

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

На правах рукопису

Костенко Тетяна Вікторівна

УДК 622.8:614

ОЦІНКА РИЗИКІВ І ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ГІРНИЧОРЯТУВАЛЬНИХ
РОБІТ У ШАХТАХ, НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗА ГАЗОМ

Спеціальність 05.26.01 – охорона праці

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
доктор технічних наук,
професор
Булгаков Юрій Федорович

Донецьк – 2011

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ УЯВЛЕНЬ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ВЕДЕННЯ РОБІТ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ У ГАЗОВИХ ШАХТАХ	10
1.1. Умови виникнення та ліквідації найбільш складних підземних аварій на вугільних шахтах України	10
1.1.1. Гасіння пожежі у виробленому просторі на шахті імені В.В.Володарського ВО «Свердловськантрацит»	13
1.1.2. Гасіння способом ізоляції екзогенних пожеж на шахті імені Г.Г.Капустіна ВО «Лісічанськвугілля»	17
1.2. Сучасні технології ліквідації найбільш складних видів аварій на газових шахтах	23
1.3. Існуючі уявлення щодо зниження дії вражаючих факторів при ліквідації аварій у газових шахтах	34
1.4. Мета та задачі досліджень	45
РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА РИЗИКІВ ВРАЖЕННЯ ГІРНИЧОРЯТУВАЛЬНИКІВ ПРИ ВЕДЕННІ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ У ЗАГАЗОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ	47
2.1. Дія основних вражаючих факторів підземної аварії на організм людини	47
2.2. Оцінка ризиків вражень гірничорятувальників при гасінні пожеж у важкодоступних місцях	54
2.3. Обґрунтування основних напрямків управління ризиками при веденні аварійних робіт	68
2.4. Висновки	69
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ВИБУХОВОСТІ ГАЗОВИХ СУМІШЕЙ У ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ	71
3.1. Теоретичні дослідження вибуховості флегматизованих	71

сумішей повітря та горючих газів	
3.2. Лабораторні дослідження трикомпонентних (пальне- окислювач-флегматизатор) газових сумішей	79
3.2.1. Мета і завдання досліджень	79
3.2.2. Методика досліджень	79
3.3.3. Висновки за результатами експерименту	88
3.3. Механізм формування атмосфери у гірничих виробках в районі вогнища горіння	88
3.4 Оцінка можливостей автофлегматизації газоповітряних сумішей при гасінні підземних пожеж	97
3.5 Висновки	103
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОЇ ФЛЕГМАТИЗАЦІЇ ПОВІТРЯ У ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ МІСЦЯХ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕМБРАННИХ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ УСТАНОВОК	105
4.1. Обґрунтування безпечних тактичних прийомів по зниженню витоків повітря до ізолюваною аварійної ділянки	106
4.2 Розробка технологічної схеми управління подаванням азоту до вогнища горіння	111
4.3. Автоматизація процесу дистанційної флегматизації газових сумішей у вибухонебезпечних місцях	118
4.4. Висновки	125
РОЗДІЛ 5. ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВЕДЕННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ В НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗА ГАЗОМ ШАХТАХ	126
5.1. Розрахунок економічної ефективності використання запропонованих технологій управління станом газового середовища в ізолюваній ділянці мережі гірничих виробок	126
5.2. Оцінка екологічних наслідків використання результатів	130

роботи

5.3 Висновки	132
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	133
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	135
ДОДАТОК А	148
ДОДАТОК Б	184

ВСТУП

Актуальність теми. Не зважаючи на інтенсивний розвиток засобів і способів ліквідації підземних аварій, актуальною залишається проблема удосконалення технологій гірничорятувальних робіт у газових шахтах, особливо при виконанні важких і тривалих тактичних заходів.

Технологія ліквідації джерел, причин і наслідків важких аварій пов'язана із високими ризиками травмування гірничорятувальників вражаючими чинниками вибухів газоповітряних сумішей (ГПС), отруєнням токсичними продуктами горіння, дією високих температур, обваленням гірських порід.

За даними Державної Воєнізованої Гірничорятувальної Служби (ДВГРС) щорічно на шахтах України трапляється не менше чотирьох вибухів метаноповітряних сумішей, які спричиняють жертви, нерідко численні. Іноді вибухи є наслідком ускладнення таких видів аварій, як загазування виробок, пожежі, особливо ендегенні, раптові викиди вугілля, газу, пісковиків. Статистика свідчить про те, що найбільша кількість травм, які трапляються у гірничих виробках, виникає внаслідок вибухів, завалень виробок, переміщення горіння у важкодоступні місця (у вироблений простір, закріпний простір, роздавлені цілики).

Разом із тим, розробка українськими вченими і освоєння промисловістю випуску мембранних газорозподільних установок відкриває перспективи високоефективної дистанційної ліквідації важких підземних аварій. Однак відсутність відповідних сучасним засобам технологій стримує прогрес в галузі протипожежного захисту вугільних шахт. При цьому очевидно, що вдосконалення технологій пожежогасіння не повинно супроводжуватися зниженням рівня безпеки гірничорятувальників.

У зв'язку із вищенаписаним, дослідження з оцінки і зниження ризиків гірничорятувальних операцій, встановлення закономірностей формування вибухобезпечного газового середовища в районі ведення аварійних робіт, забезпечення дистанційного виконання основних технологічних операцій за

допомогою засобів контролю і автоматики є актуальним науково-технічним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дана робота виконана на підставі тематичного плану науково-дослідницьких робіт в ДонНТУ «Удосконалення методів і способів профілактики і гасіння підземних пожеж у важкодоступних місцях» (№ ДР 0107U008698), у якій автор брав участь у якості відповідального виконавця.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є підвищення безпеки виконання основних видів аварійних робіт у газових шахтах. Поставлена мета обумовила необхідність рішення наступних завдань:

- виконати аналіз умов виникнення травмонебезпечних ситуацій при веденні важких аварійних робіт;
- оцінити основні ризики вражень гірничорятувальних підрозділів під час виконання основних видів оперативних дій у газових шахтах;
- розробити науково обґрунтовані напрямки управління ризиками;
- розробити методику оцінки вибухонебезпечності трикомпонентного (горючий газ - окислювач - флегматизатор) газового середовища;
- провести лабораторні дослідження з перевірки вибухових властивостей трикомпонентних газових сумішей і встановити мінімальну межу флегматизації вибухонебезпечних сумішей;
- обґрунтувати технологічно безпечні та ефективні способи ліквідації аварій у важкодоступних місцях і розробити засоби автоматизації технологічних процесів дистанційного гасіння підземних пожеж.

Об'єкт досліджень – процеси і умови безпечного ведення аварійно-рятувальних робіт у гірничих виробках газових шахт.

Предмет досліджень – газодинамічні процеси у важкодоступних аварійних дільницях, які обумовлюють причини і ризики травмування гірничорятувальників при веденні аварійних робіт у газових шахтах.

Методи досліджень – при виконанні дисертаційної роботи був використаний комплексний метод досліджень, який містить аналіз та

узагальнення літературних джерел, що присвячені існуючим способам і засобам виконання аварійно-рятувальних робіт у гірничих виробках небезпечних за газом шахт; теоретичні дослідження динаміки формування вибухонебезпечних середовищ; методи математичного і чисельного моделювання зміни депресії на ізолюючих спорудах; лабораторні дослідження вибуховості газових сумішей; ретроспективний аналіз оперативних дій при веденні аварійних робіт у газових шахтах.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше встановлено, що ступінь ризику травматизму гірничорятувальників під час праці в умовах потенційного вибуху метаноповітряних сумішей прямо пропорційний протяжності аварійної зони і обернено пропорційний швидкості переміщення людей по цій зоні, що дозволяє розробити науково-обґрунтовані рекомендації з безпеки праці гірничорятувальників. При цьому для оперативних підрозділів ДВГРС, враховуючи сучасний рівень техніки та технологій виконання оперативних дій, були визначені чисельні значення ризиків травматизму, при перевищенні яких аварійні роботи мають бути припинені.

2. Встановлено явище змінення значень верхньої межі займання метаноповітряної суміші у залежності від концентрації азоту. При збільшенні вмісту азоту в суміші на 1,5-2%, значення межі знижується на 1%, що може служити підставою для створення експрес-методу розрахунку параметрів флегматизації аварійних дільниць.

3. Встановлено, що коефіцієнт флегматизації атмосфери в районі вогнища горіння після закриття прорізів у перемичках визначається відношенням теплоти, яка може виділитися при окислюванні пального, до кількості теплоти, яку здатен поглинути флегматизатор. Визначено мінімальне безпечне значення коефіцієнту флегматизації $K_{\phi}=0,22$ для метаноповітряних сумішей, яке слід враховувати для розрахунку часу розкриття пожежної дільниці й зниження якого приведе до вибуху та травмування гірничорятувальників.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці:

- 1) рекомендацій з чисельної оцінки ризиків і підвищення безпеки ведення аварійних робіт у газових шахтах;
- 2) нового методу прогнозування вибуховості трикомпонентних газових сумішей;
- 3) якісно нових технологій гасіння підземних пожеж у важкодоступних місцях за допомогою мобільних мембранних газорозподільних установок і комплекту засобів автоматизації технологічних операцій по гасінню підземних пожеж комбінованим способом.

Очікуваний річний економічний ефект від використання практичних результатів, що були отримані автором, складає не менше 1295 тис. грн в масштабах вугільної галузі України.

Особистий внесок здобувача. Автором сформульовані мета і задачі досліджень, виконано теоретичне обґрунтування розрахунку ризиків ведення аварійних робіт при гасінні складних підземних пожеж, вивчені в лабораторних умовах вибухові властивості газових сумішей, розроблені нові технології гасіння підземних пожеж у важкодоступних місцях. Автором самостійно сформульовані основні наукові положення і висновки.

