповнена вогнегасним порошком, всередині яких коаксиально розташована робоча порожнина, заповнена стисненим повітрям високого тиску. АКП зістиковано з пристроєм спрацьовування ПЛВ і складається з виносних штанг, з'єднувальних муфт і приймального щита.



Рис. 1.12 - Зовнішній вигляд автоматичної системи вибухопридушення- локалізації вибухів типу.

До недоліків даної системи відносять:

- можливість відмов системи при "тихому" вибуху;
- несанкціановане спрацьовування системи внаслідок механічної дії на неї;

- неповний викид порошку з бункера;
- можливість прогину висувної штанги і приймального щита, що може привести до відмови системи.

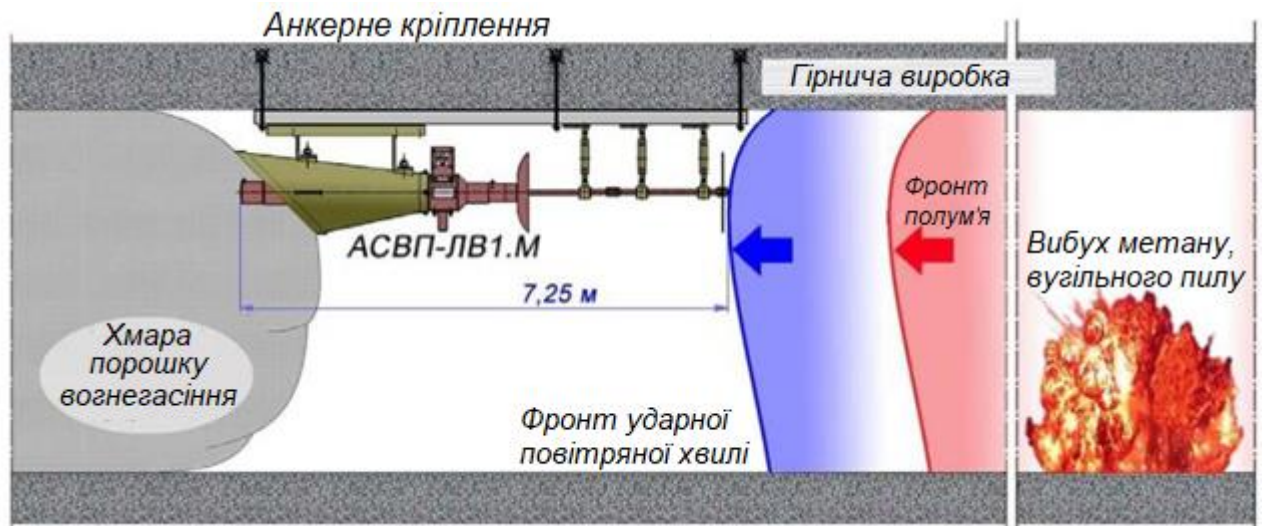


Рис. 1.13 - Принцип дії автоматичної системи вибухопридушення-локалізації вибухів

1.3. Огляд існуючих сумішей запобігання займання і вибуху метано-пилоповітряних середовищ

В якості речовин гасіння полум'я найбільш часто застосовуються вода, піна, інертні гази, а також вогнегасні порошкові системи (ВПС) [12]. Найбільш ефективним засобом пригнічення ланцюгових реакцій горіння є ВПС. Їх вогнегасна ефективність в 200 разів вище галогенідів металів, в 40 разів вище води, в 20 разів піни і в 4 рази вище, ніж у CO_2 [13,14].

Авторами роботи [15] наводяться сукупність наступних механізмів, що відповідають за припинення горіння: охолодження зони горіння за

рахунок нагріву частинок порошку, часткове випаровування і розкладання в полум'ї; розбавлення горючого середовища газоподібними продуктами; ефект огнепреградження, що досягається при проходженні через вузькі канали, створювані порошковим хмарою; інгібування хімічних реакцій газоподібними продуктами розкладання і випаровування порошоків або гетерогенним обривом ланцюгів на поверхні порошоків.

Серед незаперечних переваг порошоків зарубіжні та вітчизняні дослідники наводять [16,17,18]:

- можливість їх застосування в широкому діапазоні температур навколишнього середовища (від мінус 50 ° С до плюс 50 ° С), а також тривалий термін зберігання без втрати властивостей;

- відсутність токсичних, озоноруйнівних речовин, хімічну інертність, низьку корозійну активність;

- мінімальний збиток від застосування, порівняно з установками пінного і водного гасіння.

Механізм вогнегасної дії порошоків полягає головним чином в інгібуванні процесу горіння шляхом зв'язування АЦП і, в меншій мірі, в охолодженні вогнища полум'я. Таким чином, відбувається або гомогенне вплив газоподібних продуктів сублімації порошоків з активними центрами, або гетерогенна рекомбінація цих центрів на поверхні частинки [19].

Основними компонентами вогнегасних порошоків на сьогоднішній день є фосфорно-амонійні солі, сульфат амонію і бікарбонат натрію.

Гетерогенне інгібування є складним фактором впливу на полум'я. Виходячи з цього, при гасінні полум'я варто застосовувати комбіновані порошково-пінні засоби, щоб охолодити вогнище піною після придушення інгібітором горіння. Однак, це не може бути застосовано до умов вибуху, так як для його локалізації відводиться не більше 100 мс. Для умов

вугледобувних підприємств особливий інтерес представляють такі речовини, які можуть поєднувати властивості полум'ягасіння і локалізації. Такими речовинами є вибухопридушуючі порошки. Основна область їх застосування - створення автоматичних систем вибухопридушення. Крім того, в вугільних шахтах такі порошки знаходять і інше застосування: обробка вугільного пилу, що відкладається на стінках виробки; забойка шпурів і свердловин [20].

Як було відзначено в роботі [21], в зарубіжних джерелах немає жодних відомостей про серійне виробництво і застосування спеціальних вибухопридушуючих порошків. Така інформація актуальна і донині. Автор наводить відомості про використання вибухопридушуючих порошків, таких як ПВК-1 (основі карбаміду) і КСВ-30 (на основі бікарбонату натрію), проте інформація про виробництво та використання даних, або інших вибухопридушуючих складів, в наші дні відсутній. Автоматичні системи вибухопридушення створюється серійними вогнегасними порошками загального призначення, в переважній більшості, як зазначено вище, на основі амофосу і сульфату амонію.

Для того щоб оцінити ефективність такого рішення, необхідно пам'ятати, що фізико-хімічні процеси горіння рішучим чином відрізняються від процесів, що відбуваються при вибуху. Звідси можна зробити висновок, що вогнегасники склади, застосовувані при гасінні вогню, можуть виявитися не найефективнішими в умовах локалізації вибуху. В роботі [22] показано, що в умовах температур до 2000°C в зв'язку зі зміною причин утворення вільних радикалів, звичайного ефекту інгібування, що є основою вогнегасних порошків, вже не достатньо для локалізації вогнища. В такому випадку, необхідно дуже швидко відвести з реакційної зони хімічну частина енергії, і для цих цілей краще всього використовувати хімічні агенти, що володіють великою швидкістю розкладання. Таким чином, сульфат амонію $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, який застосовується при полум'ягасіння за рахунок високого

показника теплопоглинання, (4,5 кДж / г) буде не так ефективний при локалізації вибуху, тому що його кінетичні параметри, а саме швидкість розкладання, набагато нижче, ніж, скажімо, у бікарбонату натрію (NaHCO_3). Тим самим за час, який необхідно $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ щоб поглинути 4,5 кДж теплоти, NaHCO_3 встигне поглинути 900 кДж.

Висновки

За результатами огляду та аналізу науково-технічної інформації, можна зробити наступні висновки:

1. Аналіз результатів розслідування аварій на вугільних шахтах показує недостатню ефективність існуючих систем локалізації вибуху метано-пилоповітряних сумішей.

2. У порівнянні з іншими засобами пламегашення, найбільшою ефективністю інгібування ланцюгових реакцій горіння мають вогнегасники порошкові склади, які мають порівняно низьку вартість, нетоксичні, малоагресивні і застосовуються в широкому діапазоні температур.

3. Загальновизнаний механізм вибуху вугільного пилу має ряд експериментально підтверджених протиріч, з чого випливає, що при виборі пригнічуючих складів для придушення вибухів метано-пилоповітряних сумішей необхідно досліджувати і визначити порошкові склади, ефективні, в тому числі, і для пригнічення вугільного аерозолі.

3. Фізико-механічні процеси горіння значно відрізняються від процесів вибуху, цей факт потрібно враховувати при виборі інгібіторів, що застосовуються в автоматичних системах локалізації-вибухопридушення.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ І ВИБУХУ ГІБРИДНИХ СРЕД

2.1. Системи оцінки вибухопожежонебезпечності гібридних сумішей

У вугільних шахтах на сьогоднішній день залишається вкрай актуальною проблема забезпечення вибухобезпеки процесів, що протікають в присутності гібридних сумішей, зокрема, вугільний пил - повітря, метан - повітря, метан - вугільний пил - повітря.

Розроблені і затверджені в різних країнах методики випробувань вибухопожежонебезпечності гібридних сумішей мають суттєві відмінності, так як розроблялися незалежно один від одного і не піддавалися міжнародній стандартизації. Проте, між ними простежуються загальні риси:

- оцінка проводиться в установках малого обсягу (до 20 л.);
- оцінка проводиться в основному в лабораторних умовах.
- оцінка проводиться на невеликих кількостях досліджуваного зразка.

Загальноприйнята у нас і за кордоном система оцінки вибухонебезпечних властивостей гібридних сумішей включає п'ять основних експериментальних характеристик вибуховості: нижньої концентраційної межі поширення полум'я (НКПР), максимального тиску вибуху (P_{max}), максимальної швидкості наростання тиску вибуху $(dP/d\tau)_{max}$, індексу вибухопожежонебезпечності (K_{st}), мінімального вибухонебезпечного вмісту кисню (МВСК) і мінімальної флегматизуючої концентрації флегматизатора (φ_f) [25].

2.2. Вітчизняні та зарубіжні методики

Метод експериментального дослідження та оцінки показників вибухонебезпечності, в т.ч. питання флегматизації і пригнічення вугільного пилу, заснований на випробуваннях, в ході яких визначається точка флегматизації, відповідна мінімальній інертизаційній концентрації флегматизатора (рис 2.1.).

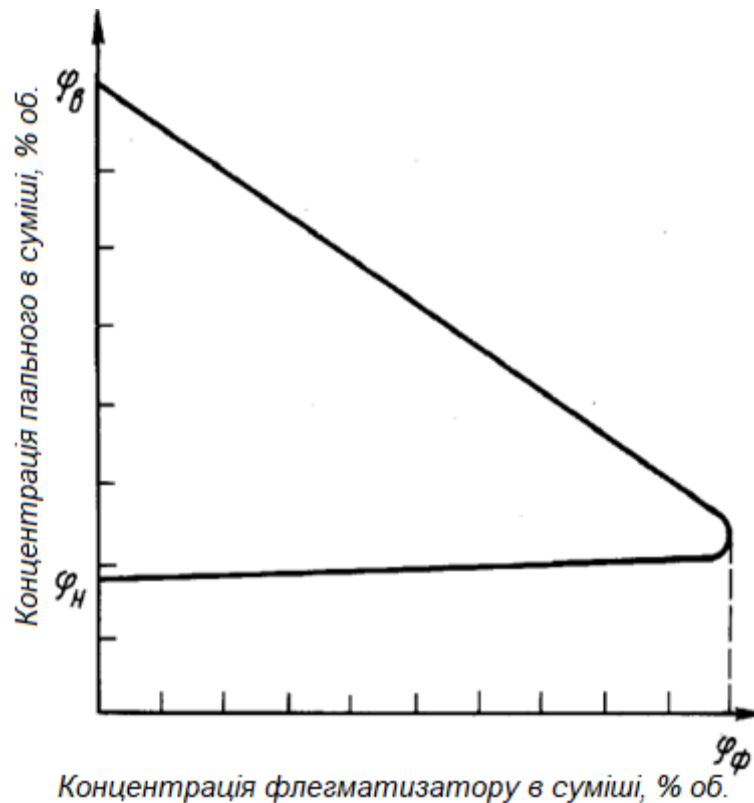


Рис. 2.1 - Крива флегматизації

Випробування проводяться на установці, схема якої представлена на рис. 2.2. Джерелом запалювання пилу складає спіраль з дроту марки Х80Н20-Н, що нагрівається електричним струмом до температури $(1050 \pm 50)^\circ \text{C}$. Якщо в процесі випробувань пилу максимальний тиск вибуху ($P_{\max}$) не перевищує 0,05 МПа, то досліджуваний пил відносять до вибухобезпечної. Однак, при дослідженні горючих речовин, енергії запалювання, що продуцирує спіраль мало для оцінки вибухобезпеки пилу. В цьому випадку рекомендується проводити випробування в великомасштабній вибуховій камері місткістю не

менше 0,02 м³ з використанням джерела запалювання з запасом енергії не менше 10 кДж [26].

На основі своїх подальших досліджень В. Барткнехт зробив висновок про те, що сферичний резервуар місткістю 20л (0,02м³) є найменшою ємністю, достатньої для досягнення бажаного результату, до того ж такий варіант найбільш доступний. Був виведений закон подібності для ємностей аналогічної форми:

$$\left(\frac{dP}{dt}\right)_{max} = K_{st} \cdot V^{1/3}$$

де $(dP/dt)_{max}$ - максимальне значення швидкості росту тиску МПа / с;
V - об'єм резервуара, м³;

K_{st} - параметр вибуховості пилосуміші, МПа · м / с.

Виходячи з аналізу останніх вітчизняних і зарубіжних публікацій, сучасні дослідження інертизації вибухонебезпечних аерозолів проводять на установках, аналогічних вищеописаної [28]. Найвідоміші з них - автоклав місткістю 20л швейцарської фірми «KühnerAG», а також вибухова камера моделі ETD-20L DG (Китай). В якості досліджуваної характеристики приймається мінімальна інертизуюча концентрація (МІК), г / м³-найменша концентрація інертного матеріалу, при якій вибух пилу стає неможливий при будь-якій концентрації пального [29].

2.3. Проблеми лабораторних досліджень

На сьогоднішній день лабораторні дослідження параметрів вибуховості і інертизації гібридних сумішей, в тому числі і вугільного аерозолу,

зустрічають кілька серйозних проблем, вивчення і вирішення яких дозволить набагато краще аналізувати, прогнозувати, а головне запобігати вибухам гібридних сумішей. Серед них варто відзначити:

- вплив обсягу експериментальної камери на результати досліджень;
- вплив енергії джерела займання;
- облік ефективності дисперсії пилу при її подачі у вибухову камеру;
- турбулентність.

Були знайдені значні відмінності між результатами, отриманими при використанні сферичного резервуара об'ємом 20л і судини об'ємом 1м³ [30]. Зокрема, деякі види слабореактивної пилу вибухали в камері 20л і були повністю не вибухові в камері об'ємом 1м³.

Збільшення енергії запалювання може привести, в залежності від пилу, до збільшення або зменшення параметра K_{st} . Виходячи з цього, відмінності можна пояснити явищем «перевантаження» пилу запальнику з енергією запалювання 10 кДж в 20л камері [31].

Дослідження [32] показують, що в процесі подачі під тиском зразка пилу через мультіфазний клапан, відбувається значне зменшення розміру частинок пилу в порівнянні з вихідним зразком, що впливає на результати випробувань. Також необхідно враховувати і роль турбулентності. Графік на рис. 2.3 показує, що інтенсивність турбулентності істотно впливає на параметр $(dP/dt)_{max}$. Звідси впливає необхідність контролю над моментом ініціювання суміші (часу затримки ініціювання).

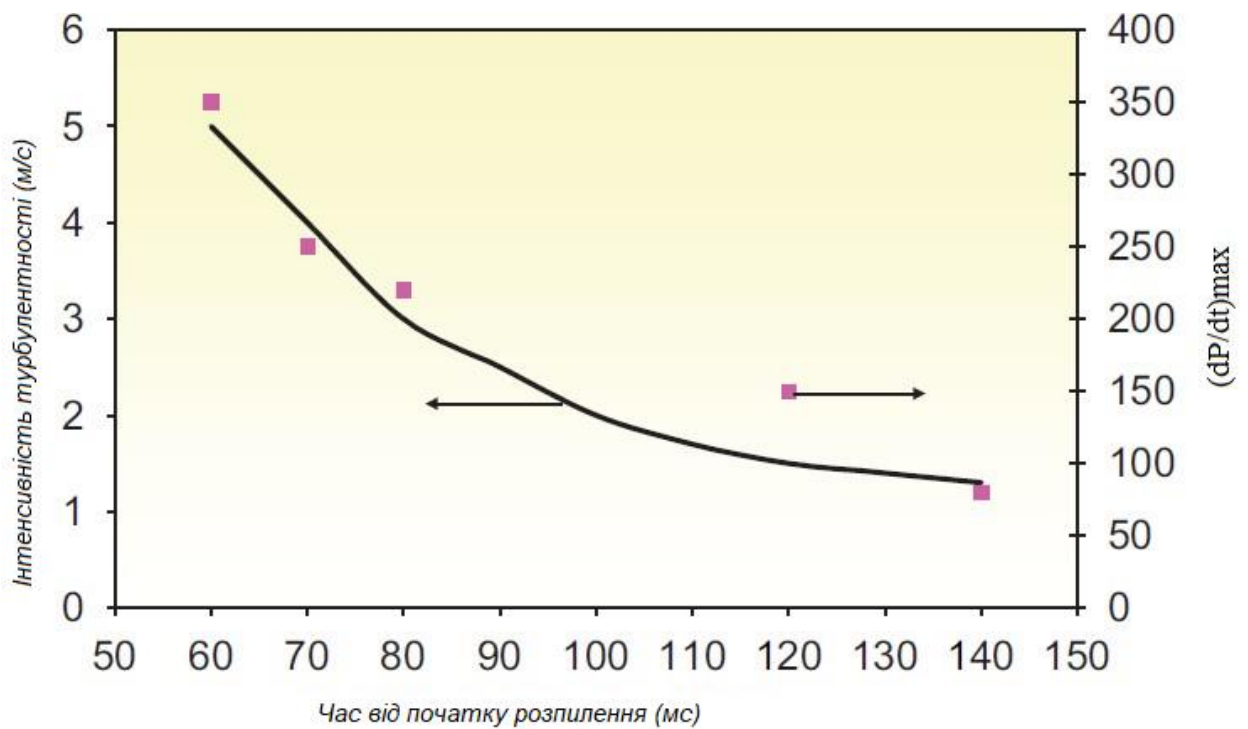


Рис. 2.3 - Зміна інтенсивності турбулентності в 20 л. сфері як функція від часу від початку розпилення та вплив на швидкість нарощування тиску при ініціюванні пилу.

На даний момент дослідження вибухових характеристик гібридних сумішей включає велику кількість експериментальних досліджень. На жаль, при цьому процесу інертизації і дослідження механізмів ігнібування і флегматизації присвячено порівняно невелика кількість робіт, в тому числі й через відсутність загальноприйнятих методик.

Сучасні лабораторні дослідження процесів інгібування, інертизації і флегматизації вибухів гібридних сумішей, в більшості випадків проводять в камерах об'ємом 20л. Установки такого типу зарекомендували себе як найбільш придатні для роботи в умовах лабораторії, з огляду на мінімізації витрат, як часу, так і матеріальних засобів на проведення експерименту, не кажучи вже про безпеку при їх проведенні, в порівнянні з промисловими випробуваннями. Однак, не дивлячись на це, існує достатня кількість

невизначеностей в умовах і методика застосування цих пристроїв з метою отримання найбільш достовірних результатів. Так, наприклад, в роботах [29,33] встановлена досить висока збіжність результатів повномасштабних випробувань вибухових характеристик пилу і мінімальної інертизаційної концентрації в умовах шахти у лабораторній установці об'ємом 20л. Автори пояснюють таку збіжність установки меншого обсягу явищем «перевантаження» вибухової камери запальник з енергією запалювання 10 кДж, подібним з енергетики з умовами вибуху в шахті внаслідок наростання швидкості поширення полум'я виробкою.

2.4. Методика дослідження впливу пригнічують і флегматизуючих добавок на займистість і вибуховість вугільного пилу

Придушення запалення і вибуху вугільного пилу на багатьох підприємствах вуглевидобувної галузі до теперішнього часу проводиться не так ефективно, як технології видобутку корисних копалин [34]. Затребуваність нових методів і складів для підвищення безпеки ведення гірничих робіт підтверджується великими катастрофами, які ведуть за собою людські жертви, а також значних матеріальних збитків [34, 35]. Тому і лабораторні дослідження не менш важливі, тому що дозволяють не тільки якісно, але і на кількісному рівні визначати найважливіші закономірності розвитку запалення і вибуху дрібнодисперсного вугільного пилу, а також оцінити ефективність застосовуваних для придушення процесу детонаційного горіння кам'яновугільної пилу, інгібіторів і флегматизаторів [34-38].

Розроблена автором методика, що розглядається в даній роботі, базується на загальноприйнятій системі оцінки вибухонебезпечних властивостей пилу.

Методика дозволяє визначити:

P_{ex} - максимальний надлишковий тиск вибуху, що виникає при дефлаграційному згорянні газо-, паро- або пилоповітряної суміші в замкнутому посуді при початковому тиску суміші 101,3 кПа;

P_{max} - максимальне значення тиску вибуху (максимальний тиск вибуху), певне експериментально в рамках вибухового діапазону концентрації пилу, МПа. Максимальний тиск вибуху (P_{max}) розраховується програмними методами автоматичним перерахунком з P_{ex} .

dP/dt - відношення приросту тиску, розвивається під час вибуху в замкнутому посуді, до інтервалу часу, протягом якого це збільшення відбулося (Швидкість наростання тиску при вибуху), МПа / с;

K_{st} - трансформаційний коефіцієнт (постійна Бартнехта), що дозволяє класифікувати пил за параметрами вибуховості аерозолі і виконати розрахунок характеристик вибуху для великих обсягів, МПа * м / с.

Методика, призначена для визначення вищевказаних параметрів вибуху, як аерозолі кам'яновугільної пилу в повітрі, або в повітряному середовищі містить метан (гібридні суміші), так і аеродисперсії пилу містить добавки флегматизаторами і / або інгібіторів. Під флегматизаторами маються на увазі інертні речовини і матеріали, основним механізмом вибухопадавлення яких, є принцип вогнеприпинення і розведення, а під інгібіторами - каталізатори негативної дії здатні гальмувати хімічні реакції горіння, що протікають як у фронті детонаційного горіння, так і в іншому обсязі.

Вже згадана в цій роботі методика, заснована на матеріально-технічній частини, яка включає в себе лабораторний комплекс, основними блоками якого є 20-літрова сферична вибухова камера (СВК) і система управління та збору даних.

У блоці управління (БУ) встановлено програмований логічний контролер (ПЛК), генератор сигналу займання, панель даних тиску і призначений для користувача інтерфейс. Він (БУ) з'єднаний з комп'ютером через Ethernet кабель. Зміна тиску у вибуховій камері перекладається в електричний сигнал датчиком тиску і передавальним пристроєм, записується системою збору даних і зберігається в пам'яті комп'ютера. Чутливість датчиків тиску - 0,021 кПа.

Оболонка камери двошаровий. Для підтримки постійної температури всередину камери заливали воду; можливе застосування і іншого холодоагенту. На одній зі сторін СВК знаходиться оглядове вікно для візуального спостереження за процесом займання гібридної суміші всередині камери. СВК обладнана клапанами (вхідні та вихідні з'єднання) для відкачування повітря, видалення продуктів горіння, слива / наливу холодоагенту і т.п.

Мультифазовий (швидкодіючий) клапан подачі пилу / повітря встановлений під дном випробувальної камери і використовується для контролю над процесом розсіювання пилу. Реле тиску встановлено всередині стінки судини і використовується для визначення динамічного тиску вибуху пилу. Структура сполуки кришки з камерою аналогічна такій на промислових і лабораторних автоклавах. Маніпуляції з кришкою може виробляти один чоловік. Розсіює сопло встановлено на дні камери і використовується для рівномірного розсіювання пилу в камері.

Алгоритм проведення експерименту відповідно до пропонованої методикою складається з трьох етапів.

Перший етап включає в себе: підготовку системи управління, а також підготовку установки до роботи і пробопідготовку зразка для досліджень або партії зразків однієї серії, приготування хімічного запальника відповідно до рецептури і складання ініціюючого пристрою.

Операції пробопідготовки зразків для дослідження, включають в себе операції подрібнення, гранулометричного аналізу і ситового розсівання для отримання необхідних по дисперсності фракцій. На підставі накопиченого досвіду і літературних даних, викладених в [35, 36, 38, 43-45] рекомендовано проводити наукові дослідження з фракціями наступного дисперсійного складу: $250 \div 500$ мкм, $150 \div 250$ мкм, $75 \div 150$ мкм, $50 \div 75$ мкм.

У разі дослідження зразків кам'яновугільної пилу необхідно знати наступні її параметри: зольність, вихід летючих і вологість. Ці параметри можна визначити, провівши вхідний контроль.

Пробопідготовка інгібуючих і / або флегматизуючих добавок включає в себе їх диспергування і ситове розсівання для отримання фракцій, аналогічних за складом основного зразком, тобто має той же дисперсійний склад, в який їх планують додавати.

Розроблене ініціює пристрій включає в себе навішення хімічного запальника, загальною масою 2,4 г, що розміщується в робочій ємності. В якості робочої ємності найкраще зарекомендували себе пробірки Еппендорфа. Для такої кількості хімічного запалювача використовувалася пробірка Еппендорфа об'ємом 1,5 мл.

Застосований хімічний запальник за своїм складом складається з: 0,96 г цирконієвого порошку; 0,72 г Ва (NO₃)₂ (нітрату барію); 0,72 г ВаО (оксиду барію).

Кожен пристрій з електрозапалювачем виділяє 10 кДж енергії. Тиск, що створюється двома такими запальниками, складе $P_{\text{зап}} = (0,19 \pm 0,01)$ МПа. Застосування такого роду пристрої в нашому випадку було економічно вигідно і менш трудомісткий, у порівнянні з придбанням стандартних промислових запалювачей описаних в [39- 41]

Підсумком першого (підготовчого) етапу, є завантажений в посудину попередньої компресії зразок, під'єднані до тоководов кришки ініціюючого пристрою в кількості 2 штук і спрямовані в протилежні один від одного сторони і закрита кришка СВК.

Другий етап є безпосереднім етапом проведення експериментальної роботи, що полягає в проведенні експерименту і обробки отриманих результатів програмними засобами.

Оскільки всі підготовчі операції виконані на першому етапі і установка повністю готова до роботи, то на даному етапі робота проводиться тільки з прикладним програмним комплексом «ExTest».