Апробація роботи. Результати дисертаційної роботи доповідалися і були схвалені на Міжнародних науково-технічних конференціях аспірантів і студентів «Автоматизація технологічних об'єктів і процесів. Пошук молодих» (Донецьк, 2005, 2006), наукових симпозиумах «Неделя горняка» (Москва, 2005, 2006), «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (Харків, 2006), «Bezpecnost v prumyslu (pozar-vybuch-havarie)» (Чеська Республіка, Острава, 2007), «Górnictwo zrównoważonego rozwoju» (Польща, Глівіце, 2006); IX міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна безпека-2009» (Львів, 2009), міжнародному форум-конкурсі молодих вчених «Проблемы недропользования» (Санкт-Петербург, 2010).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 19 наукових робіт, з них 1 монографія, 5 статей у фахових виданнях ВАК України, 2 патенти на корисну модель, 2 патенти на винахід і 9 публікацій у матеріалах конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів і загальних висновків, містить 146 сторінок машинописного тексту, 54 рисунки, 25 таблиць, бібліографічний список використаної літератури із 101 найменування та 2 додатки. Загальний обсяг роботи 201 сторінка.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ УЯВЛЕНЬ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ВЕДЕННЯ РОБІТ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ У ГАЗОВИХ ШАХТАХ

1.1. Умови виникнення та ліквідації найбільш складних підземних аварій на вугільних шахтах України

Абсолютна більшість вугільних шахт України ведуть розробку метаноносних пластів. За даними Держвуглепромнагляду тільки дві шахти є негазовими. Найбільш тяжкими за наслідками серед небезпек гірничого виробництва є аварії, які пов'язані із займанням метану. У значної більшості випадків вони носять характер катастроф. В масштабах світової вугільної промисловості кількість вибухів метаноповітряних сумішей нараховується тисячами. Найкрупніші аварії, які сталися на шахтах світу і під час яких постраждала велика кількість людей, зведені в табл. 1.1.

Для об'єктивного оцінювання небезпеки вибухів метаноповітряної суміші в шахтах, а також ефективності засобів боротьби із ними різні організації постійно збирають дані, проводять аналіз і статистичну обробку матеріалів розслідування нещасних випадків на підприємствах вугільної промисловості.

За даними Макіївського науково-дослідницького інституту (МакНДІ)[1-3] і Державної Воєнізованої Гірничорятувальної Служби (ДВГРС) [4] за останні 35 років на шахтах України відбулося 140 вибухів, їх кількість по рокам представлена на рис.1.1. Кількість вибухів щороку неоднакова і змінюється у діапазоні від одного до семи. У середньому можна вважати, що на шахтах України відбувається 4 вибухи на рік.

На підставі аналізу статистичних даних зроблено висновок про те, що більшість підземних аварій, які були ліквідовані Державною Воєнізованою Гірничорятувальною Службою, пов'язані із вибухами метаноповітряної суміші і пожежами, питома вага яких складає 54%, з обрушеннями гірничих порід (22,5%) і загазуванням (7,7%). При обсязі видобутку вугілля, який складає 2%

від світового, кількість аварій 1-ї категорії, що пов'язані із пожежами, вибухами газу і пилу, на українських шахтах складає 37% від загальної кількості у вугільній промисловості усіх країн світу.

Таблиця 1.1

Аварії, що пов'язані із вибухами метаноповітряних сумішей і привили до травмування і загибелі великої кількості людей [1, 5, 6]

№ п/п	Назва шахти	Дата аварії	Кількість загиблих, чол
1	рудник «Кур'єр»	10 березня 1906р.	1099
2	4 біс «Юзівка»	18 липня 1908р.	283
3	«Хонкейко»	26 квітня 1942р.	1527
4	«Ганна II» (Германія)	21 жовтня 1930р.	265
5	«Гірська»	26 квітня 1980р.	66 (із них 2 гірничорятувальника)
6	«Чайкіно»	16 травня 1987р.	36
7	«Сокурська»	20 лютого 1978р.	72
8	«Контарна»	14 лютого 1979р.	-
9	«Кондратьєвка»	5 лютого 1981р.	-
10	«Краснолиманська»	1960р.	40
11	ім. О.О.Скочинського	4 квітня 1998р.	65
12	ім. О.Ф.Засядька	24 травня 1999р. 19 серпня 2001р. 18 листопада 2007р	54 50 106 (із них 5 гірничорятувальників)
13	ім. Баракова	11 березня 2000р.	80
14	«Санджуван» (Китай)	14 лютого 2005р.	214
15	ім. В.І.Леніна (Казахстан)	20 вересня 2006р.	43
16	«Західна Вірджинія» (США)	2 червня 2006р.	12
17	«Ялуновська» (Росія)	19 березня 2007р.	108
18	«Распадська» (Росія)	8 травня 2010	90

Крім прямих збитків від аварій, які пов'язані із втратою техніки, гірничих виробок і запасів вугілля, що підготовлені до виїмки, в виїмочних полях, що інтенсивно відпрацьовуються, особливо великі аварійні збитки, які пов'язані із простоями лав або несвоєчасною підготовкою фронту очисних робіт. За останні

роки вибухами і пожежами були виведені із експлуатації або ускладнена підготовка самих продуктивних в Україні виїмочних полів на шахтах «Привольнянська», ОП «Шахта ім.О.Ф.Засядька», «Краснолиманська», ім.Г.Г.Капустина, «Самоснівська-Західна». Подібні аварії траплялися на шахтах Росії («Распадська»), Казахстану (ім. В.І.Ленина»), Китаю («Санджуван») та інших.

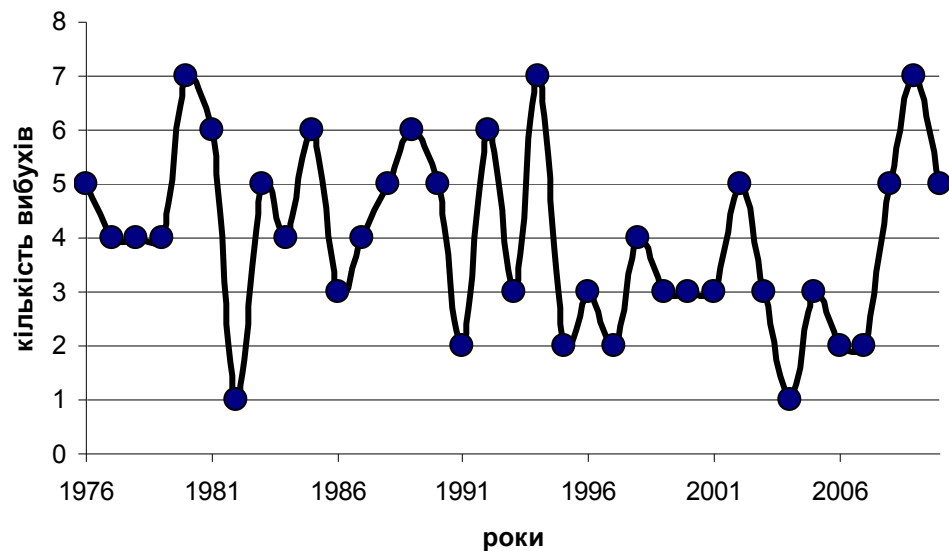


Рис. 1.1. Динаміка вибухів метаноповітряних сумішей в українських шахтах

За видом вибухонебезпечного середовища, яке прийняло участь у вибуху, аварії розподіляються наступним чином:

- вибух (спалах) метану – 71%,
- вибух метану за участю вугільного пилу – 28%,
- вибух вугільного пилу – 1%.

За місцями виникнення спалаху аварії розподіляються наступним чином:

- тупикові гірничі виробки – 57%,
- очисні вибої – 24%,
- вироблений простір лав – 19%.

Причини, які призводили до виникнення вибухової метаноповітряної суміші наведені в табл. 1.2 [5].

Таблиця 1.2

Розподіл вибухів за причинами виникнення вибухової метаноповітряної суміші

№ п/п	Причини виникнення вибухової метаноповітряної суміші	Кількість випадків, %
1	Раптове виділення метану у виробки, що було викликано газодинамічними явищами (раптові викиди, прориви, суфляри)	17,6
2	Виділення метану із вугілля і масиву у тупикових виробках і вибоях при порушенні провітрювання із-за зупинок ВМП і дефектів труб	34
3	Виділення метану із вугілля і масиву у очисних вибоях (лавах) при порушенні провітрювання, що забезпечується за рахунок загально шахтної депресії	22,2
4	Потрапляння метану в лави і виробки із вироблених просторів, обрушень та виробок, що заперемичені	17
5	Накопичення метану із гірничого масиву в виробках при зупинках і порушеннях провітрювання (зупинки ВГП, порушення вентиляції горизонту)	5,5
6	Створення вибухової суміші в бункерах і камерах через порушення провітрювання	3,7

Такого типу важкі аварії, що ускладнені вибухами і пожежами, найчастіше виникають у важкодоступних місцях, а саме і виробленому та закріпному просторі, розчавлених вугільних ціликах та інших[8, 9]. Не рідко вони ускладнюються наявністю високотоксичних газів, високою температурою у місцях ведення аварійно-рятувальних робіт. Нижче, на основі аналізу оперативної документації [10], наведені ситуації, які є характерними для умов Донбасу.

1.1.1 Гасіння пожежі у виробленому просторі на шахті імені В.В.Володарського ВО «Свердловськантрацит»

Шахта ім. В.В.Володарського ВО «Свердловськантрацит» розробляла антрацитовий пласт потужністю 1,1-1,3м з кутом нахилу 16-19°, безпечний по метану. Система розробки – стовбова і комбінована. Спосіб управління

покрівлею – повне обрушення. Схема вентиляції шахти флангова, система вентиляції – всмоктуюча.

При підготовці до відробки 62-ої лави, у якій сталася пожежа, були пройдені 62-й конвеєрний штрек 13 та 3-й східний похил 12 з площею перетину $9,6\text{ м}^2$ в світу. (рис. 1.2). Свіжий струмінь повітря потрапляв по 60-му східному вентиляційному штреку 7 до забою лави 14 і далі по 62-му конвеєрному штреку, 3-му східному похилі видавалася на поверхню через 4-й східний вентиляційний ствол 11.