При успішному проведенні експерименту отримуємо візуалізований у вигляді графіків результат і необхідні значення, а саме $P_{\max}$ і dP / dt , P_{ex} і K_{st} .

Під час роботи на прикладному програмному комплексі «ExTest» необхідно буде виконати наступні дії:

1. Запустити програмне забезпечення «ExTest» на комп'ютері, з'єднаному з блоком управління лабораторної установки.

2. Увійти на вкладку «File» в діалоговому вікні вибрати «New test». Другий спосіб відкриття нової карти випробувань полягає в безпосередньому натисканні на панелі інструментів значка «Create a new testcard».

3. Заповнити карту випробування. У порожні клітинки карти (діалогові інформаційні вікна) необхідно ввести для кожного конкретного випробування концентрацію пилу і концентрацію кисню в повітрі, температуру і вологість повітря навколишнього середовища. При тривалій роботі з одним і тим же речовиною (маркою вугілля), для оптимізації подальшої роботи, необхідно ввести короткі характеристики випробуваного зразка, наприклад такі як: назва (номер) випробуваного зразка; приналежність зразка; умови підготовки зразка; дисперсність; вологість; енергія запалювання; затримка займання;

початковий тиск в камері; початкова температура; нижній концентраційний межа; максимальний тиск вибуху; мінімальне вибухонебезпечне вміст кисню; номер досвіду; дата досвіду. Додатково у відповідних діалогових вікнах можна залишити коментарі, а також зберегти введену інформацію як шаблон карти випробувань для подальших дослідів і зміни даних в ній. При цьому поля "Test Standard" і "Test Device" виставляються за замовчуванням.

4. Після заповнення карти випробувань необхідно натиснути на кнопку «Start Test», з'явиться інтерфейс збору даних в очікуванні триггерного сигналу.

5. Зважити зразок вугільного пилу і розташувати його в посудині попередньої компресії, щільно загвинтити кришку посудини.

6. Прикрутити піротехнічні запальники до кінців електродних стрижнів верхньої кришки основної камери згоряння.

7. Закрити основну кришку установки. Загвинтити її до упору і встановити блокування (Safety Interlock) в основне положення. На верху цієї кришки до роз'ємів електродів необхідно підключити кабелі запалювання.

Черговість виконання операцій 5, 6 і 7 на першому етапі або другому етапі на кінцевий результат не впливає.

8. Закрити запірні вентиля вихлопного крана і крана введення газу і відкрити ventиль вакуумного крана. Включити вакуумний насос. Коли стрілка вакуумметра зупиниться на $-0,065$ МПа закрити ventиль вакуумного крана і відключити насос. Почекаати близько 3 секунд, потім встановити значення вакуумметра на $-0,06$ МПа за допомогою вентиля вихлопного крана.

9. Переконатися (ще раз перевірити) в закритті крана вакуумметра і закриття інших вентилів.

10. У тому випадку, якщо при заповненні карти випробування, забули вказати значення часу розсіювання пилу (Dust Dispersion Time) рівне 50 мс,

затримку запалювання (Ignition Delay) рівну 60 мс, а також тиск мультіфазного клапана судини попередньої компресії (Setting Pressure) рівне 2 МПа, то це можна зробити на вбудованому інтерфейсі лабораторного блоку управління.

11. На лабораторному блоці управління натиснути кнопку підготовки стисненого повітря (Prepare Gas) для вприскування пилу всередину камери. Кнопка «Prepare Gas» автоматично відключиться, коли тиску досягне заданого рівня (Setting Pressure). Задані значення і готовність установки до роботи можна побачити на панелі блоку управління експериментальної).

12. Натиснути кнопку «Manual Trigger» на інтерфейсі збору даних програми «ExTest», після чого відразу натиснути на кнопку запалювання (Ignite) на панелі призначеного для користувача інтерфейсу.

Якщо надлишковий тиск ($P_{\text{надл}}$) перевищив створений запалювачем тиск ($P_{\text{зап}}$) на 0,02 МПа, то вважається, що вибух вугільного пилу стався [35, 39-41].

Після успішного займання програма «ExTest» автоматично виведе криву тиску-часу з даного випробування (рис. 2.7) і дозволяє отримати вихідні дані для подальшої їх обробки і графічної візуалізації рис. 2.8.

За допомогою отриманих, прикладним програмним комплексом «ExTest», за результатами експериментів масиву даних, в середовищі OriginPro побудовані залежності динаміки зміни тиску вибуху від дисперсійного складу, наведені на рис. 2.8.

13. Відкрити вихлопної клапан для вирівнювання тиску в посудині з атмосферним тиском і включити витяжку, після чого потрібно зняти кришку установки і ретельно очистити її внутрішню частину за допомогою повітряного компресора.

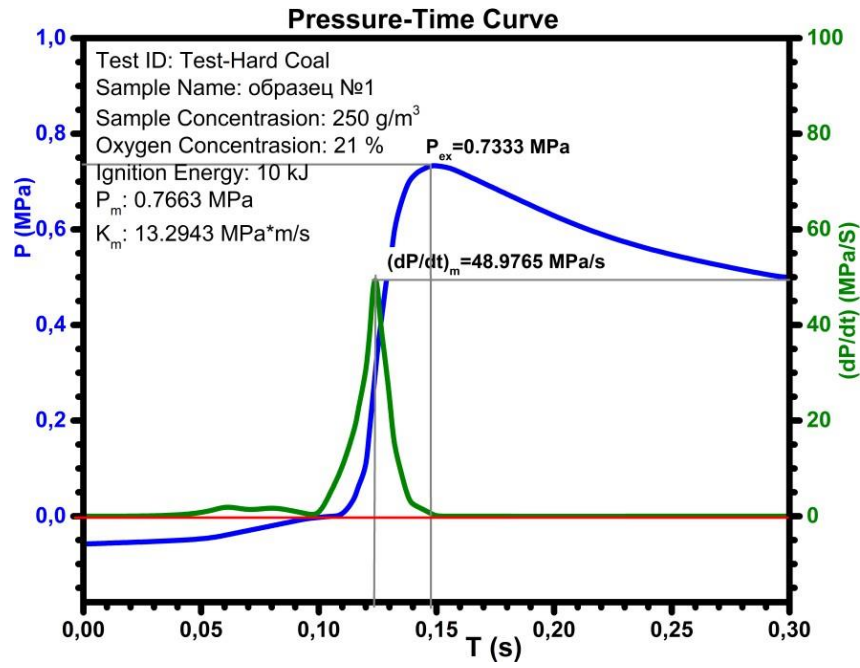


Рис. 2.7 - Крива тиску-часу зразка № 1 (візуалізація засобами OriginPro)

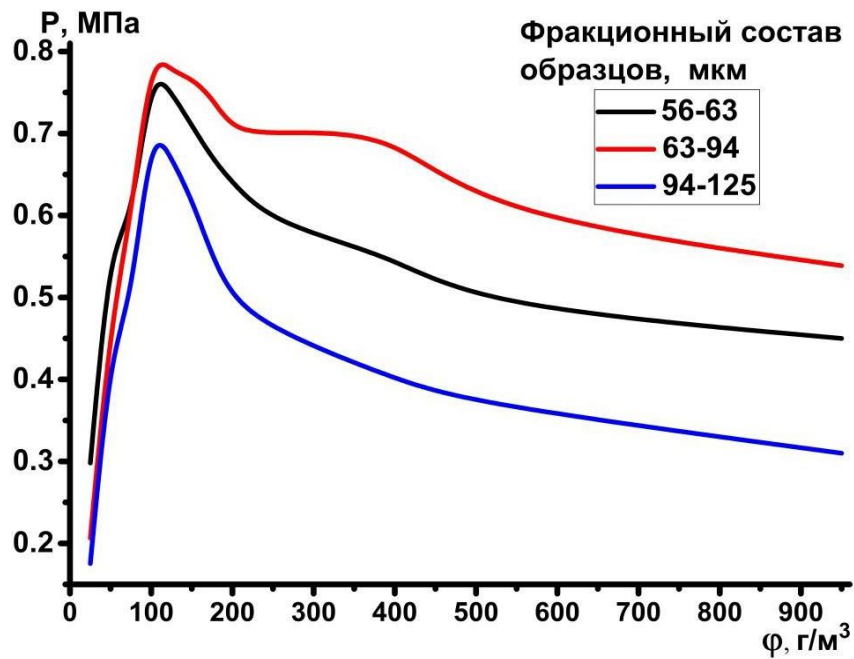


Рис. 2.8 - Графік залежності зміни тиску вибуху від концентрації пилоповітряної суміші в об'ємі вибухової камери установки

14. Для отримання більш достовірних результатів необхідно повторити всі попередні кроки (1 - 12) для інших зразків вугільного пилу без добавок. Кожен з п'яти зразків різних фракцій пилу випробувати кілька разів, змінюючи концентрацію вугільного пилу. Випробування починати з концентрації 250 г / м³, підвищуючи концентрацію з кроком 250 г / м³, або знижуючи, з кроком 50% від попереднього значення концентрації відповідно до наведеного нижче поруч значень: ...; 60; 125; 250; 500; 750, 1000 ; 1250; 1500; ... г / м³.

15. Дослідження впливу інгібіторів і флегматизаторами проводити відповідно до вищевикладеного алгоритмом з пункту 1 по 12. З кожним з обраних інгібіторів або флегматизаторами виробляти по 10 спроб займання вугільного пилоповітряної суміші з кроком концентрації в ній інгібітору 10% від маси вугільного пилу.

Зазначена методика випробувань дозволяє виявити найбільш значущі параметри займання і вибуху вугільного пилоповітряної суміші. Розроблене ініціює пристрій з хімічного запалювання дає можливість повноцінно замінити стандартні промислові запалювачі і знизити трудовитрати на лабораторні випробування. При цьому також з'являється можливість регулювати енергію вибуху в широкому діапазоні, налаштовуючи випробувану камеру під завдання дослідника.

Результати методики, візуалізовані програмними засобами, на екрані монітора і якісно і кількісно в он-лайн режимі можуть оцінити ефективність застосування інертних та інших добавок в досліджувані пилоповітряні суміші.

Недоліком методики є слабкий графічний інтерфейс програми «ExTest», але цей недолік усувається за допомогою різних програм дозволяють по масиву даних будувати графіки і їх обробляти, наприклад OriginPro.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНИХ НАПОВНЮВАЧІВ-ІНГІБІТОРІВ НА ЗАПАЛЕННЯ І ВИБУХ ППС

3.1. Системи оцінки вибухопожежонебезпечності гібридних сумішей

Виходячи з висновків, отриманих в попередніх розділах роботи, було виявлено значний вплив енергії запалювання, виробленої піротехнічними запальниками на область стабільного займання і вибух пилових аерозолів. У зв'язку з цим виникла необхідність визначення енергії запалювання, яка не буде впливати на результати, а, отже, дозволить отримати найбільш точні дані про вибухові характеристики досліджуваних зразків пилу.

Для дослідження впливу енергії запалювання значення НКМП для сульфідної пилу і вугільного пилу шахти ім. Дзержинського вимірювалися при п'яти енергіях запалювання 1, 3, 5, 7 і 10 кДж. Як для вугільної, так і для сульфідної пилу в якості досвідченого зразка була обрана пил фракцією 63-94 мкм. Динаміка зміни НКМП була побудована як функція енергії запалювання, показаної на графіку (рис. 3.1.).

З результатів випробувань видно, що енергія запалювання значно впливає на НКМП зразків пилу, і важливо відзначити, що значення НКМП для різних порошків поступово стабілізуються, коли енергія запалювання досить висока. Фактично, відбувається вибух пилу, в значній мірі залежить від виходу летких в процесі нагрівання. (Тут мається на увазі прийнятий механізм займання по теорії М.М. Семенова). Очевидно, що енергія джерел займання буде істотно впливати на вихід летючих. Коли джерело займання має низьку енергетикою, частинки не можуть ефективно виділяти достатню кількість летючих речовин, так що виміряні результати базуються швидше на займистості, ніж вибуховості. У цій ситуації вимірний НКМП буде вище

істинного значення, і це відхилення буде збільшуватися зі зменшенням займистості пилу.