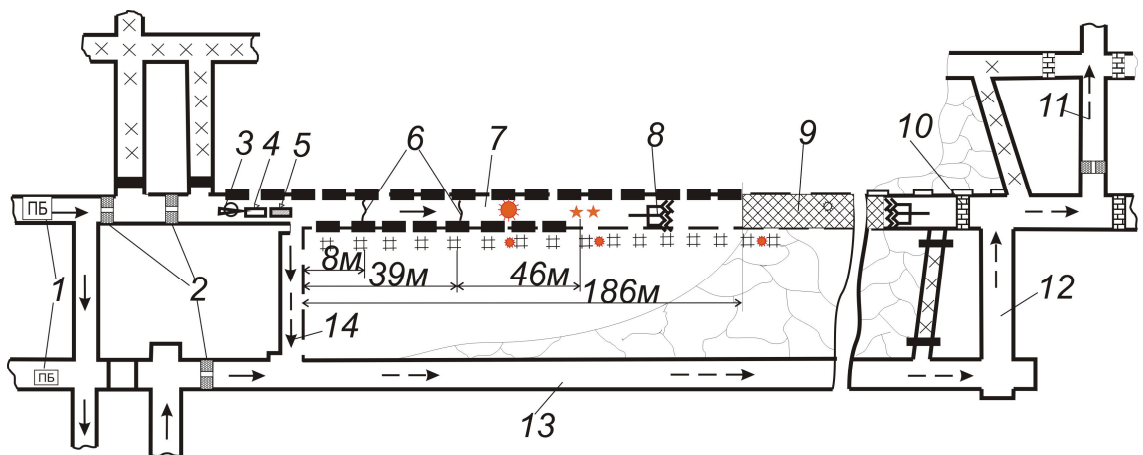


Рис. 1.2. Схема виробок аварійної ділянки 62-ої лави шахти ім.В.В.Володарського ВО «Лісічанськвугілля»: зірками помічено місця знаходження постраждалих

Східний вентиляційний штрек услід за посуванням лави не погашався і не підтримувався. При цьому витрата повітря по штреку, який був ізолюваний бентонітовою перемичкою 10 в районі розрізу лави, складала $150\text{ м}^3/\text{хв}$. Витягання арочного кріплення, що передбачалося проектом відробки ділянки, не проводилося. При цьому не були передбачені хоча б тимчасові перемички, які б виключили проникнення людей у відпрацьовану виробку. 60-й східний вентиляційний штрек у відпрацьованій частині мав деформоване кріплення та в 170м від сполучення з лавою був цілком перекритий породою, що обвалилася. Найбільш вірогідною причиною виникнення пожежі було куріння у відпрацьованій частині штреку. Переконавшись, що погасити пожежу силами

гірників шахти неможливо, з затримкою на 1,5 години диспетчер викликав гірничорятувальників, які прибули на шахту через 15хв у складі двох відділень, пожежної машини та авто з порошковими засобами пожежогасіння.

Почали гасіння пожежі водою, на 60-му штреку від сторони четвертого вентиляційного ствола, біля бетонітової перемички 10, яка зведена в 14м від третього східного похилу, температура повітря 29°C, вміст CO – 0,6%, 62-й конвеєрний штрек і третій східний похил сильно задимлені (температура 28°C, вміст CO – 0,002%). У зв'язку з цим на 60-му вентиляційному штреку негайно були закриті три вентиляційні двері та на відстані 39м від забою лави встановлена парусна перемичка 6. Це дозволило розгазувати 62-й конвеєрний штрек і третій східний похил та зменшити (з 210 до 90 м³/хв) витрати повітря, що поступають до вогнища горіння.

Гасіння пожежі за допомогою води і тонкодисперсного порошку, що подавали з установки 4 типу «Вихрь», продовжувалось приблизно добу. До району пожежі було подано 9т порошку, що дозволило погасити близько 100м виробки, яка горіла. Подальше гасіння пожежі за допомогою води і порошкових засобів виявилось неефективним. Внаслідок високої температури оточуючих порід (до 40°C), завалів (у виробці посилилась деформація кріплення, яка була викликана вигоранням ремонтин і кострів) почастишали випадки рецидивів пожеж в просіках поміж ціликів вугілля, що різко понизило безпечність гірничорятувальних робіт. Тому для гасіння пожежі була використана парогенераторна установка 5 типу ПГВ-3, яка була змонтована на східному вентиляційному штреку.

Використавши 11т піноутворювача, відділення охолодили 168м аварійної виробки і загасили усі приховані вогнища горіння. Подальше просування по виробці виявилось неможливим внаслідок суцільного завалу 9. Виявлені і погашені вогнища горіння (три) свідчили про те, що пожежа діє і розповсюджується у напрямку до східного вентиляційного ствола 11. Для виявлення зони розповсюдження пожежі у напрямку вихідного вентиляційного струменю була розкрита перемичка 10 і проведена розвідка східного

вентиляційного штреку, яка вказала, що в 30м від перемички є суцільний завал 9. В районі завалу концентрація оксиду вуглецю склала 1%, а температура 43°C.

Прийняли рішення вплинути на вогнище горіння парогазовою сумішшю. Генератор інертного газу 3 був змонтований на вентиляційному штреку, відпрацював безперервно біля 8 годин та був зупинений. Для підтримання інертного середовища на пожежній дільниці зупинили також вентилятор головного провітрювання на вентиляційному стволі 11. Однак ці заходи не призвели до суттєвого зниження вмісту кисню в ізольованій тимчасовими перемичками 6 частини 60-го вентиляційного штреку. Тому було прийняте рішення про повну ізоляцію пожежної дільниці перемичками 2 с проємними трубами, які були зведені завчасно на конвеєрному 13, вентиляційному 7 штреках і на 4-му східному вентиляційному стволі 11.

На цей час на 60-му вентиляційному штреку в районі 62-ї лави склалася наступна обстановка. Перші дві вентиляційні печі до лави були перекриті парусними перемичками. На вентиляційному штреку за лавою на відстані 8 і 39м були встановлені дві парусні перемички. За другою парусною перемичкою температура повітря склала 47°C.

Помічник командира взводу дав команду командирі відділенні і респіраторщику увімкнути в саморятівники ШС-7М і йти за другу парусну перемичку 6 для видавання водорозбризкувача 8, що був встановлений приблизно в 100м від другої парусної перемички. Про прийняте рішення на командний пункт він не повідомив. Командир відділення і респіраторщик, залишивши респіратори на підземній базі 1, увімкнулися на свіжій струї в саморятівники і без теплозахисних засобів проникли за першу і другу парусні перемички 6. Приблизно в 20м від завалу 9, який знаходився на відстані 168м від 62-ї лави, не знайшовши водорозбризкувача, командир відділення жестом дав команду повертатися назад. В 46м від другої парусної перемички респіраторщик, який пересувався першим, побачив, що командир відділення перестав пересуватися. Потерпілого увімкнули в респіратор Р-30 без панорамної маски, положили йому на груди та голову охолоджуючі пакети. В

умовах тісної виробки і високої температури (39-40°C) винести постраждалого на свіжу струю вони не змогли. До цього часу на підземну базу прибуло відділення з командиром взводу, що було направлено в шахту із завданням демонтувати ГИГ-4 та отримавши додаткову вказівку від командира загону негайно слідувати до постраждалих. Це відділення винесло на свіжий струмінь командира відділення, а відділення, що прибуло з поверхні, винесло помічника командира взводу.

Безпосередньою причиною нещасного випадку з гірничорятувальниками було їх тривале перебування в умовах високої температури (39-40°C) і дихання гарячого кисню із саморятівників. При тяжкому фізичному навантаженні (пересування по тісній виробці в саморятівнику) це призвело спочатку до втрати свідомості (після 15-20хв перебування в зоні високої температури командира відділення та 20-25хв – помічника командира взводу), а в подальшому – і до теплового удару.

1.1.2 Гасіння способом ізоляції екзогенних пожеж на шахті імені Г.Г.Капустіна ВО «Лісічанськвугілля».

Надкатегорна по газу шахта ім. Г.Г.Капустіна ВО «Лісічанськвугілля» небезпечна по вибуховості вугільного пилу, розробляє пласти вугілля, які схильні до самозаймання. Схема провітрювання центрально-флангова, система провітрювання всмоктуюча. Шахта надкатегорна по метану, відносна метанообільність складає 19м³/т добового видобутку, абсолютне газовиділення 15м³/хв метану. На цій шахті було дві екзогенні пожежі – в монтажній камері та в 60-й східній лаві. Характерним при ліквідації наслідків цих двох аварій було те, що пожежа в монтажній камері, до якої не можна було підступитися для ліквідації, була успішно погашена активним способом, а пожежа в 60-й східній лаві була ускладнена високою температурою і була ізольована.

Монтажна камера 9 (рис. 1.3), де виникла пожежа, була пройдена по пласту з нестійкою покрівлею потужністю 2,3м, кут похилу 17°. Під дією

гірничого тиску кріплення в цій виробці деформувалося і вприсічку їй пройшли піч 8 шириною 4,5м, у якій почали монтаж комплексу КМ-75.

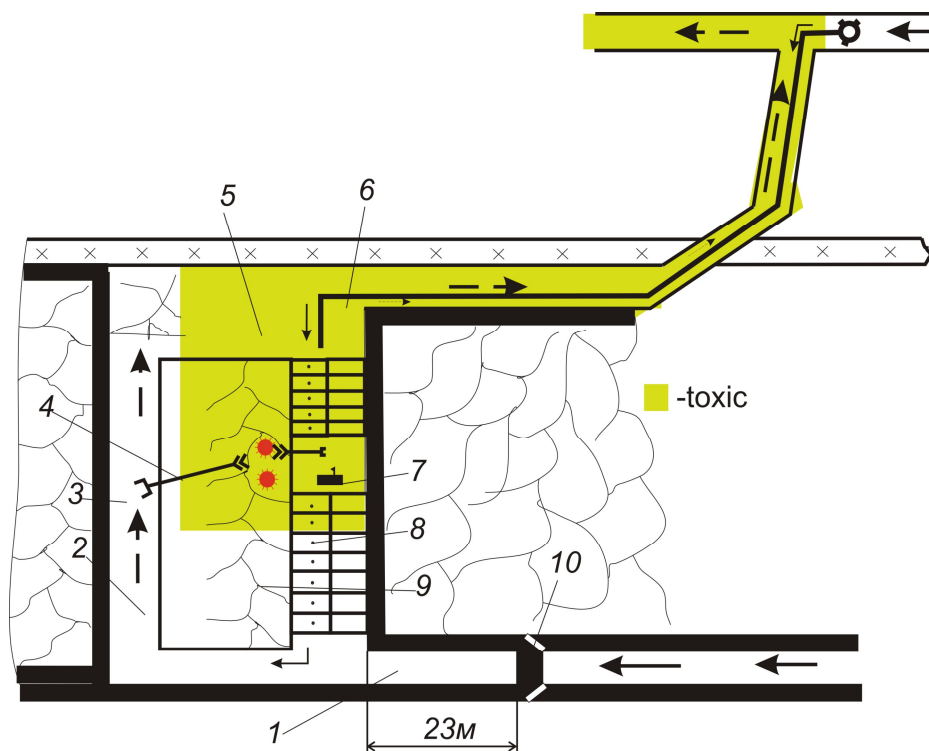


Рисунок 1.3 - Схема аварійної ділянки шахти ім. Г.Г.Капустина при пожежі у монтажній камері; заливкою виділено зону міграції токсичних газів

В пічці 8 під час монтажу комплексу був виявлений оксид вуглецю, вміст якого не перевищував санітарних норм. Для роз'яснення причини виділення оксиду вуглецю силами гірників шахти почали проходити з конвеєрного штреку 1 пошуковий виробок 2. За цей час на струмені що виходить з аварійної ділянки вміст оксиду вуглецю виріс до 0,002%, після чого були покликані підрозділи ВГСЧ. Прибувши гірничорятувальники за кріпленням пічі 8 знайшли деревину, що горить, і почали її гасити водою, яка подавалася по пожежним пикам 4, та піною із установки УИП.

Через недоступність вогнища горіння пожежу погасити не вдалося і було вирішено затопити водою аварійну виробку. Для цього на конвеєрному штреку в 23м від розрізної пічці звели водотривку перемичку 10, проклали

трубопроводи діаметром 100-200мм по конвеєрному 1 і вентиляційному 6 штрекам і почали затоплення ділянки водою. Але у зв'язку зі значною фільтрацією води через вміщуючі породи і вугілля затопити вогнища горіння, які знаходились в 70м від конвеєрного штреку, не вдалося, та вирішили оконтурити їх пошуковими виробками 2 і 5 для гасіння водою і піною.

Відділення гірничорятувальників розібрало водотривку перемичку 10, змонтували скребковий конвеєр та почали проходження виробки 2 з конвеєрного штреку вприсічку до монтажною камери і виробки 5 із монтажною камери по простяганню пласта вище 64-ї секції кріплення. При проходженні пошукових виробок 2 і 5 розкриваємі ними вогнища горіння гасили водою із пожежних стволів 3 та повітряно-механічною піною, що подавалася по пікам 4 пристроєм 7 типу УИП.

Після проходження 73м виробки 2 і збійки її з виробкою 5 вміст оксиду вуглецю у виходячому струмені досяг санітарних норм. Це дало можливість закінчити монтаж комплексу і почати виїмку вугілля в лаві під контролем підрозділів ВГСЧ.

60-а східна лава (рис. 1.4) була зупинена у зв'язку з відпрацьовуванням запасів вугілля. Для цього по всій довжині лави для випуску виходячого струменя із 70-ї східної лави 6 обладнали вентиляційний ходок 2, що закріплений дерев'яним кріпленням (неповний дверний оклад з дерев'яною затяжкою по покрівлі, відстань поміж рамами 0,7м). Для посилення кріплення під верхняки встановили ремонтини. Площа перетину виробки в світу $7,7\text{м}^2$. З західної сторони ходку залишений цілик вугілля, зі східної – відпрацьований простір. Під дією гірничого тиску цілик вугілля і кріплення постійно руйнувалися, тому ходок тричі перекріплювався з виїмкою віджатого вугілля.

Пожежу виявив майстер ділянки ВТБ. На момент прибуття гірничорятувальників на шахту люди з аварійної і небезпечних ділянок були виведені, подача електроенергії на аварійну ділянку припинена, вентилятори головного провітрювання шахти працювали нормально, місце виникнення пожежі та обставини були невідомі. Члени ВГК шахти повідомили, що пожежа

виявлена на сполученні вентиляційного ходка 60-ї східної лави із транспортним штреком 1. Горіло дерев'яне кріплення ходка на протязі 5м по усьому периметру виробки.

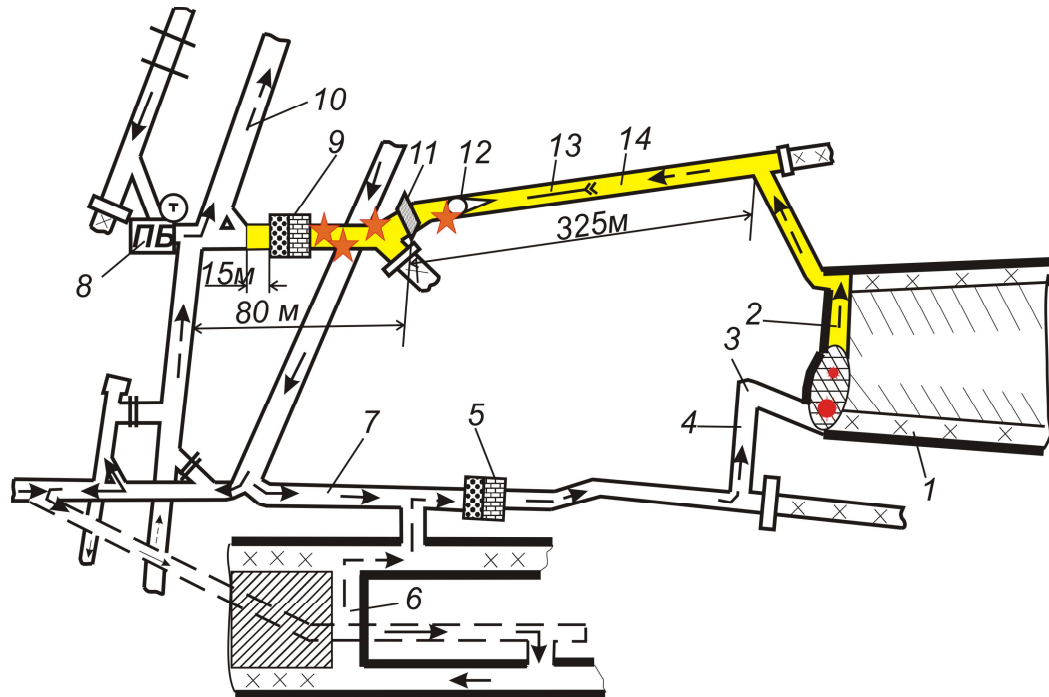


Рис. 1.4. Схема гірничих виробок аварійної ділянки східних лав № 60 та 70 шахти ім.Г.Г.Капустина ВО «Лісічанськвугілля»: виділено заливкою зону враження токсичними газами та високою температурою, зірками – місця знаходження постраждалих.

Зусилля гірничорятувальників і членів ВГК спрямували на гасіння пожежі зі сторони свіжого струменя і на попередження розповсюдження пожежі по виробкам з виходячим струменем повітря. На цей час горіли дерев'яне кріплення і обрушене вугілля на протязі 5м уверх по вентиляційному ходку 2.

Наступні два відділення в голові з командиром взводу були направлені на 5-й східний польовий штрек 14 для вияснення обставин і установки водорозбризкувача ВВР для створення водяної завіси на шляху розповсюдження пожежі (по можливості ближче до вогнища). Ці відділення з підземної бази 8 доповіли, що на 5-му східному польовому штреку приблизно в

30м на схід від сполучення із вентиляційним ходком 10 було сильне задимлення, температура повітря складала 30°C. Склад атмосфери в цьому місці був наступним, %: CO₂ – 8; O₂ – 11,2; CH₄ – 0,4; CO – 1,4; H₂ – 1. Сильна задимленість і підвищена температура повітря на відстані 390м від вогнища пожежі по ходу вентиляційного струменя, а також високий вміст в пожежних газах діоксину і оксиду вуглецю при низькому вмісті кисню свідчить про існування вогнища пожежі.

Гасіння пожежі зі сторони свіжого струменя проводилося ручними порошковими вогнегасниками, тому що в скаті 4 протипожежний трубопровід був відсутній, а на 6-му східному польовому штреку 7 трубопровід відставав від скату на 40м. Одночасно з прокладкою рукавної лінії (40м по 6 східному польовому штреку, 30м вверх по скату під кутом 36° і 20м по гезенку 3 під кутом 45°) приступили к доставці в шахту установки «Вихрь» і 2,5т порошку для гасіння пожежі. Всього використано 44 порошкових вогнегасника ОП-8Б. За 1годину до вогнища пожежі проклали рукавну лінію і приступили до гасінню водою, однак тиск води виявився недостатнім.

У зв'язку з обваленням застосування установки «Вихрь» стало недоцільним. З того часу намагалися розібрати завал, одночасно велися роботи по підготовці пожежної ділянки до ізоляції. На вентиляційному горизонті 379м в умовах сильної задимленості і високої температури повітря вдалося просунутися по 5-му східному штреку тільки на 110м від сполучення з вентиляційним польовим ходком і прокласти шланг для дистанційного забору проб повітря. Водорозбризкувач 13 типу ВВР-1 встановили в 95м від сполучення з вентиляційним польовим ходком, однак створити водяну завісу не вдалося, тому що в протипожежному трубопроводі не було води.