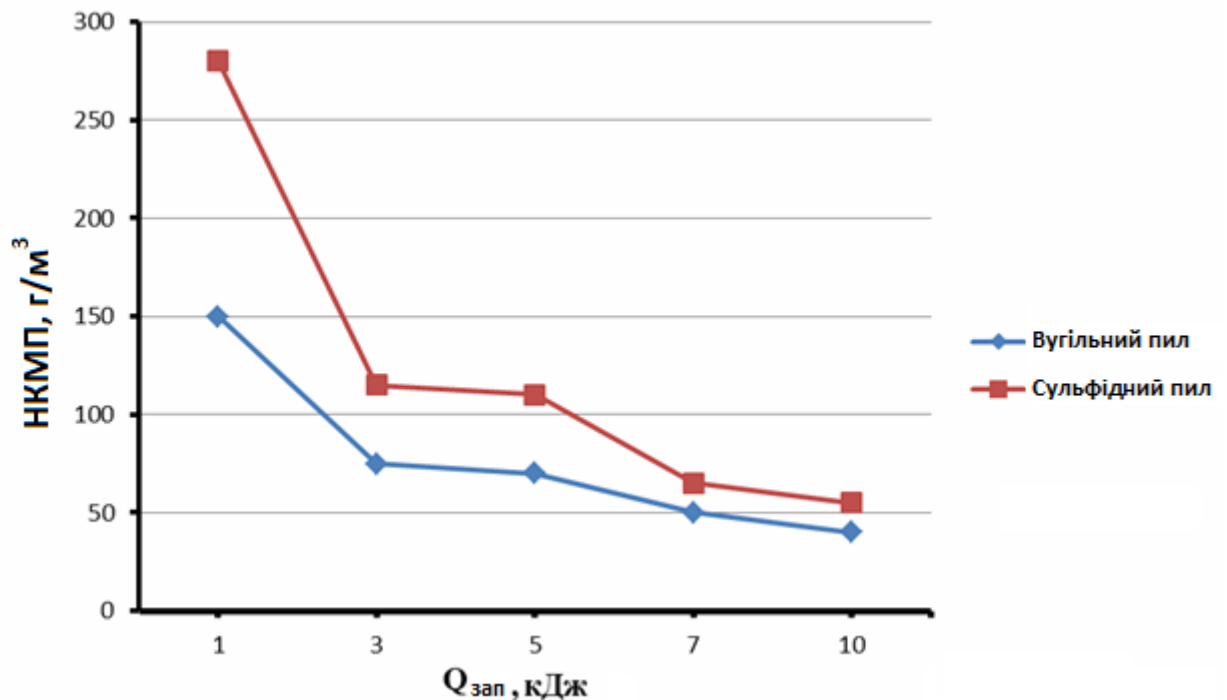


Рис. 3.1 - Графік залежності НКМП від енергії, виробленої піротехнічним запалювачем

Тому для отримання істинного НКМП енергії запалювання повинно бути достатньо, щоб забезпечити достатній рівень виходу летючих. Результати, отримані в роботах авторів [30, 33, 31], показали, що енергія запалювання повинна бути збільшена до тих пір, поки вимірювання НКМП НЕ будуть незалежні від енергії. Для вугільного і сульфідної пилу, як показано на рис 3.1, можна виявити, що вимірювання НКМП не залежить від енергії, коли енергія запалювання збільшується від 3 кДж до 5 кДж відповідно. Звичайно, дуже висока енергія також несприятлива для вимірювання НКМП, особливо для пилу з більш високою займистістю. Наприклад, на рис. 3.2 показана залежність зміни НКМП борошна від енергії запалювання. (У порівнянні з вугільним і сульфідним пилом, борошно має більш високу займистість.) Як і очікувалося, виміряний НКМП борошна стабілізується, коли енергія

запалювання коливається від 3 до 5 кДж. Проте, коли енергія запалювача виникає до 10 кДж, раптове зниження НКМП виникає через надмірно потужного запалювача. З одного боку, коли в досліді використовується занадто потужне джерело запалювання, енергія, що виділяється запалювачем, достатня для спалювання достатньої кількості пилу, щоб невибухова система могла виглядати вибухонебезпечною.

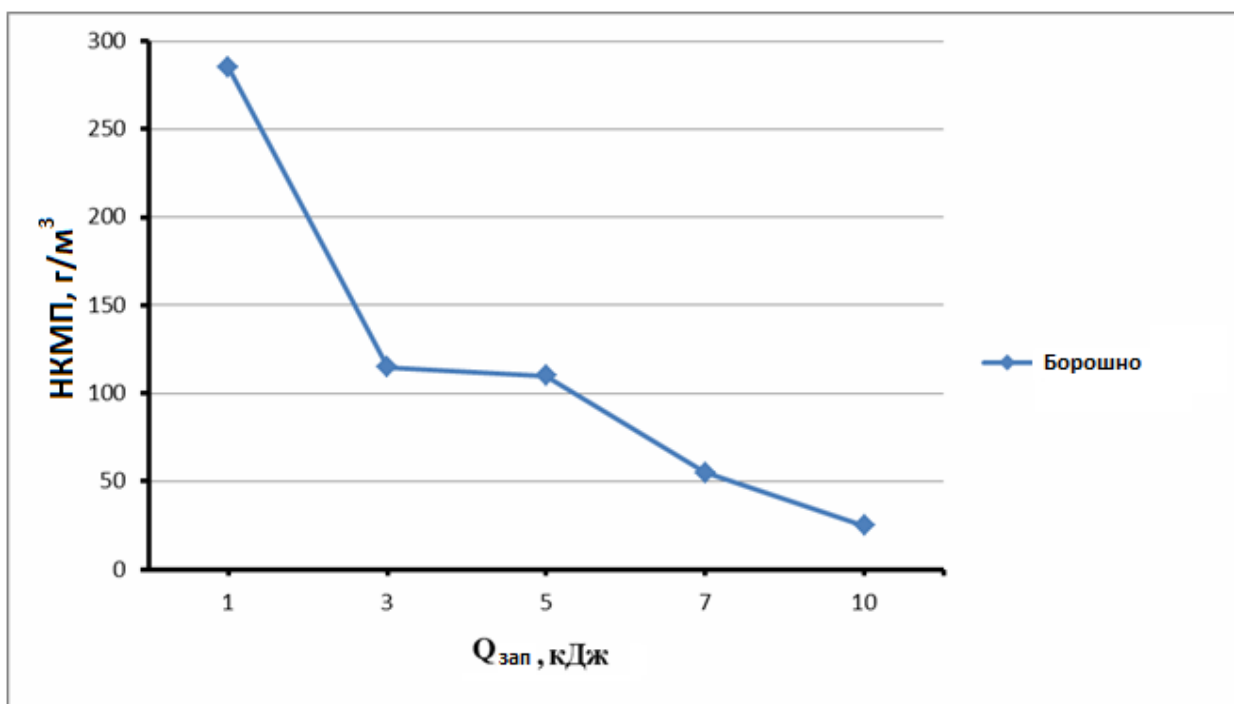


Рис. 3.2 - Динаміка зміни НКМП пшеничного борошна в залежності від енергії піротехнічного запалювача.

З іншого боку, через надмірно великої енергії займання, початкова температура системи помітно підвищиться, що, в свою чергу, призведе до зниження виміряного НКМП. На практиці найбільш прийнятна енергія запалювання в вимірах НКМП пов'язана з обсягом вибухової камери. Для лабораторних установок енергія 10 кДж може давати занадто низькі значення НКМП [21, 30, 29], а на рис. 3.1 і 3.2 енергетичні діапазони 3-5 кДж є найбільш прийнятні для сферичної вибухової камери об'ємом 20 літрів для вимірювань НКМП різного пилу. Таким чином, для підвищення точності досліджень для

проведення подальших випробувань було вирішено використовувати замість двох піротехнічних запалювачей загальної енергією 10 кДж один, загальною енергією 5кДж.

3.2. Дослідження вибухових властивостей кам'яновугільної пилу глибоких шахт

На першому етапі проводилися дослідження вибухонебезпечних характеристик зразків кам'яного вугілля, відібраних з двох очисних вибоїв надкатегорійних шахт (зразок 1,3)та шахти 3 категорії (зразок 2) [9, 63]. Всі шахти небезпечні за вибухами кам'яновугільної пилу.

Отримані результати оброблялися на прикладному програмному забезпеченні. За отриманими даними будувалися графіки залежності тиску вибуху пилоповітряної суміші від концентрації і дисперсності вугільного пилу рис. 3.3 і часу вибухового горіння пилогазової суміші - рис. 3.4.

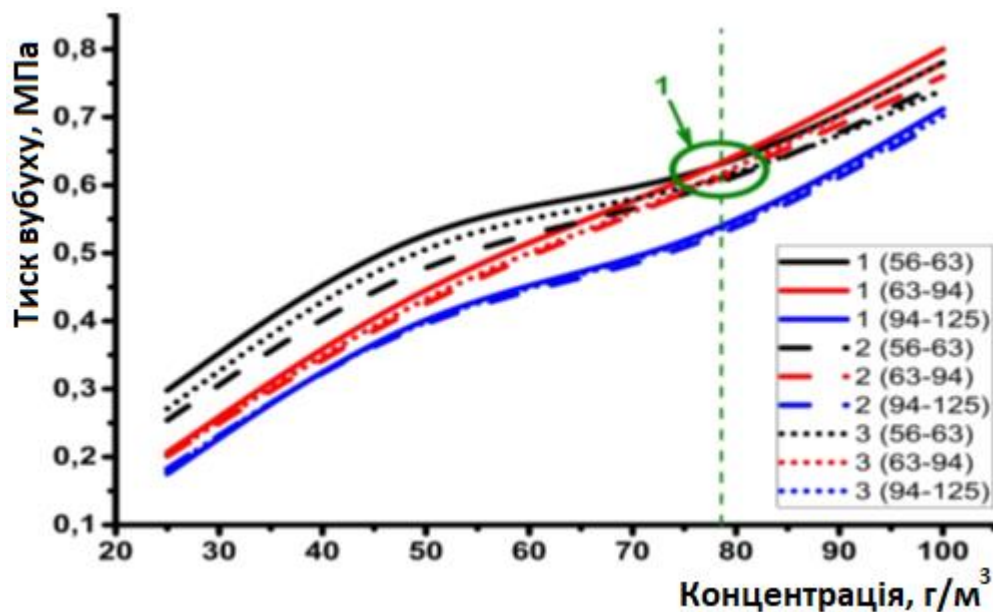


Рис. 3.3 - Графік залежності тиску вибуху пилоповітряної суміші від концентрації і дисперсності вугільного пилу

Зона 1, виділена на графіку, - зона рівності тисків вибуху, фракцій дисперсності 56-63 і 63-94 мкм, при концентрації пилу в області $76 - 80 \text{ г / м}^3$.

Згідно з отриманими експериментальними даними, прийнято рішення подальші дослідження проводити з фракціями пилу менше 94 мкм, так як для фракції 94-125 мкм тиск вибуху не залежить від марки вугілля. Причому, окремий інтерес представляють фракції дисперсністю менше 63 мкм, так як при концентраціях менше 70 г / м^3 тиск вибуху у них більш висока, ніж у зразків 1, 2 і 3 пилу дисперсністю 63-94 мкм. Також, слід зазначити, що при концентраціях пилу більше 80 г / м^3 тиск вибуху стає більше, ніж у фракцій 56-63 мкм.

Доцільно проводити подальшу роботу в області низьких концентрацій (менше 70 г / м^3) з фракціями пилу менше 63 мкм і в області високих концентрацій (понад 80 г / м^3) з фракціями пилу до 100 мкм (наприклад: 63-94мкм).

Отримані результати підтверджуються вимогами [46] і даними робіт [9, 45, 58, 59], також добре узгоджуються з іншими результатами.

Одним з результатів роботи стала виникла проблема отримання дрібнодисперсних фракцій. Вона полягала в проблемі отримання фракцій менше 63 мкм при операціях сухого розсіву, при якому властивості і склад пилу не будуть змінюватися. Наприклад, отримати пил кам'яного вугілля дисперсністю менше 56 мкм, практично не вдалося через забивання осередків сита, зміна режимів просіювання результатів не дала. На підставі виконаних робіт по розсіву зразків на фракції було відзначено, що отримання фракцій менше 56 мкм принципово можливо, але вимагає розробки додаткового алгоритму сухого розсіву і в рази великих трудовитрат.

Результати візуалізації експериментальних даних відображають залежність зміни тиску вибуху від часу згоряння вугільного аерозоліу приведені на рис. 3.4.

Згідно з отриманими експериментальними даними, в тому числі представленим на рис. 3.4, найбільшою вибухонебезпечністю володіє кам'яне вугілля (зразок 1). Тиск вибуху розглянутих зразків змінюється у вузькому діапазоні 0,73 - 0,8 МПа, що ні суперечить довідковими даними. Швидкість наростання тиску вибуху, вугілля різних шахт відрізняється істотно. Наприклад, у зразка 1 швидкість наростання тиску 42,05 МПа / с, а у зразка 3 15,83 МПа / с.

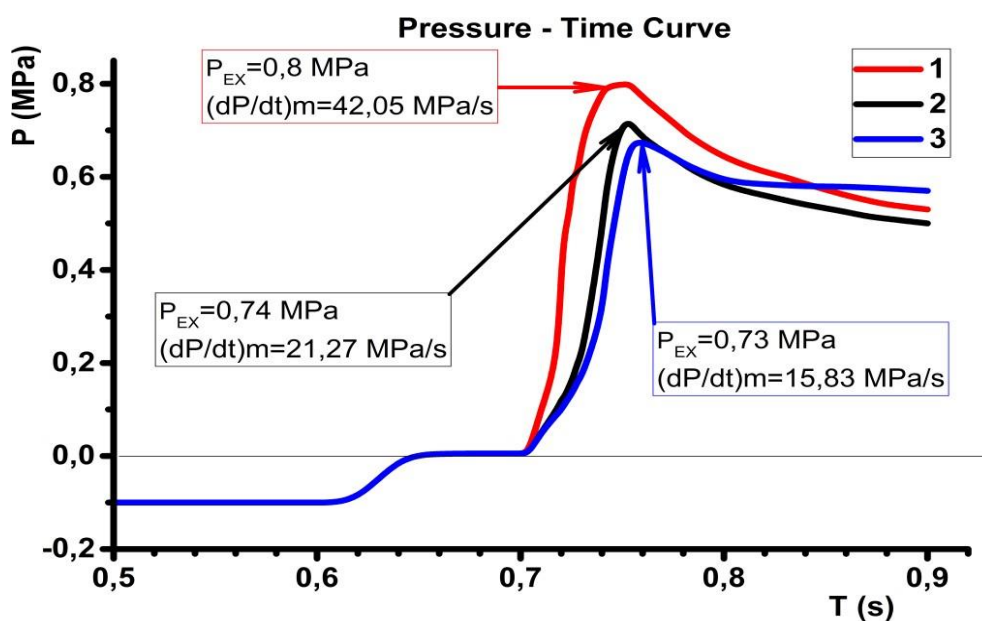


Рис. 3.4 - Графік залежності зміни тиску вибуху (P , МПа) від часу (t , с) вибухового горіння пилогазової суміші у вибуховій камері.