Зусилля гірничорятувальників були зосереджені на ізоляції пожежної ділянки бентонітовими перемичками 5 і 11 на 6-му східному польовому штреку на схід від квершлага №3 (перемичка №1) і на 5-му східному польовому штреку. Зведенню перемички заважали задимленість (видимість на 20-30см), високі температури повітря (39°C в 25м від сполучення з

вентиляційним польовим ходком і 43°C біля перемички 11) і концентрація оксиду вуглецю в пожежних газах (до 1,4%).

Для створення сприятливих умов в цьому районі оперативним планом ведення гірничорятувальних робіт було намічено встановити завчасно в 5-10м на схід від бетонної арки парашутну перемичку 12, яка швидко зводиться, прокласти в арці вентиляційні труби і подати свіже повітря від вентилятора місцевого провітрювання, розташованого в районі підземної бази.

Приблизно в 25м від сполучення з вентиляційним польовим ходком вони зустріли командира відділення і респіраторщика №2, які повзли в сторону підземної бази. Респіраторщик №3 був знайдений приблизно в 40м від сполучення. Він загубив орієнтацію, самотійно пересуватися не міг. В 50м від сполучення зустріли респіраторщиків №1 і 4, які були увімкнені в респіратори і потребували допомоги.

На допомогу постраждалим були направлені відділення, що працювали на 6-му східному польовому штреку. Зусиллями цих відділень усі постраждалі були евакуйовані на підземну базу, а потім на поверхню та у лікарню. Після цього було прийнято рішення замість перемички 11 звести перемичку 9 в 15м від заїзду на вентиляційний польовий ходок. Тут роботи велися поблизу свіжого струменя. До місця зведення перемички 9 проклали вентиляційні труби і подали свіжий струмінь повітря від вентилятору, який встановлено в районі підземної бази.

У висновку комісії, яка розслідувала аварію, причиною групового нещасного випадку з гірничорятувальниками було ведення гірничорятувальних робіт в респіраторах при температурі повітря 43°C, що призвело до острого перегрівання організму і отруєнню оксидом вуглецю при випадкових зривах носових затисків і випусканнях загубників в атмосфері, що вміщує 0,8-1,4% оксиду вуглецю.

1.2. Сучасні технології ліквідації найбільш складних видів аварій на газових шахтах

Аналіз робіт видатних вчених України (О.М.Брюханова, Ю.Ф. Булгакова, В.І.Голінька, С.П.Грекова, Б.А.Грядущего, М.П.Зборщика, В.К.Костенка, Ю.В.Кудінова, П.С.Пашковського, М.Р.Шевцова), Росії (Н.О.Каледіної, О.О.Скочинського), Чеської Республіки (А.Адамуса), Польщі (Ю.Сулковського, С.Тренчека) [11-30] показав, що найбільш складні аварії виникають у важкодоступних місцях, таких як вироблений простір, цілики, закріплення підготовчих виробок. Технологія придушення вогнищ горіння в таких умовах є складною і небезпечною процедурою, тому нерідко характеризується найбільш високими рівнями травматизму і тривалістю ліквідації такого роду підземних аварій. В останні роки намітилась тенденція до збільшення тривалості і трудомісткості їх ліквідації.

Ліквідацію найбільш складних видів аварій, які пов'язані із вибухами метаноповітряних сумішей і підземними пожежами у важкодоступних місцях, гірничорятувальні підрозділи здійснюють наступним чином [31]:

- а) впливають на вогнище (зону) горіння вогнегасячими речовинами безпосередньо або дистанційно (безпосереднє або дистанційне гасіння);
- б) проводять ізоляцію аварійної ділянки (виробки) від доступу свіжого повітря;
- в) одночасно або послідовно застосовують викладені вище способи (комбінований спосіб).

Головною тактичною дією є локалізація пожеж, яка здійснюється за рахунок скорочення подачі свіжого повітря до осередку горіння; створення перепон на шляху розповсюдження пожежі (закриття пожежних дверей, зведення перемичок); місцевого реверсування вентиляційного струменю; установлення охолоджуючих завіс (водяних, пінних) на шляху розповсюдження пожежі; вилучення горючого матеріалу із зони горіння або на шляху розповсюдження пожежі та поєднування викладених вище способів локалізації.

Під час вибору способів гасіння треба мати на увазі місце виникнення пожежі, вид горючого матеріалу, стадію та швидкість розповсюдження горіння, наявність необхідних засобів гасіння та локалізації, режим провітрювання аварійних виробок, стадію розвитку пожежі.

Технологія і організація робіт з ліквідації пожеж в гірничих виробках передбачає забезпечення перевищення параметрів гасіння пожежі над параметрами її розвитку. Якщо є доступ до вогнища горіння, то гасіння здійснюється безпосередньою дією на вогнище з боку свіжого струменя повітря. Одночасно вживають заходи щодо локалізації пожежі з боку вихідного струменя. Допускається ліквідація пожежі безпосередньою дією з боку вихідного струменя повітря при умові розміщення зони горіння поблизу виробок зі свіжим струменем та можливості ведення таких робіт за температурним фактором. Під час безпосереднього гасіння, локалізації або ізоляції пожежі необхідно вживати заходів щодо запобігання вибухів вугільного пилу (обробка порошком, осланцювання, змивання вугільного пилу водою та ін.), висипань розжарених мас, обвалень гірничих порід, а також недопущення виникнення перешкод, які можуть перетнути вихід відділень з місця роботи. Під час гасіння пожежі з випуском вугілля і породи здійснюють заходи попередження займання горючих матеріалів (кріплення та ін.) в місці ведення робіт, зосередження вогнегасних засобів, контролю складу рудникової атмосфери. Випуск розжарених мас (переважно у вагони) здійснюється з обов'язковим заливанням їх водою. Для запобігання опіків під час безпосереднього гасіння пожежі забороняється виключатися із респіратор та знімати одяг.

Якщо на момент прибуття підрозділів ДВГРС до аварійної дільниці пожежа набула таких розмірів, що наявними засобами погасити її неможливо, то в першу чергу вживають заходи для зменшення швидкості поширення пожежі (зменшення кількості повітря, створення пожежних розривів та ін.) або її локалізації. Після виявлення вогнища пожежі незалежно від його розмірів та характеру розвитку відповідальний керівник робіт з ліквідації аварії вживає

заходів щодо забезпечення безперервного подавання води до місця гасіння пожежі або її локалізації. Незалежно від розмірів та характеру розвитку пожежі командний пункт повинен вжити заходів щодо зосередження на шахті більш продуктивних засобів безпосереднього або дистанційного пожежогасіння. Якщо на шляху розповсюдження пожежі є пересічення з виробкою зі свіжим повітрям, то для запобігання виникнення вторинних вогнищ пожежі в цьому місці провадиться охолодження газоподібних продуктів горіння або ліквідується підсвіження. Якщо пожежу не вдається загасити безпосередньо або дистанційно вогнегасними речовинами або вогнище недосяжне, то аварійну ділянку ізолюють.

На протязі всього часу робіт по гасінню підземної пожежі здійснюється контроль складу атмосфери у вихідному струмені повітря. Також контролюється вміст метану в свіжому струмені повітря, який надходить до вогнища пожежі, вимірюється температура та кількість повітря у виробках. Місця і порядок контрольних вимірів та набору проб, в тому числі і дистанційним способом, встановлюються відповідальним керівником робіт з ліквідації аварії та керівником гірничорятувальних робіт. Розкриття ізольованої ділянки з метою проведення розвідки, скорочення обсягу ізольованого простору або виконання інших робіт здійснюється згідно з проектом, який передбачає заходи щодо недопущення проникнення в ізольований простір свіжого повітря, запобігання розвитку пожежі та вибуху газоповітряної суміші (шлюзування, подача інертних газів, вирівнювання тиску повітря та ін.).

Роботи по гасінню пожежі можна вважати закінченими, якщо в місці її виникнення та в прилягаючих гірничих виробках відсутні вогнища горіння, задимленість, оксид вуглецю та інші ознаки пожежі, відновлено нормальний режим провітрювання, а температура повітря не перевищує звичайної для цих виробок. Якщо під час гасіння пожежі виникає загроза накопичення метану (горючих газів) в зоні горіння або зростає його вміст в свіжому струмені повітря, який надходить до вогнища пожежі, вживають заходи щодо зниження вмісту метану за рахунок посилення провітрювання виробки, дегазації, зміни

схеми подачі повітря до вогнища пожежі та ін. Якщо після вжитих заходів вміст метану продовжує збільшуватися, то після досягнення ним 2% необхідно вивести людей із небезпечної зони та вжити заходів щодо запобігання вибуху, а саме посилення провітрювання дільниці, інертизація атмосфери та ін. В разі непередбаченої зміни режиму провітрювання аварійної дільниці люди, які виконують роботи по гасінню або локалізації пожежі, повинні виводитися в безпечні місця.

Якщо ліквідація пожежі виконується в шахті, на якій використовується дегазація, необхідно оцінити її вплив на безпеку робіт на аварійній дільниці та визначити порядок її використання. Роботи у виробках ізольованої дільниці виконуються тільки після створення в ізольованому просторі вибухобезпечної атмосфери і при умові, що процес підтримання інертного середовища є керованим.

Якщо пожежа ускладнена вибухом, то роботи на аварійній дільниці необхідно негайно зупинити, а людей вивести в безпечне місце. Поновлення робіт допускається тільки після здійснення заходів, які виключають повторні вибухи (посилення дегазації і провітрювання, інертизація та ін.). Якщо ці заходи не дають позитивних наслідків і вибухи повторюються, дільниця ізолюється на безпечних відстанях або затоплюється водою.

У випадку, коли пожежа виникла в тупиковій виробці, гірничорятувальні відділення поряд з виводом людей і гасінням пожежі, повинні спрямувати свої дії на отримання достовірної інформації про газову обстановку та розвиток пожежі. Безпосереднє гасіння пожежі або інші роботи в тупиковій виробці шахти, небезпечної за газом, не допускається, якщо вміст метану у вибої досяг 2% і продовжує збільшуватися; порушилося нормальне провітрювання виробки через зупинку вентилятору, пошкодження вентиляційних труб та ін.; виробка не провітрюється і відсутня достовірна інформація про вміст метану в ній.

В шахтах, небезпечних за газом, незалежно від характеру робіт по гасінню пожежі в тупиковій виробці необхідно вжити заходів щодо підготовки дільниці до інертизації та ізоляції. У висхідних тупикових виробках з кутом

нахилу більше 20 градусів забороняється гасіння пожежі безпосередньою дією. Забороняється гасіння пожежі з боку вибою тупикової виробки незалежно від кута її нахилу. Дистанційну подачу вогнегасних речовин по вентиляційному трубопроводу можливо здійснювати в тих випадках, коли такий спосіб гасіння не приводить до зменшення кількості повітря, яке подається до виробки. Під час роботи поблизу від устя вертикальних та похилих (під кутом більше 35 градусів) тупикових виробок необхідно враховувати можливість вигорання кріплення та обвалу устя з утворенням воронки. Якщо гірничорятувальники вимушені залишити тупикову виробку через різке ускладнення обстановки, перед виходом вони повинні залишити відкритим найближчий до зони горіння пожежний кран або приєднати до нього і встановити водорозбризкувач, відібрати пробу повітря.

Гасіння пожеж у похилих виробках з кутом нахилу більше 20 градусів незалежно від напрямку повітряного струменя здійснюється зверху шляхом дистанційної дії на вогнище пожежі вогнегасними речовинами. При цьому треба вибирати найкоротші шляхи підходу до осередку пожежі (з паралельних виробок, збіжок та ін.). Гасіння безпосередньою дією на вогнище горіння зверху здійснюється тільки в разі відсутності небезпеки перевертання вентиляційного струменя під дією теплової депресії. Гасіння безпосередньою дією на вогнище горіння знизу допускається при умові наявності у виробці висхідного провітрювання та здійснення заходів запобігання травмуванню гірничорятувальників через падіння розжарених предметів, порід та ін. Якщо в похилій виробці є канатна відкатка, підйомні посудини повинні бути закріплені на верхньому та нижньому приймальних майданчиках.

Під час пожеж у лавах на пластах крутого падіння підходити до вогнища пожежі для її гасіння треба тільки з боку вибою або виробленого простору з використанням запобіжних перекриттів. Під час пожеж у виробках, обладнаних стрічковими конвеєрами, поряд з безпосереднім гасінням здійснюються заходи щодо локалізації осередку пожежі, скорочення кількості повітря, яке надходить в аварійну виробку, збільшення подачі води до місця гасіння (з урахуванням її

витрат установками автоматичного пожежогасіння) та запобігання скочування вантажної вітки стрічки у випадках її розриву.

Традиційно гірничорятувальники під час підземних пожеж перевіряють вибуховість суміші горючих газів за допомогою діаграми вибуховості (трикутника вибуховості) [31]. Для цього спочатку визначається сумарна концентрація горючих газів, %:

$$C_{\Gamma} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (1.1)$$

де C_1, C_2, C_3 - концентрації метану, оксиду вуглецю і водню відповідно, %.

Для нижньої межі вибуховості координати вершин трикутника по осі абсцис розраховуються а формулою:

$$B_H = \frac{4,3 \cdot C_{\Gamma}}{C_1 + 0,344 \cdot C_2 + 1,075 \cdot C_3} \quad (1.2)$$

Для верхньої межі вибуховості:

$$B_B = \frac{15 \cdot C_{\Gamma}}{C_1 + 0,202 \cdot C_2 + 0,2 \cdot C_3} \quad (1.3)$$

Координата нижньої вершини трикутника по осі ординат визначається за формулою для піку займання по кисню:

$$\Pi_K = \frac{10,5 \cdot C_1 + 5,6 \cdot C_2 + 5 \cdot C_3}{C_{\Gamma}} \quad (1.4)$$

Отримані величини C_{Γ} , B_H і B_B дозволяють судити про вибухонебезпечність горючих газів. Суміш невибухонебезпечна у випадках, якщо $C_{\Gamma} < B_H$ або $C_{\Gamma} > B_B$, а також при $O_2 < \Pi_K$, якщо $B_H < C_{\Gamma} < B_B$, де O_2 - вміст кисню в зоні горіння, %.

Графічну інтерпретацію трикутників вибуховості представлено на рис.1.5. Щоб визначити який саме з трикутників вибуховості відповідає даній суміші горючих газів, завчасно знаходять частку метану і оксиду вуглецю у їх складі за формулою:

$$P_{CH_4} = \frac{C_1}{C_r}, \quad P_{CO} = \frac{C_2}{C_r} \quad (1.5)$$

Далі на діаграму наносять точку X з координатами (C_r, O_2) . Якщо вона попадає у межі площі трикутника з відповідним значенням частки CH_4 , то суміш горючих газів вибухонебезпечна.

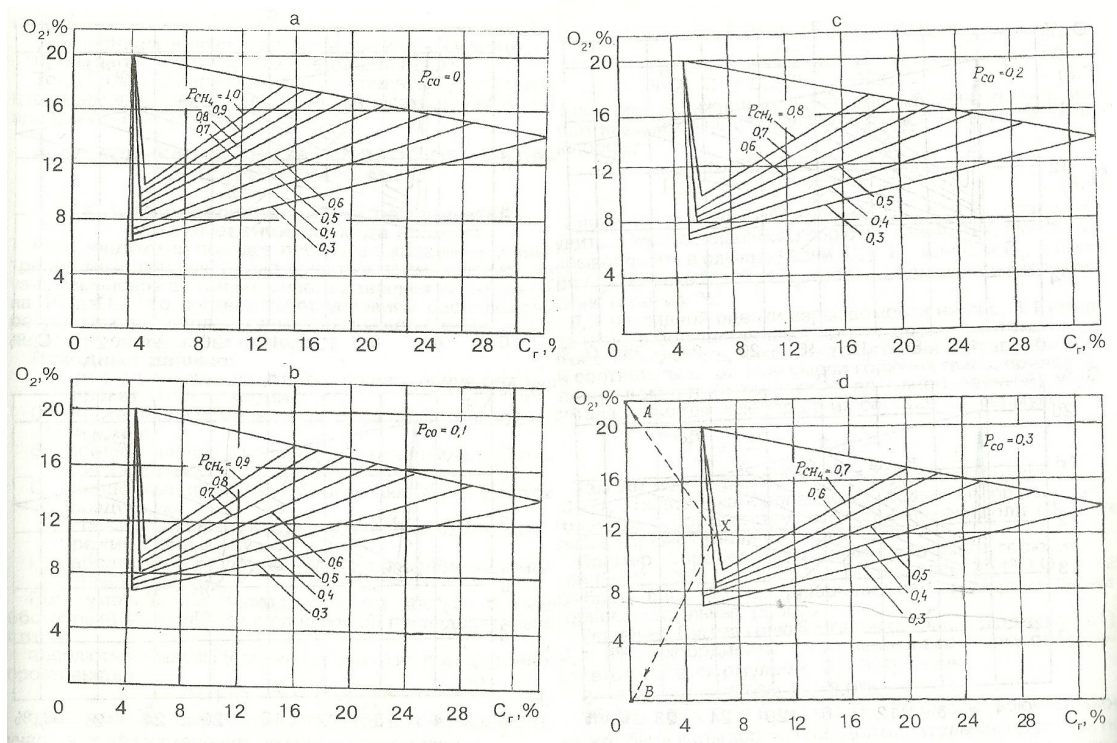


Рис.1.5. Трикутники вибуховості:

a - $P_{CO} = 0$, b - $P_{CO} = 0,1$, c - $P_{CO} = 0,2$, d - $P_{CO} = 0,3$

Попередити вибух суміші можна збільшенням подавання повітря у аварійну виробку чи шляхом заповнення аварійної виробки інертним газом. Тоді точка X переміститься за межі трикутника вибуховості (див.рис.1.5).

Одним з найбільш перспективних способів попередження, локалізації і гасіння ендегенних і екзогенних пожеж у шахтах є інертизація атмосфери аварійної ділянки, під якою розуміють штучне зниження концентрації кисню в атмосфері гірничих виробок шляхом подавання до неї газу-флегматизатору [34, 35-39]. Інертизація за допомогою газоподібного азоту дозволяє вирішити наступні задачі під час ліквідації підземної пожежі: скоротити час ліквідації аварії; попередити вибухи газоповітряної суміші на аварійній ділянки; прискорити охолодження високотемпературної зони до безпечного рівня; скоротити до мінімуму або цілком припинити процес горіння. Все це дозволяє досягнути головної мети досліджень – підвищити безпеку праці гірничорятувальників.

Ліквідація високотемпературних вогнищ горіння у важкодоступних місцях, таких як вироблений простір лав, деформовані вугільні цілики, куполи за кріпленням підготовчих виробок, бункери та інші, є найбільш трудомістким, тривалим, небезпечним і витратним видом підземних гірничорятувальних операцій у сучасній практиці вуглевидобутку. Безпосередній вплив в таких умовах на пожежу вогнегасячими засобами, як правило, неможливий через складність проникнення до вогнища горіння, загрози ускладнень таких аварій загазуванням, задимленням, а також часто вибухами газоповітряних сумішей, обваленням порід у виробки, нестабільними режимами провітрювання і підвищеною температурою у місцях ведення аварійних робіт. Внаслідок важкодоступності і неінтенсивного проникнення повітря, використання водяних, пінних, порошкових та інших засобів пожежогасіння, якими оснащені гірничорятувальні частини, не є ефективними. Технології, що базуються на ізоляції аварійних виробок штучними спорудами, з наступним спорудженням камер вирівнювання тиску, досить громіздкі і недостатньо безпечні. Найбільш перспективним, а нерідко і єдино можливим, є дистанційне гасіння за допомогою газових засобів.