Отримані результати оброблялися на прикладному програмному забезпеченні і за отриманими даними будувалися графіки залежності зміни тиску вибуху вугільного пилу, від концентрації і часу вибухового горіння пилогазової суміші рис. 3.5 і графіки зміни тиску вибуху і швидкості наростання тиску вибуху від часу рис. 3.6 (графік тиск - час (Pressure-Time)).

При визначенні залежності зміни тиску вибуху від концентрації і швидкості наростання вибуху від концентрації кам'яновугільної пилу (КУП) в обсязі вибухової камери застосований рекомендований крок по масовому

кількості пилу, необхідного для створення в обсязі 20 л сфери тієї чи іншої концентрації. Наприклад, при малих концентраціях застосовувався крок, що не перевищує 50% від початкового значення, а при високих концентраціях, що дорівнює 50% і на останньому етапі, більше 50% від початкового значення.

Відповідно до застосованої методики, заснованої на даних і з урахуванням відомостей що містяться в роботах [36], були отримані результати, представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати проведення експерименту по виникненню вибухового горіння (вибуху) в обсязі 20 л сфери при її підпалюванні хімічним запалювачем з енергією 5 кДж

№	Концентрація пилу, г/м ³	Вибух
1	25	Ні
2	50	Так
3	75	Так
4	100	Так
5	125	Так
6	150	Так
7	175	Так
8	200	Так
9	250	Так
10	400	Так

Продовження таблиці 3.1		
11	500	Один раз ні, два рази так
12	600	Один раз ні, два рази так
13	950	Два рази ні, один раз так
14	1000	Ні

Згідно, з даними, наведеними в таблиці, область займання (детонаційного горіння) досить широка, від 50 до 950 г / м³.

Результати лабораторних експериментів з визначення впливу концентрації вугільного пилу на тиск вибуху і швидкість наростання тиску вибуху представлені на суміщеному графіку (рис. 3.5).

З даних рис. 3.5 випливає, що в досить широкому діапазоні по концентрації, а саме 175- 400 г / м³ (175, 200, 250, 400) тиск вибуху практично не змінюється від $P_{\text{виб}} = 0,74$ МПа при $\phi = 175$ г / м³ до $P_{\text{виб}} = 0,7$ МПа при $\phi = 400$ г / м³. При подальшому збільшенні концентрації КУП в реакційному обсязі тиск вибуху повільно знижується. При концентрації 950 г / м³ відбувається два відмови і при концентрації 1000 г / м³ займання пилоповітряної суміші не сталося.

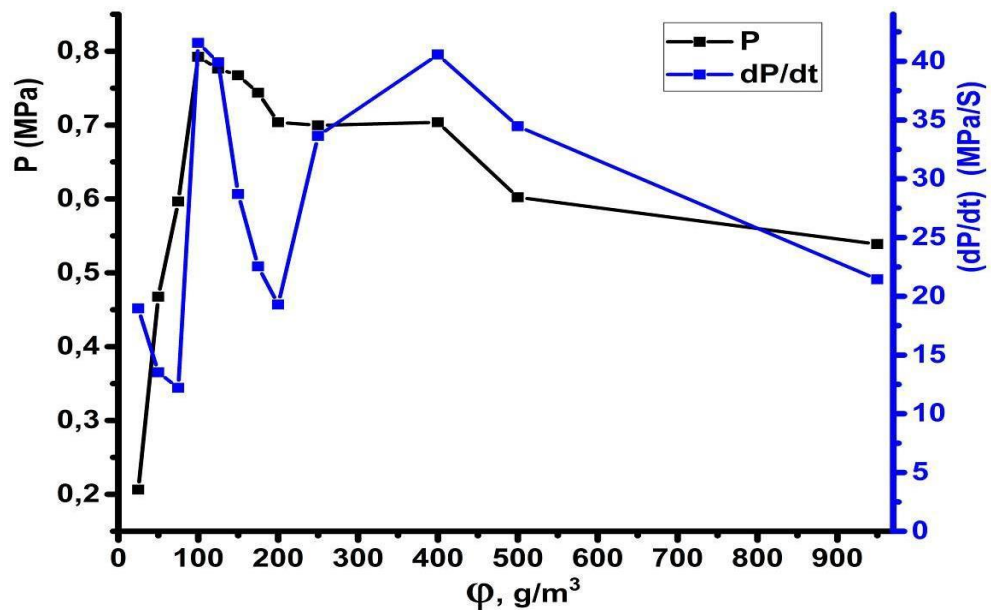


Рис. 3.5 - Суміщений графік зміни тиску вибуху і швидкості нарощування тиску вибуху від концентрації кам'яновугільної пилу в 20 л обсязі сфери (вибухової камери)

При проведенні науково-експериментальної роботи з вивчення залежності зміни швидкості наростання під час вибуху від концентрації були отримані результати, які відразу не знайшли пояснення. Наприклад, максимальна швидкість наростання тиску (dP/dt) спостерігається при концентрації 100 г / м^3 і потім при подальшому збільшенні концентрації вугільного пилу різко падає. Однак, починаючи від 200 г / м^3 , спостерігається повторний ріст, швидкості наростання тиску при вибуху досягає свого максимуму при $\phi = 400 \text{ г / м}^3$ і далі відбувається повільне падіння dP/dt .

В результаті дослідження впливу концентрації пилу на тиск вибуху для подальших досліджень було обрано концентрація кам'яновугільної пилу рівна 100 г / м^3 (див. рис. 3.6) і продовжена робота по визначенню найбільш ефективних вогнегасних і вибухопридушуючі порошкових складів.

На рис. 3.6 представлений результат обробки в середовищі графічного відображення автоматично реєструються даних детонаційного горіння

пилоповітряної аерозолі КУП дисперсністю (фракцією) 63 - 94 мкм в 20 л вибуховій камері (сфері).

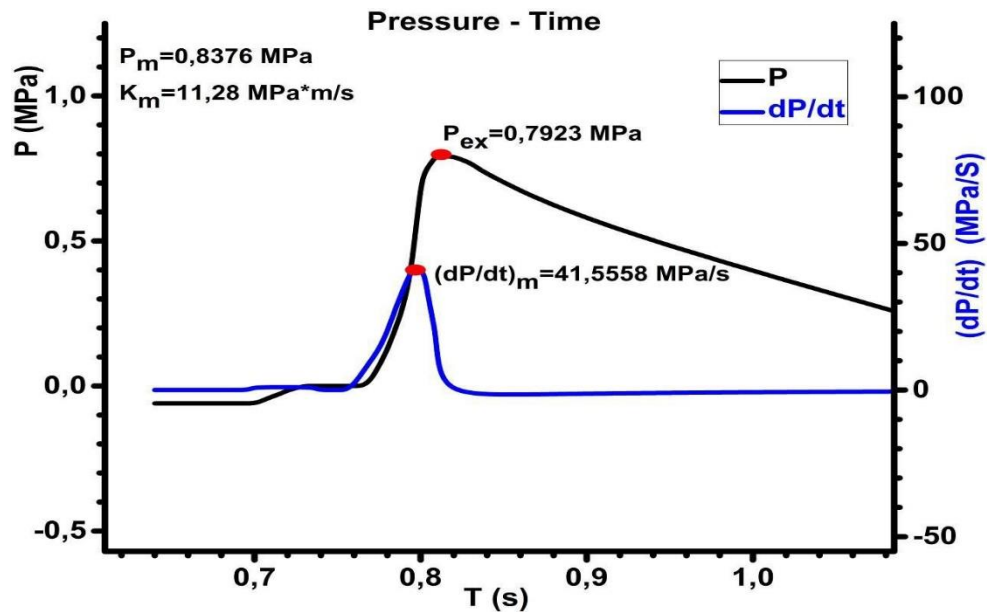


Рис. 3.6 - Графік зміни тиску вибуху і швидкості нарощування тиску вибуху від часу

Відповідно до методики проводили три експерименту з одним і тим же (за масою, дисперсності і т.д.) зразком КУП і будували підсумковий графік, в даному випадку представлений на рис. 3.5.

Згідно з отриманими експериментальних даних при вибуховому горінні кам'яновугільної пилу марки КС шахти імені Дзержинського в робочій камері склалося максимальний тиск вибуху рівне 0,7923 МПа (7,9 атм або 792,3 кПа), тобто $P_{ex} = 0,7923$ ($1P_{min} = 0,7684$, $2P_{виб} = 0,7719$ і $3P_{max} = 0,8376$ МПа).

Швидкість наростання тиску при цьому склала 41,558 МПа / с. Розрахований прикладним програмним забезпеченням лабораторної установки трансформаційний коефіцієнт (K_m) склав 11,28 МПа * м / с.

Згідно з даними, викладеними в [41], знаючи коефіцієнт трансформації, можна розрахувати швидкість наростання тиску вибуху в будь-яких обсягах, в тому числі і в гірничих виробках.

3.3. Експериментальні дослідження впливу різних типів флегматизаторами і інгібіторів на вибух ППС

На підставі даних, отриманих раніше, в якості еталонної пилу для проведення випробувань, спрямованих на дослідження впливу флегматизаторами і інгібіторів на вибуховість зваженої в повітрі кам'яновугільної пилу, був обраний зразок надкатегорійної шахти.

За описаною вище методикою були проведені лабораторні випробування з визначення ефективності дії добавок пригнічування і флегматизації. Випробування включають в себе наступну послідовність операцій: в вугільний пил, фракційний склад і концентрація якої відповідають максимальному тиску вибуху, по черзі (шляхом ретельного перемішування) додають різні види інгібіторів (флегматизаторами), вибрані для дослідження. З кожним з обраних інгібіторів виконували по 10 спроб займання вугільної пилоповітряної суміші з кроком концентрації в ній інгібітору 10% від маси вугільного пилу.

Результатом проведеного одиничного випробування є крива тиску-часу, що дозволяє визначити тиск вибуху і швидкість його нарощування. Значення швидкості наростання тиску характеризує швидкість вивільнення енергії вибуху і застосовується при розробці заходів щодо забезпечення пожежовибухобезпеки технологічних процесів.

Потім за даними значень, отриманих в результаті випробувань, будують графік залежності (рис. 3.7) тиску вибуху (P , МПа) від концентрації

інгібітору (C,%). Аналіз графіка дозволяє визначити найбільш ефективний з досліджуваних інгібіторів і його оптимальну концентрацію.

(KCl) - 75 г / м³.

У зв'язку з процесом охолодження і ефектів тиску, викликаних хімічними запальник в 20-літрової камері в порівнянні з еталонною камерою в 1 м³, виміряний тиск вибуху P_{ex} перераховують за такою формулою:

$$P_m = 0,755 \cdot P_{ex}^{1.15},$$

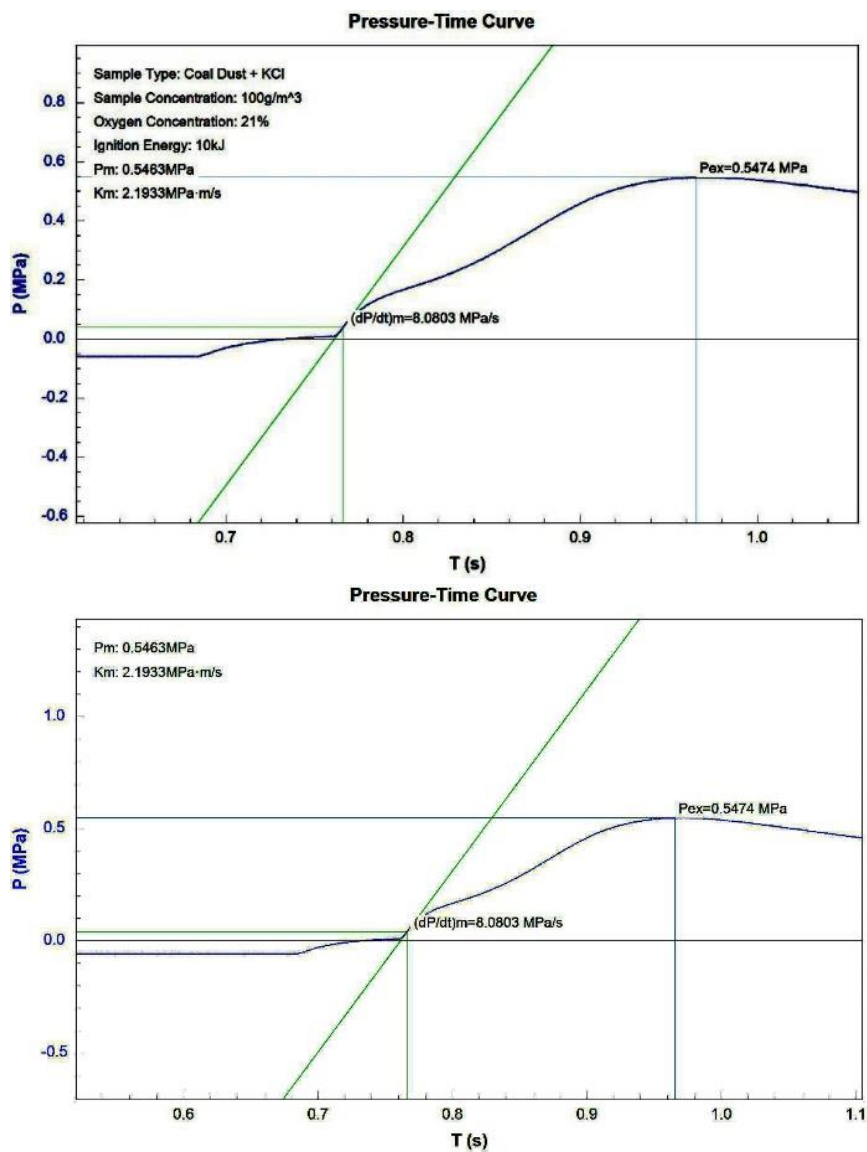


Рис. 3.7 - Результат проведення одиничного випробування

Таким чином, отримують скориговане тиск вибуху. Згідно з отриманими даними, найбільшою ефективністю вибухоподавлення володіє склад на основі карбаміду і хлористого калію (в співвідношенні 1: 3). Крім того, аналіз графічних даних дозволяє зробити висновок про пороговий характер процесу взривоподавлення, таким чином, для локалізації вибуху всього безпечного об'єму повинна бути досягнута мінімальна концентрація вибухоподавлення складу полум'ягасіння.

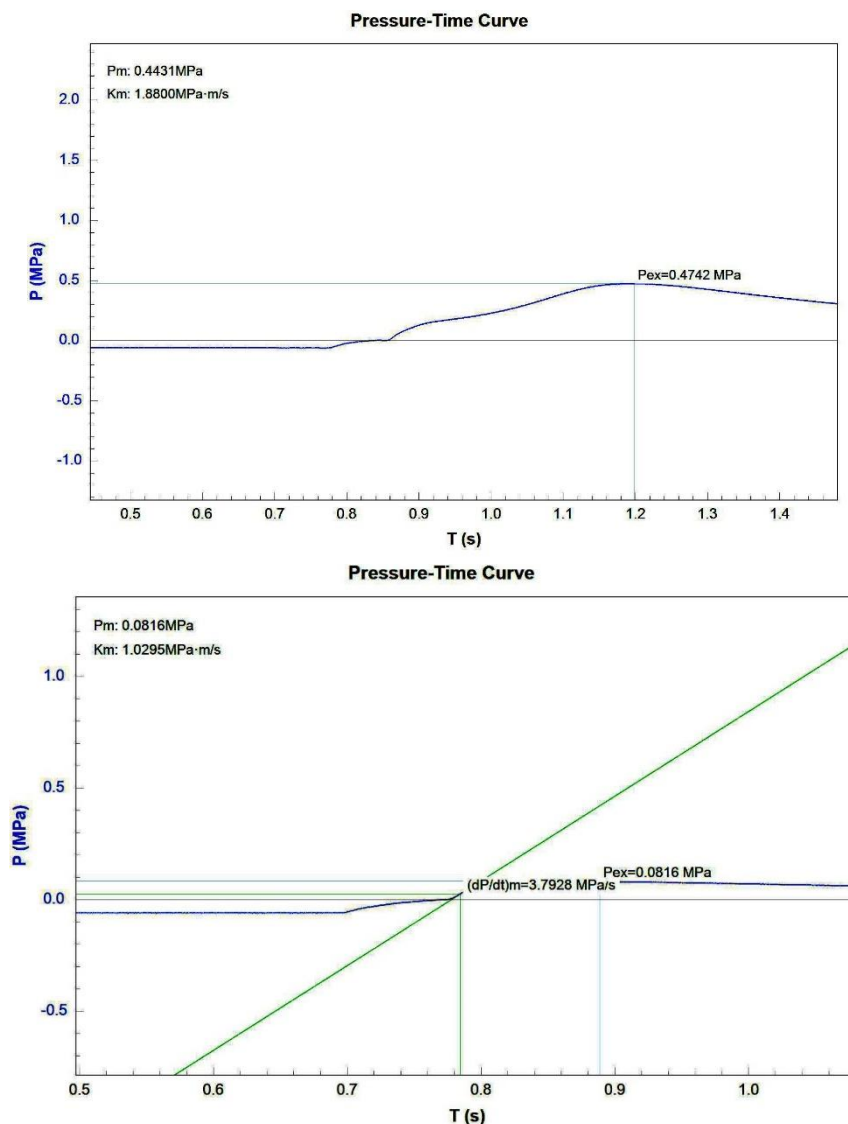


Рис. 3.7 - Результат проведення одиничного випробування

Як відомо, ефективність полум'ягасіння порошкових складів збільшується зі збільшенням питомої площі поверхні частинок ВПС, тобто зі зменшенням фракції порошку. Проведені випробування (рисунок 3.8) показали, що максимальна дисперсність пропонованого порошкового складу не повинна перевищувати 40 мкм.

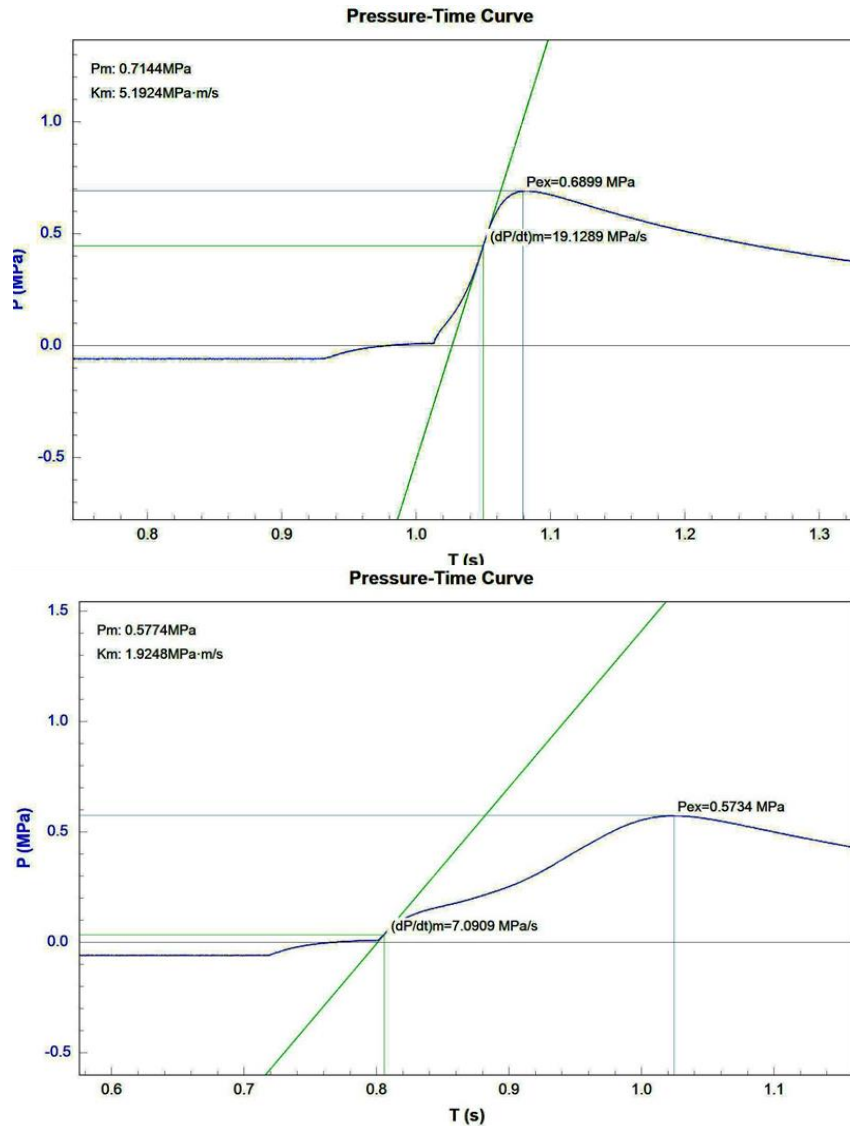


Рис. 3.7 - Результат проведення одиничного випробування

З іншого боку, занадто тонкодисперсний порошок у складі хмари вогнеперешкодження може бути винесений ударною повітряною хвилею із зони реакції і не проявити впливу на локалізацію вибуху. З огляду на цей факт, був рекомендований склад з масовою часткою частинок порошку менш 40 мкм не більше 70%.

Результати експериментальних даних, отриманих при порівнянні ефективності вибухоподавлення вогнегасного порошку загального призначення, на основі амофосу (моно- і діамонійфосфат) і сульфату амонію зі складом на основі хлориду калію, що має високі інгібуючі властивості, і карбаміду, що показує високу швидкість розкладання та значну перевагу останнього (рис. 3.9).

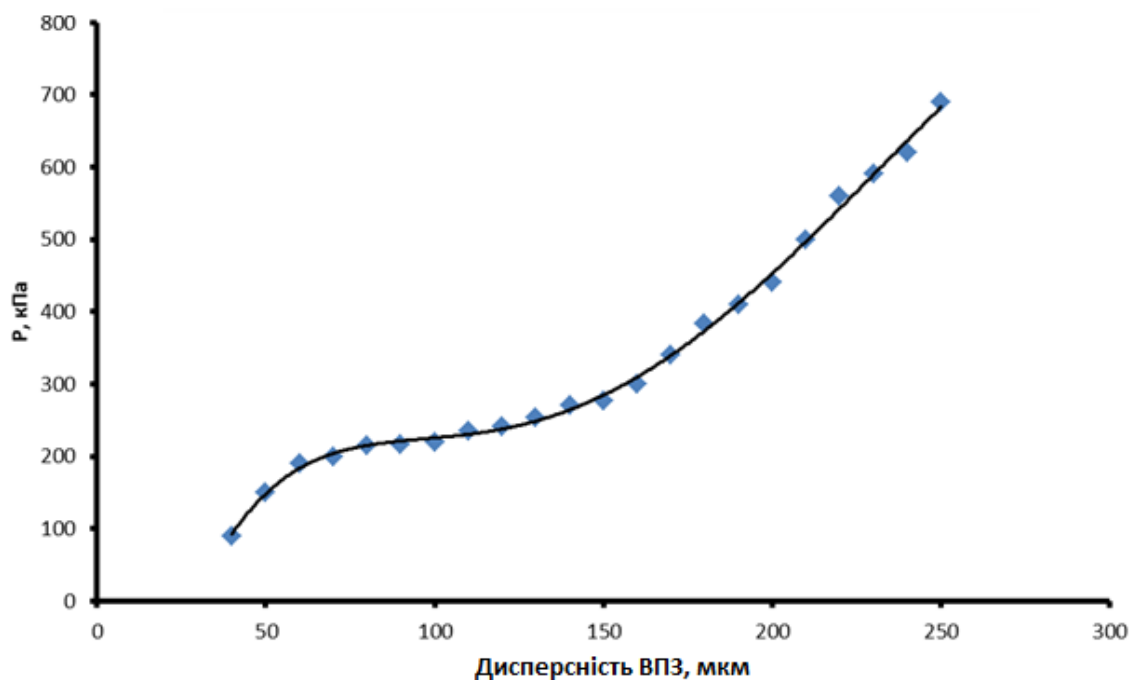


Рис.3.8 - Графік залежності тиску вибуху від дисперсного складу вогнегасних порошкових засобів

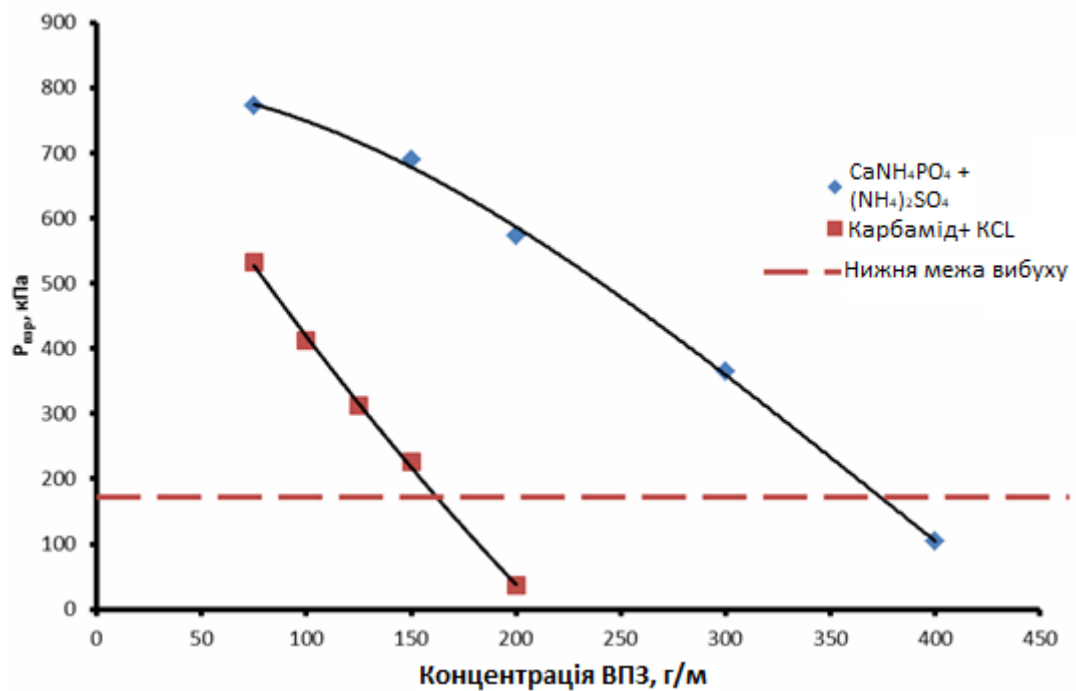


Рис. 3.9 - Графік залежності тиску вибуху вугільного пилу від концентрації вогнегасних порошкових засобів

Варто також відзначити, що в умовах швидкоплинних процесу вибухового горіння або детонації вугільного пилу, ВПЗ на основі амофосу втрачають одне зі своїх важливих переваг в гасінні полум'я - здатність ізолювати тверду тліючу поверхню частинок вугільного пилу від доступу кисню в'язкою плівкою плаву. Полімеризація нижчих фосфатів до з'єднань тип $\text{NH}_4\text{H}_6\text{P}_5\text{O}_{16}$, що утворюють в'язкі плівки, не встигає відбутися.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ОБГРУНТОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ФЛЕГМАТИЗАТОРІВ ТА ІНГІБІТОРІВ У СКЛАДІ ЗАСОБІВ ЛОКАЛІЗАЦІИ ВИБУХІВ ППС.