Способи і засоби подавання азоту обирають, виходячи з гірничотехнічних умов, наявності технічних засобів подачі газу, обраної технологічної схеми

випуску його в гірничі виробки аварійної ділянки та обраного способу ліквідації аварії. Для цього, як правило, використовують рідкий азот і установки для його газифікації. Застосування рідкого азоту стримують властиві цій технології недоліки: необхідність застосовувати дефіцитне коштовне криогенне обладнання; складність транспортування і збереження газу, значні фінансові втрати при цьому; витрати енергії на газифікацію та інші.

На оснащенні гірничорятувальних частин на сьогоднішній день є кілька видів пристроїв для виробництва інертних газів [32, 33]. Найбільш розповсюдженими серед них є генератори інертних газів (ГІГ) (рис.1.6), технічні характеристики яких зведені у таблиці 1.3. Генератори інертних газів призначені для отримання і подавання в зону горіння інертних газів або інертної піни із низьким вмістом кисню для попередження вибухів, локалізації і гасіння пожеж у шахтах. Інертні гази в генераторі отримують при спалюванні рідкого палива (керосину) у вихлопних газах турбореактивного двигуна із наступним охолодженням продуктів спалювання водою. Для отримання інертної піни інертний газ пропускають через піногенеруючий пристрій. Генератор автономний і тому може доставлятися шахтним транспортом по гірничим виробкам.



Рис.1.6. Генератор інертних газів

Таблиця 1.3

Технічні характеристики генераторів інертних газів (ГІГ)

Показник	Тип генератору	
	ГІГ-1500	ГІГ-4
Подача, м ³ /хв	900...2300	600
Обсягова частка кисню, %	2...3	2
Натиск, кПа	12	12
Температура парогазової суміші, °С	80...90	80...90
Витрата палива, л/год	1560...4000	1040
Витрата води, м ³ /год	50	27
Напруга живлення, В	24	24
Габарити, мм:		
довжина	12000	6500
ширина	1200	800
висота	1200	900
Маса, кг	1500	600

Азот також може подаватися до аварійної ділянки по свердловинах і трубопроводах для інертизації атмосфери. В таких випадках можна використати азотні газифікаційні криогенні установки типу АГУ-2М (рис.1.7 і табл.1.4) та мембранні газорозділюючі компресорні модулі на базі установок типу АМВП-15/0,7С (рис.1.8) [40-44].



Рис.1.7. Азотна газифікаційна установка типу АГУ-2М

Технічні характеристики газифікаційної установки типу АГУ-2М [32]

Продуктивність по азоту при заповненні ємностей, м ³ /год	230
Найбільший тиск газу при заповненні ємностей, МПа	42
Кількість рідкого азоту, що заливається в резервуар, кг	1430
Габаритні розміри установки, мм	3530*2900*2065
Маса установки (без рідини у резервуарі),кг	2100

Кріогенна азотна установка знайшла широке застосування для гасіння пожеж на газових шахтах [31, 32]. Використання рідкого азоту з температурою мінус 195,8°С призводить до різкого зниження температури в зоні горіння, нижче будь-якої «температури спалаху» парів органічних речовин. При випаровуванні рідкого азоту відбувається поглинання теплової енергії, утворюється газова хмара холодного нейтрального азоту. Один літр рідкого азоту при випаровуванні до нормальної температури 20°С утворює газову хмару в 250 літрів, яке накриває зону горіння. Виконання цих умов приводить до миттєвого припинення процесів горіння. На відміну від існуючих систем газового пожежогасіння азотне пожежогасіння не вимагає обов'язкової евакуації людей з приміщень, куди подається газоподібний азот. До того ж при гасінні пожеж, крім припинення горіння газу, відбувається різке охолодження.



Рис.1.8 – Азотно-компресорна станція АМГП-15/0,7С

Проблема полягає у тому, що в азотній суміші, яка отримується з працюючих в максимальному режимі мембранних установок, знаходиться до п'яти відсотків кисню. Крім того, кисень в ізолюваний обсяг надходить у виді витоків повітря, що фільтрується через тіло перемички і тріщини в породах виробок. Його концентрація в ізолюваному перемичками обсязі становить до 10% і більше. Таким чином, не забезпечується необхідний для придушення тліючого горіння склад газової суміші, у якій вміст кисню не повинний перевищувати 1..2%.

Основні технічні дані установки типу АМВП-15/0,7СУ1:

- продуктивність станції по азоту на виході з мембранного модуля при концентрації азоту 95 %, м ³ /хв	15 ± 2
- концентрація азоту на виході зі станції, %	95,5
- тиск азоту на виході, номінальне, МПа (кгс/см ²)	0,8 (8)

1.3. Існуючі уявлення щодо зниження дії вражаючих факторів при ліквідації аварій у газових шахтах

Аналіз аварій показав, що основними небезпечними факторами при веденні аварійно-рятувальних робіт гірничорятувальниками є теплове і токсичне враження, а також ушкодження людей в результаті обвалення порід або дії ударної хвилі [5]. Розглянемо більш детально ці вражаючі фактори.

Тиск у фронті ударної хвилі (УХ), яка виникає під час вибуху метаноповітряних сумішей, складає близько 0,8...1,0 МПа, а іноді може досягати 1,6 МПа. Руйнівна дія вибуху є досить високою, це обумовлено впливом не тільки надлишкового тиску, але й швидкісного напору потоку газу, що рухається за фронтом ударної хвилі (табл.1.5 і 1.6.) [5]. Про це свідчить те, що вибух метану в шахті викликає деформації та руйнування кріплення, різного роду шахтних перемичок; розрив вентиляційних ставів, трубопроводів, кабелів; переміщення і пошкодження гірничого обладнання, машин; пошкодження

поверхонь різних об'єктів предметами, що переміщуються під дією скоротного напору; та ін. Температура продуктів вибуху метану є досить високою. Так, в необмеженому обсязі вона досягає 1875°C, а в середині замкнутого обсягу – 2150-1650°C, температура фронту полум'я може досягнути 2000-2500°C. Інтенсивність теплової дії залежить не тільки від температури полум'я і продуктів вибуху, а також і від часу її дії.

Таблиця 1.5

Динамічний вплив ударної хвилі

Мінімальне значення надлишкового тиску в УХ, МПа	Швидкість потоку за УХ, м/с	Характер пошкодження
0,005	11	Руйнування скла
0,015	35	Деформація рухливих трубопроводів
0,035	70	Обрив електрокабелів
0,040	79	Перекидання і поломка лебідок, вентиляторів
0,050	98	Виведення кріплення з робочого стану
0,10	166	Відрив шпал від рейок, деформація рейок
0,14	259	Перекидання електровозів і прохідницьких машин, деформація їх частин і деталей; скидання з рейок шахтних вагонеток
0,30	364	Сильна деформація залізобетонної стіни товщиною 25 см з утворенням великих тріщин

Таблиця 1.6

Ступінь тяжкості травм у залежності від надлишкового тиску

Ступінь тяжкості травм	Надлишковий тиск, МПа
Легкі - удари, вивихи, тимчасові пошкодження слуху, легка контузія	0,02 - 0,04
Середні – серйозні контузії всього організму, ушкодження органів слуху, кровотеча з носа і вух, вивихи кінцівок	0,04 - 0,06
Важкі – сильні контузії всього організму, важкі переломи кінцівок, сильні кровотечі з носа і вух	0,06 - 0,10
Вкрай важкі – можливий смертельний результат	більше 0,10

При вибухах метану особливо сильно згоряють предмети поблизу джерела займання і на відстані до 10-20 діаметрів виробки навколо нього. На відстані більш 65 діаметрів виробки на поверхні предметів спостерігаються незначні сліди дії високої температури. Особливо сильне згорання предметів спостерігається при спалаху скупчень метану із концентрацією поблизу верхньої межі вибуховості. В таких випадках довжина ділянок виробки із признаками горіння залежить від протяжності місцевих скупчень і може бути досить значною. Опалення спостерігаються у постраждалих в усіх зонах займання. Тяжкість опалень знижується по мірі віддалення від вогнища займання.

Токсична дія виявляється в отруєнні чадним газом. Концентрація окису вуглецю в продуктах вибуху може досягати 4-8%. При концентрації окису вуглецю 1% людина втрачає свідомість після кількох вдихів, а через 1-2 хв настає смерть. Отруєння окисом вуглецю зазвичай відзначають в зонах займання, розвиненого вибухового горіння і викиду полум'я. Отруйна дія окису вуглецю при вибухах посилюється у зв'язку з різким зниженням вмісту кисню, концентрація якого в продуктах вибуху може знижуватися до 1-3% (табл. 1.7) [5]. Особливу небезпеку представляє так зване «мертве повітря», що складається з азоту і вуглекислого газу. «Мертве повітря» погано провітрюється, тому що важче за повітря, не виявляється заздалегідь за запахом та іншими ознаками, має підступні властивості миттєвої дії - від одного вдиху паралізує дихальні функції, людина втрачає свідомість і падає. У результаті виникали випадки ядухи двох або навіть трьох людей послідовно в одній і тій же виробці при спробі врятувати попереднього потерпілого, не припускаючи існуючої небезпеки.

Ступінь токсичної дії при зниженні вмісту кисню в атмосфері

Вміст кисню, %	Стан постраждалого
16-12%	Прискорення дихання і серцебиття, задишка, головний біль, порушення зору, нудота, шум у вухах
10-6%	Важка задишка, слабкість, синюшність шкірних покривів, підвищення температури тіла, судороги, втрата свідомості
нижче 6%	Судороги, втрата дихання (на 4-6 хв.) та через 6-8 хв. Зупинка серцевої діяльності

При веденні аварійно-рятувальних робіт в шахтах у неприродній для дихання атмосфері гірничорятувальникам необхідно використовувати спеціальні ізолюючі дихальні апарати із замкнутим циклом дихання. Для забезпечення органів дихання від шкідливої дії токсичних газів існують досить ефективні засоби захисту – респіратори типу Р-30, Р-34, РХ-4Е [32].

Респіратор ізолюючий регенеративний Р-30 (рис.1.9, табл.1.8) призначений для захисту органів дихання людини від шкідливого впливу неприродної для дихання атмосфери, при виконанні гірничорятувальних і технічних робіт у вугільних шахтах.