4.1 Обґрунтування вибору системи АСВП-ЛВ в якості засобу локалізації вибухів ППС

За встановленими в першому розділі роботи даними, відомо, що найбільш досконалим з технічної точки зору автоматичним заслоном, є розроблена автоматична система вибухоподавлення-локалізації вибухів АСВП-ЛВ.

Низька інерційність спрацювання системи дозволяє локалізувати вибух зі швидкістю ударно-повітряної хвилі аж до 660 м/с.

Система АСВП-ЛВ функціонує без необхідності в елементах живлення або підведення електроенергії. Спрацювання заслону відбувається при впливі ударно-повітряної хвилі на приймальний щит, після чого здійснюється викид вогнегасящого складу, який повністю перекриває весь перетин гірничої виробки до моменту приходу фронту полум'я.

До систем АСВП-ЛВ відсутня необхідність застосування регламентів обслуговування ємностей, що працюють під високим тиском через спеціально розроблених конструктивних параметрів.

Автоматичні системи АСВП-ЛВ застосовуються для захисту:

- конвеєрних виробок; похилих гірничих виробок, в тому числі з кутом нахилу більше 18 °;
- підготовчих виробок, що проводяться по вугіллю або по вугіллю і породі;

- гірничих виробок, обладнаних монорейковим транспортом; очисних виробок;

- крил шахтного поля на кожному пласті; пожежних ділянок;

- підземних складів вибухових матеріалів.

Порівняльні характеристики застосовуваних в даний час заслонів для локалізації вибухів метану і (або) вугільному пилу наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Характеристики різних систем локалізації вибухів

Параметри	АСВП-ЛВ	СЛВА	Заслон	
			водяний	сланцевий
Умови надійного спрацювання	Проходження УПХ з тиском на фронті $> 0,02$ МПа (балансуючий вибух)	Спалах в безпосередній близькості від датчика	Проходження УПХ з тиском на фронті $> 0,06$ МПа (слабкий вибух)	
Інерційність спрацювання	15-20 мс	До 100 мс	90-150 мс	250-600 мс
Час життя сформованого заслону	Для порошків П-АГС > 300 с	Для порошків ПВХ 2-3 с	до 220 мс	< 1 с
Область застосування	Балансуючи вибухи, слабкі вибухи, початок сильних вибухів	Спалах, початок балансуючих вибухів	Слабкі вибухи	
Посування вибою без необхідності проведення монтажних робіт з системою вибухоподавлення	240 м	60 м	25-40 м	25-40 м
Час експлуатації без обслуговування	6 міс	6 міс	Постійне обслуговування	3 міс
Споживання електроенергії	Ні	36 В	Ні	Ні

У МакНДІ [24] зіставили різні системи локалізації вибухів (див. таблицю 4.2) і встановили наступне: - система АСВП-ЛВ за часом отримання

інформації про займання метаноповітряної суміші перевершує сланцеві і водяні заслони і практично не поступається за цим показником іншим системам;

- час включення механізму, що створює хмару подавлення вибуху, в системі АСВП-ЛВ становить 15-20 мс, що в 5 разів менше, ніж в інших системах і практично в 100 разів менше часу початку перекидання полиць судин сланцевих (водяних) заслонів; - за часом формування хмари подавлення вибуху і за загальним часу його створення (до повного перекриття перетину виробки) система АСВП-ЛВ в десятки разів перевершує сланцеві і водяні заслони і в кілька разів – інші системи; - по чутливості до впливу вибуху (виявлення останнього) система АСВП-ЛВ (мінімальний тиск спрацьовування - 0,02 МПа) значно перевершує сланцеві і водяні заслони (0,05-0,07 МПа). Більшість систем не реагує на ударноповітряну хвилю, яка супроводжується вибухом метану і (або) вугільному пилу, але має високу чутливість за виявленням ІК-випромінювання від спалахів метану; - область застосування системи АСВП-ЛВ ідентична області застосування сланцевих і водяних заслонів, а також додатково може використовуватися в похилих гірничих виробках з кутом падіння понад 18° і в гірських виробках, обладнаних монорейковим транспортом.

Таким чином, в сучасних умовах найбільш технічно досконалим пристроєм автоматичної локалізації вибухів вугільного пилу є система АСВП-ЛВ, в зв'язку з цим, застосування пропонованого складу гасіння полум'я на основі хлориду калію і карбаміду найдоцільніше для спорядження даних систем.

4.2 Обґрунтування застосування складу полум'ягасіння на основі хлористого калію карбаміду в системі АСВП-ЛВ.

Для визначення ефективності застосування складу полум'ягасіння на основі хлористого калію і карбаміду для спорядження автоматичних систем подавлення вибуху і локалізації вибухів (АСВП-ЛВ) були проведені дослідні випробування.

Характеристики складу полум'ягасіння представлені в таблиці 4.2.

Метою випробувань було визначення величини навішування випробуваного порошку полум'ягасіння, необхідної для локалізації вибуху аерозолі вугільного пилу.

Таблиця 4.2 - Коротка характеристика порошку полум'ягасіння

№ п/п	Найменування показника	Фактичний вміст
1	Масова доля карбаміда ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), %	72
2	Масова доля хлористого калія (KCl), %	27
3	Гідрофобізуюча добавка (аеросил), %	1
4	Масова доля вологи, %, не більше	0,35
5	Кількість частинок розміром менш 40 мкм, %	70

Метою випробувань було визначення величини навішування випробуваного порошку полум'ягасіння, необхідної для локалізації вибуху аерозолі вугільного пилу.

Система вибухових випробувань складається з 20-літрової сферичної вибухової камери, системи управління та збору даних. Програмований логічний контролер (ПЛК), генератор сигналу займання, панель даних тиску і призначений для користувача інтерфейс знаходиться в блоці управління. Блок управління з'єднаний з комп'ютером через Ethernet кабелі. Зміна тиску у вибуховій камері перекладається в електричний сигнал датчиком тиску і передавальним пристроєм, записується системою збору даних і зберігається в пам'яті комп'ютера. Значення максимального тиску P_m і ступінь його зростання K_m можна отримати з автоматичного аналізу кривої тиску за часом.

Вибухова камера являє собою посудину з двох шарів нержавіючої сталі. Для підтримки постійної температури всередині камери можна помістити воду або іншу речовину в двошарову оболонку. На одній зі сторін контейнера знаходиться оглядове віконце для перевірки успішності займання. У камері є вхідні і вихідні з'єднання для відкачування повітря, вихлопу, виходу горючого газу та стисненого повітря.

Мультифазний клапан подачі пилу/повітря (також званий швидкодіючим) встановлено під дном випробувальної камери і використовується для контролю над процесом розсіювання пилу. Реле тиску встановлено всередині стінки судини і використовується для визначення динамічного тиску вибуху пилу. Структура сполуки кришки з камерою аналогічна такій на автоклаві. Маніпуляції з кришкою може виробляти один чоловік. Розсіює сопло встановлено на дні камери і використовується для рівномірного розсіювання пилу в камері.

Загальний алгоритм проведення лабораторного дослідження полягає в тому, що в закритій камері згоряння установки, формується аерозоль кам'яновугільної пилу, який подається одномоментно з порцією флегматизуючого складу за допомогою стиснутого повітря, під тиском 2МПа.

Далі проводиться займання пилоповітряної суміші хімічними запальниками з затримкою 60 мс. Результати займання утворилася всередині робочої камери аерозолю заданої концентрації, тиск вибуху і швидкість наростання тиску вибуху автоматично фіксуються системою обробки даних.

Результати досліджень, проведених за описаною вище методикою, представлені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Визначення величини порції порошку полум'ягасіння що досліджується.

Концентрація ОПС, г/м ³	P_m , МПа	Результат випробування
50	0,4817	З
60	0,4503	З
70	0,3909	З
80	0,3544	З
90	0,3048	З
100	0,2817	З
110	0,2791	З
120	0,2459	З
130	0,2244	З
140	0,1981	З
150	0,0360	В

Примітка: В – запалення відсутнє; З – запалення вугільного пилу.

З метою визначення ефективності вибухоподавлення випробуваного складу, а також можливості його застосування в автоматичних системах вибухоподавлення був виконаний аналіз випробувань, проведених в лабораторії рудничної пилу МакНДІ, метою яких було визначення величини добавки порошку полум'ягасіння, необхідного для нейтралізації вибуховості вугільного пилу.

Результати вибуховості суміші вугільного пилу з нейтралізуючої добавкою у вигляді інгібітору наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Результати вибуховості суміші вугільного пилу з порошком

Добавка до вугільного пилу	Результати вибуху
25	виб., виб.,
26	виб., виб.
27	виб., виб., н/в., н/в.,
28	н/в., виб., виб., н/в., виб.,
30	виб., н/в., виб., н/в., н/в.,
31	н/в., виб., н/в., виб., н/в.,
32	н/в., виб., н/в., н/в., н/в.,
33	виб., н/в., н/в., н/в., н/в.,
34	н/в., н/в., н/в., виб., н/в.,
35	н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в., н/в.,

Випробування, проведені в лабораторії для аналогічних умов з використанням в якості нейтралізує добавки досліджуваного складу полум'ягасіння на основі хлористого калію і карбаміду наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Результати вибуховості суміші вугільного пилу з порошком на основі хлористого калію і карбаміду

Добавка в % до вугільного пилу	Результати вибуху (в % від кількості досліджень)
10	100% вибух
15	100% вибух
17	100% вибух
20	90% вибух
23	70% вибух
25	50% вибух

В результаті проведених випробувань встановлено:

1. Концентрація добавки порошку полум'ягасіння на основі карбаміду і хлористого калію, надійно локалізуються вибух вугільного пилу повинна становити не менше 150 г / м³.

2. Величина добавки порошку полум'ягасіння на основі карбаміду і хлористого калію, надійно нейтралізує її здатність до вибуховості становить 33% по масі і більш.

3. Доведено ефективність вибухоподавлення досліджуваного порошкового складу. Склад рекомендований для спорядження систем АСВП-ЛВ для локалізації вибухів вугільного пилу.

За даними, отриманим в МакНДІ, для локалізації вибуху пилогазоповітряної суміші будь-якої потужності аерозольний заслон з вогнегасного порошку повинен бути довжиною 15 м. Виходячи з цих даних, а також за результатами проведених досліджень встановлено, що згідно з технічними характеристиками системи, складу полум'ягасіння масою 30 кг, заряджений в АСВП-ЛВ, здатний надійно локалізувати вибух вугільного пилу в гірничій виробці площею перетину до 13 м².

ВИСНОВКИ

Проаналізовано вибухонебезпечні характеристики кам'яновугільного пилу і встановлено, що для кожної марки вугілля порогові значення вибуху різні. Визначено, що найбільшим максимальним тиском вибуху характеризуються фракції пилу дисперсністю 63-94 мкм при концентрації пилу 100 г/м³.

Встановлено, що з ряду досліджених вогнегасних складів найбільшою ефективністю ліквідації вибуху характеризується склад на основі карбаміду і хлористого калію (який рекомендується до застосування).

Встановлено, що вогнегасний склад на основі карбаміду і хлористого калію концентрацією 150 г / м³ і дисперсністю не більше 40 мкм ефективно запобігає вибух вугільного пилу.

За результатами проведених досліджень порошковий склад з найліпшими показниками рекомендований для застосування в автоматичних системах вибухопригнічування (АСВП).

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Збірник інструкцій до Правил безпеки у вугільних шахтах. — т. 1, К., 1996. — 425 с.
2. Збірник інструкцій до Правил безпеки у вугільних шахтах. — т. 2, К., 1996. — 410 с.
3. Левкин Н. Б. Предупреждение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины. — Донецк: Донбасс, 2002. — 396 с.
4. Сыркин П. С., Ягодкин Ф. И., Мартыненко И. А., Нечаенко В. И. Технология строительства вертикальных стволов. — М.: ОАО “Издательство “Недра”, 1997. — 456 с.
5. Навроцкий В.К. Гигиена труда. — М.: Московская типография №11, 1974. — 439с.
6. Долженков А. Ф. Анализ и пути совершенствования деятельности санитарно-профилактических лабораторий по оздоровлению условий труда в угольной промышленности: дис. ... канд. мед. наук: 14.00.07 / Долженков Анатолий Филиппович. — К., 1986. — 227 с.
7. Ладарія О. Г. Оцінка мікроклімату на робочих місцях гірників глибоких вугільних шахт / Ладарія О. Г., Валуціна В. М., Мирна О. В. // Актуальні проблеми гігієни праці, професійної паталогії і медичної екології Донбасу: зб. наук. пр. — Донецьк: Каштан, 2005. — С. 46-52.
8. Гусева З. М. Анализ запыленности рабочих мест при добыче угля / З. М. Гусева // Технология подземной разработки угольных пластов. - Кемеровиздат, 1982. - С. 158-161.

9. Броейер Х. Борьба с пылью и профилактика пневмокониоза / Х. Броейер // Глюкауф. – 1983. - № 18. - С. 16-20.
10. Коренев А. П. О влиянии электрозаряженности диспергированной жидкости на эффективность пылеподавления при работе горных машин / А. П. Коренев // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. научн. тр. – Макеевка: МакНИИ. - 2003. – С. 269-275.
11. Александров С. М., Булгаков Ю. Ф., Яйло В. В. Охорона праці у вугільній промисловості: Навчальний посібник для студентів гірничих спеціальностей вищих навчальних закладів / Під загальною ред. Ю. Ф. Булгакова. — Донецьк: РІА ДонНТУ, 2010. — 546 с.
12. Крутенко С. А. Пылевая обстановка, заболеваемость горнорабочих пневмокониозом на угольных шахтах Украины и разработка мероприятий по предотвращению заболеваемости: автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. тех. наук: спец. 05.26.01 «Охрана труда» / С. А. Крутенко. – Макеевка, 2004. – 21 с.
13. Грищенко В. С. Характеристика производственного шума при проведении подготовительных выработок на угольных шахтах Донбасса / В. С. Грищенко // Оздоровление условий труда, профилактика заболеваний горнорабочих и горноспасателей, организация экстренной медицинской помощи на угольных шахтах: сб. научн. тр. – Донецк. - 1985. - С. 30-31.
14. Мухин В. В. Гигиеническая оценка шума и вибрации производственной среды глубоких шахт / В. В. Мухин, Д. О. Ластков // Техника безопасности, охрана труда, горноспасательное дело: научн. техн. реф. сб. – М.: ЦНИЭИуголь. - 1982. - № 6. - С.10-11.
15. Ретгер К. Снижение шума на очистных и транспортных работах / К. Ретгер // Глюкауф. – 1978. - №24. - С. 17-30.
16. Попов В. В. Определение шумовой обстановки в горных выработках / В. В. Попов, Н. Ф. Пичка // Предупреждение травматизма и производственная санитария в шахтах: сб. научн. тр. – Макеевка: МакНИИ. - 1986. – С. 23-27.

17. Ластков О. А. Гигиеническая оценка радиационного фактора некоторых производств и его влияние на развитие и течение силикоза: автореф. дис. на соиск. учен. степени доктора мед. наук: спец. 14.00.07 «Гигиена» / О. А. Ластков. - Донецк, 1969. – 30 с.
18. Ластков О. А. Радиоактивный фактор в угольных шахтах // Вопросы гигиены и эпидемиологии Донбасса / О. А. Ластков. - Донецк, 1964. - С. 37.
19. Суханов В. В. О радиационной обстановке в глубокой угольной шахте / В. В. Суханов, В. П. Кудинов // Актуальные вопросы краевой гигиены Донбасса и физиологии труда в глубоких угольных шахтах: респ. научн. конф., 21-23 ноября 1972 г.: тезисы докл. - К., 1972. - С. 83-85.
20. Короленко Е. Е. Оценка родоноопасности выработок угольных шахт /
21. Е. Е. Короленко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. научн. тр. – Макеевка: МакНИИ. – 2001. – С. 220-228.
22. Бондаренко В. Н. Ядовитые газы при взрыве новых предохранительных взрывчатых веществ / В. Н. Бондаренко, А. С. Попова, В. А. Наумова // Безопасность взрывных работ в угольных шахтах. - Макеевка: МакНИИ. – 1973. - С. 13-16; вып. 4.
23. Росси Б. Д. Ядовитые газы при подземных взрывных работах / Б. Д. Росси. – М.: Недра, 1966. – 93 с.
24. Манжос Ю. В. Перспективы развития экологически чистых ВВ для угольных шахт Украины / Ю. В. Манжос, Ю. В. Подоваленко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. научн. тр. – Макеевка: МакНИИ. – 2006. – С. 83-88.
25. Сальцевич Л. Л. Влияние запыленности кожных покровов на гнойничковую заболеваемость / Л. Л. Сальцевич, Ю. П. Тихов // Уголь Украины. – 1981. - №5. - С. 34.
26. Гарина М. Г. Распространённость пиодермитов в связи с условиями труда / М. Г. Гарина // Вопросы гигиены труда и профессиональной патологии в

угольной, горнорудной и металлургической промышленности. – К.: Здоров'я, 1968. – С. 56-59.

27. Иткин М. З. Сезонные колебания заболеваемости пиодермитами горнорабочих угольных шахт Донбасса / М. З. Иткин, Ю. П. Тихов, В. В. Цивун // Кондиционирование рудничного воздуха в глубоких шахтах. – Макеевка: МакНИИ. - 1978. - С. 56-62; вып. 6.

28. Куйда Л. В. Топография пиодермитов и травм у шахтёров / Л. В. Куйда, С. И. Цыкин, Е. А. Перцевой, Е. Н. Прокудова // Предупреждение травматизма и производственная санитария в шахтах: сб. научн. тр. – Макеевка: МакНИИ. – 1986. – С. 20-23.

29. Овецкая Н. М. Физиолого-гигиеническое обоснование минимальной нормы освещения для откаточных штреков угольных шахт / Н. М. Овецкая // Гигиена труда и профзаболевания. – 1967. - № 1. - С. 51-54.

30. Засоби індивідуального захисту шахтарів із розпізнавальними знаками із світлоповертаючих матеріалів. Загальні технічні вимоги: КД 12.07.001-2001. – Офіц. вид. – Макіївка: МакНДІ: М-во вугільної промисловості України, 2001. – 20с. – (Нормативний документ мінвуглепрому України. Керівний документ).

31. Долженков А. Ф. Разработка опознавательных знаков из светоотражающих материалов для спецодежды и других средств индивидуальной защиты / А. Ф. Долженков, А. Г. Квитко, Н. А. Мартынова, Р. А. Садымака // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. научн. тр. – Макеевка: МакНИИ. - 2003. - С. 222-227.

32. Долженков А. Ф. Применение световозвращающих материалов в средствах индивидуальной защиты при работах на угольных предприятиях / А. Ф. Долженков // Вісник національного технічного університету України: сб. научн. тр. – К.: „Київський політехнічний інститут”. - 2004 р. – № 10. - С. 10-12.

33. Андрущенко В. Н. Влияние микроклимата шахт на уровень временной нетрудоспособности при простудных заболеваниях горнорабочих / В. Н.

Андрющенко // Техника безопасности, охрана труда, горноспасательное дело: научн. техн. реф. сб. – М.: ЦНИЭИуголь, 1978. - № 3. – 14с.

34. Куйда Л. В. Опыт работы по снижению общей заболеваемости в производственном объединении по добыче угля „Макеевуголь” / Л. В. Куйда,

А. Ф. Долженков // Борьба с высокими температурами рудничного воздуха: сб. научн. тр. – Макеевка: МакНИИ. - 1986. – С. 20-23.

35. Долженков А. Ф. Опыт работы по совершенствованию учета и анализа заболеваемости с временной утратой трудоспособности в производственных объединениях „Макеевуголь” и „Советскуголь” / А. Ф. Долженков, В. Л. Домашев. – Донецк: ЦБНТИ МУП УССР, 1987. – 4 с.

36. Шварц Э. Э. Маслянный аэрозоль в рудничном воздухе / Э. Э. Шварц // Безопасность труда в промышленности. – 1969. - № 1. - С. 44-45.

37. Шварц Э. Э. Оценка масляного аэрозоля в атмосферном воздухе подземных выработок / Э. Э. Шварц // Гигиена труда и профзаболевания. – 1970. - № 2. - С. 59.

38. Клингер К. Синтетические материалы в горном деле и вопросы безопасности их применения / К. Клингер // Глюкауф. – 1962. - № 18. - С. 39-45.

39. Wilde D. Polyurethane foam fire hazard in mines / D. Wilde // Colliery Guardian. – 1968. - № 16. - P. 587-590.

40. Суханов В. В. Комплексный гигиенический анализ условий труда в глубоких шахтах / В. В. Суханов // Техника безопасности, охрана труда, горноспасательное дело: научн. техн. реф. сб. – М.: ЦНИЭИуголь, 1982. - № 6. - С. 12-14.

41. Обосновать необходимый ассортимент шахтёрской спецодежды: отчёт о НИР (заключительный)/ МакНИИ. - № ГР 0183.0058586. - Макеевка, 1985. – 169 с.

42. Иткин М. З. Гигиеническое обоснование требований к спецодежде горнорабочих основных профессий угольных шахт Донбасса: дис. ... канд. мед. наук: 14.00.07 / Иткин Михаил Захарович. - Макеевка, 1971. - 201 с.

43. Маршак М. Е. Влияние запыления кожи на потоотделение / М. Е. Маршак // Гигиена труда. – 1927. - № 10. - С. 11-15.

44. Меняйло Н. И. Гигиеническая оценка современных средств пылеподавления на углевыемочных комбайнах / Н. И. Меняйло // Материалы пленума респ. комиссии по борьбе с силикозом, 16-19 марта 1972 г.: тезисы докл. – К.: Наукова думка, 1972. - С. 192-197.

45. Кашуба О. И. Новый смачиватель для борьбы с пылью / О. И. Кашуба, Б. М. Кривохижа, Н. А. Гамза, В. А. Багацкий // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. научн. тр. – Макеевка: МакНИИ. - 2001. – С. 64-68.

46. Коренев А. П. Анализ состояния и пути нормализации условий труда и безопасности по пылевому фактору в угольных шахтах / А. П. Коренев, В. А. Маркин, О. И. Кашуба // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. научн. тр. – Макеевка: МакНИИ. – 2001. - С. 56-64.

47. Руководство по борьбе с пылью в угольных шахтах. – М.: Недра, 1981. - 271 с.

48. Гродель Г. С. Изучение вопросов пылеподавления при выемке угля и разработка метода оценки угольных пластов по пылевому фактору / Э. Н. Медведев, И. Г. Ищук, Г. С. Забурдяев // Борьба с силикозом. – М.: Наука, 1977. - Т.10. - С.12-16.

49. Меняйло Н. И. Гигиеническая оценка забоев угольных шахт Донбасса по пылевому фактору / Н. И. Меняйло // Научно-технический прогресс и оздоровление труда в угольной и металлургической промышленности: сб. научн. тр. - Донецк, 1975. - С. 32-34.

50. Мухина К. Ш. Основные тенденции динамики распространенности пневмокониоза на шахтах с различными горно-геологическими условиями / К. Ш. Мухина // Оздоровление труда в угольной промышленности: 4-я респ. конф. молодых ученых медиков, 17-18 окт. 1983 г.: тезисы докл. - Донецк, 1983. - С. 153-154.
51. Kommission der Europäischen Gemeinschaften / K. Robok // In: Technische Staubbekämpfung in Bergbau Informationstatung. - Luxemburg, 1972. - (11-13/X). – P. 133-147.
52. Медведев Э. Н. Разработка метода повышения эффективности увлажнения угля в массиве / Э. Н. Медведев // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. научн. тр. – Макеевка: МакНИИ, 1998. – С. 282-286.
53. Коренев А. П. Оценка эффективности и область рационального применения смачивателей для борьбы с пылью в шахтах / А. П. Коренев // Пути повышения безопасности горных работ в угольной отрасли: сб. научн. тр. – Макеевка: МакНИИ, 2004. – С. 396-401.
54. Долженков А.Ф. Анализ и пути совершенствования деятельности санитарно-профилактических лабораторий по оздоровлению условий труда в угольной промышленности: автореф дис. на соиск. учён. степени канд. мед. наук: спец. 14.00.07 «Гигиена» / А. Ф. Долженков. – К., 1986. - 22 с.
55. Методические рекомендации по оздоровлению условий труда и улучшению медицинского обслуживания горнорабочих глубоких шахт. – Донецк: ЦБНТИ. - 1975. - 34 с.
56. Зингер Ф. Х. Производственный травматизм среди шахтёров, длительное время работающих по одной и той же профессии на шахтах с крутыми пластами / Ф. Х. Зингер // Вопросы гигиены труда и профессиональной патологии в угольной, горнорудной и металлургической промышленности: сб. научн. тр. – К., 1968. - С. 64-67.

57. Долженков А. Ф. Установление требований к защитным свойствам шахтёрской спецодежды / А. Ф. Долженков, Р. А. Садымака // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. научн. тр. – Макеевка: МакНИИ. -1998. - С. 196-200.

58. Харковенко Н. М. Питання формування професійної патології гірників вугільної промисловості та заходи її запобігання / Н. М. Харковенко, В. В. Мухін, Г. С. Передерій, В. В. Нічипоренко // Актуальні проблеми гігієни праці, професійної патології і медичної екології Донбасу: зб. наук. пр. – Донецьк: Каштан, 2005. – С. 249-254.

59. Якуба Л. Н. Разработка требований на средства индивидуальной защиты от шума для шахтёров / Л. Н. Якуба, В. Г. Грачёв, Т. П. Велиходжина // Предупреждение травматизма и производственная санитария в шахтах: сб. научн. тр. – Макеевка: МакНИИ, 1988. - С. 5-10.