Рис. 1.9. Респіратор ізолюючий регенеративний на стисненому кисні типу Р-30

За допомогою цього дихального пристрою забезпечується надійна ізоляція органів дихання людини в атмосфері, яка містить наступні гази: CO - до 10 %, SO₂ - до 2%, H₂S - до 1%, NO₂ - до 1%, CO₂ - до 40%, CH₄ - до 100%, O₂ - от 0 до 21%, N₂ - до 100%, а також вугільний пил - до 10 г/м³. За умовний еквівалент максимальної концентрації поєднання шкідливих газів, при якому можлива робота в респіраторі, прийнятий вміст CO, рівний 10%.

Респіратор Р-30 по кліматичному виконанню призначений для роботи при температурі повітря від -20 до +60°C, відносній вологості до 100% і атмосферному тиску від 67 до 144кПа (від 500 до 1000 мм рт.ст.).

Респіратор ізолюючий регенеративний Р-34 (рис.1.10, табл.1.9) відноситься до групи допоміжних респіраторів і використовується для праці у середовищі, яке непридатне для дихання, у тому разі, якщо основний респіратор не повністю відповідає умовам цієї роботи. Респіратор також може бути використаний в комплекті із проти тепловими костюмами (куртками) та для оснащення членів допоміжної гірничорятувальної служби.

Таблиця 1.8

Технічні характеристики ізолюючого регенеративного респіратору типу Р- 30

Час захисної дії при праці середньої тяжкості, год	не менш 4
Запас кисню в балоні при тиску 20 МПа (200 кгс/см ²), л	400
Маса ХП-И у реферативному патроні, кг	не менш 2,0
Маса охолоджуючого елементу, кг	не менш 0,75
Подавання кисню в систему респіратору, г/хв: постійна легене-автоматична аварійним клапаном	1,3-1,5 не менш 70 не менш 150
Вакууметричний тиск, при якому відкривається легеневий автомат, Па (мм вод.ст)	100-300 (10-30)
Надмірний тиск, при якому відкривається надмірний клапан, Па (мм вод.ст.)	100-300 (10-30)
Корисна місткість дихального мішка, л	не менш 4,5
Габаритні розміри (без дихальних шлангів и ременів), мм: довжина ширина висота	450±5 375±2 165±5
Маса, кг: респіратора без лицевих частин, охолоджуючого елементу мундштучного пристрою дихальної маски охолоджуючого елементу з кришкою холодильника	11,0 0,16 0,63 0,80



Рис. 1.10. Респіратор ізолюючий регенеративний типу Р-34

Призначений для надання допомоги постраждалим і переключення респіраторщиків у разі виходу із робочого режиму основного респіратору.

Таблиця 1.9

Технічні характеристики ізолюючого регенеративного респіратору типу Р- 34

Час захисної дії при праці середньої тяжкості, год	не менш 2
Запас кисню в балоні при тиску 20мПа (200 кгс/см ²), л	200
Маса ХП-И у реферативному патроні, кг	не менш 1,6
Маса охолоджуючого елемента, кг	не менш 0,75
Подавання кисню в систему респіратору, г/хв: постійна легене-автоматична аварійним клапаном	1,3-1,5 не менш 70 не менш 150-60
Вакуумметричний тиск, при якому відкривається легеневий автомат, Па (мм вод.ст)	100-300 (10-30)
Надмірний тиск, при якому відкривається надмірний клапан, Па (мм вод.ст.)	100-300 (10-30)
Корисна місткість дихального мішка, л	не менш 4,5
Обсяг вдиху при проведенні ШВЛ, л	не більш 2
Габаритні розміри (без дихальних шлангів и ременів), мм: довжина ширина висота	460 340 140
Маса респіатора без лицевих частин, охолоджуючого елемента і кришки холодильника, кг	7

Респіратор Р-34 може бути укомплектований приставкою для проведення штучної вентиляції легень постраждалому, який увімкнений в респіратор. Забезпечує надійну ізоляцію органів дихання людини в атмосфері, яка вміщує наступні гази: CO - до 10 %, SO₂ - до 2%, H₂S - до 1%, NO₂ -до 1%, CO₂ - до 40%, CH₄ - до 100%, O₂ - от 0 до 21%, N₂ - до 100%, а також вугільний пил - до 10 г/м³.



Рис. 1.11. Респіратор ізолюючий регенеративний типу PX-4E

Респіратор PX-4E (рис.1.11) на хімічно зв'язаному кисню призначений для індивідуального захисту органів дихання при виконанні тяжких гірничорятувальних і технологічних робіт у вугільних шахтах у непридатному для дихання середовищі при нормальній та підвищеній температурі. Виконання PX-4E відповідає європейським стандартам безпеки за надійністю і умовами дихання. В апаратурі передбачено два дихальних мішки і балон із стислим повітрям, що забезпечує можливість повторних увімкнень і заповнення дихального мішку. В залежності від обсягу регенеративного патрону респіратор може забезпечувати захист при виконанні роботи середньої тяжкості протягом 2,5 і 4,5 годин. PX-4E оснащений індикатором відпрацьовування регенеративного патрону. При відпрацьовуванні 75% ресурсу патрону подається звуковий сигнал. За параметрами вдихуваного повітря PX-4E перевершує найкращі зарубіжні зразки.

Правилами безпеки встановлена допустима температура шахтного повітря у діючих виробках, яка дорівнює 26°C [46]. При веденні гірничорятувальних робіт в шахтах температура вища за 27°C вважається підвищеною. Температура повітря вища за 50°C вважається високою і

перебування у виробках із високою температурою без засобів протитеплого захисту не допускається. Для різних діапазонів температур доцільно застосовувати різні засоби протигазового і протитеплого захисту гірничорятувальників (табл.1.9) [47, 48].

Протитеплова куртка типу ТК-50 (табл. 1.10 [32]) призначена для підвищення ефективності праці гірничорятувальників під час праці в умовах підвищених температур від 26 до 60°C і відносної вологості до 100%.

Протитепловий костюм ПТК-100 (рис.1.12) використовується для ведення гірничорятувальних робіт при високій вологості і температурі до 150°C. Система охолодження костюму заснована на контактному принципі теплоз'єму, при якому холодна вода за допомогою примусової циркуляції пересувається по системі трубок і колектору. Костюм важить 23кг, автономний, оснащений зарядом водяного льоду, апаратом підземного зв'язку і акумуляторним світильником. В залежності від температури ПТК-100 може використовуватися протягом 80хв при 60°C, 60хв при 100°C, 40хв при 150°C.



Рис. 1.12. Протитепловий костюм типу ПТК-100

Комплексним рішенням для відпочинку гірничорятувальників і тимчасового захисту від токсичного і теплового враження є комплекс бокс-баз гірничорятувальних КБГ (рис. 1.13). Він призначений для організації проміжної підземної бази (пункту відпочинку) гірничорятувальних відділень. Використовується у виробках із непридатною для дихання атмосферою і при

підвищених температурах у випадках значного віднесення місця робіт від свіжого струменя. Складається із бокс-баз двох типорозмірів і систем життєзабезпечення.

Таблиця 1.10

Технічні характеристики індивідуальних засобів проти теплового захисту

Показник	Тип засобу протитеплового захисту			
	ТК-50	ТК-60М	ПТК-80	ПТК-100
Маса, кг	3,9...4,3*	12	14,5	23,0
в т.ч. охолоджуючого елементу	2,6...3,1	6,2	6,9	5,6 (лід)
Час захисної дії, хв., при 100% вологості і температурі оточуючого середовища, °С				
27	240	-	-	-
30	150	-	-	-
35	80	-	-	-
40	40	130	-	-
45	36	120	-	-
50	30	110	-	-
55	20	100	-	-
60	10	90	105	80/65**
80	-	-	90	70/55
110	-	-	70	55/40
150	-	-	45	40/25
*- залежить від розміру, ** - в чисельнику при праці, в знаменнику при пересуванні по виробкам				



Рис. 1.13. Комплекс бокс-баз гірничорятувальних КБГ

Велика бокс-база має габарити 5000x2000x2000мм і встановлюється у виробках із кутом нахилу не більш 20° , перетином не менш $7,5\text{м}^2$ (при швидкості струменю до 4м/с) і $8,8\text{м}^2$ (при швидкості струменю до 6м/с). Мала бокс-база (габарити 3500x1750x1750) встановлюється у виробках із перетином не менш $5,5\text{м}^2$ при швидкості струменю до 6м/с. Ширина виробки має бути не менше 2,7м. Велика бокс-база вміщує 12 людей, мала – 6 людей.

Умови експлуатації КБГ: максимальна температура – 40°C ; відносна вологість повітря до 98%; CO_2 – до 30%, CH_4 – до 5%, задимленість – суцільна; вміст CO до 1%;

Час підготовки бокс-бази до праці силами одного відділення складає не менше 30 хвилин. Доставка бокс-бази проводиться силами двох відділень.

Для захисту гірничорятувальників від вражаючої дії ударних хвиль (УХ) інтенсивністю не більш 0,05 МПа ($0,5\text{ кгс/см}^2$), які можуть виникнути при вибуху метаноповітряної суміші у вугільних шахтах, призначений комплект противибуховий швидкозводимий (КПШ) (рис.1.14). За допомогою КПШ неодноразово здійснювався захист гірничорятувальників від надлишкового

тиску у фронті УХ, від імпульсу УХ, від враження предметами (куски вугілля, порода), які переносяться ударною хвилею. Робота КПШ полягає на ослабленні енергії УХ шляхом гальмування газового потоку. Напіврозкрита перемичка парашутного типу розташовується в гірничій виробці, при взаємодії із УХ вона повністю розкривається і своїм куполом гальмує потік, що наближається за фронтом ударної хвилі. При цьому надлишковий тиск знижується, а повністю розкритий купол перемички затримує куски вугілля, породи, елементи кріплення.

Технічні дані КПШ:

- надлишковий тиск у фронті УХ, МПа (кгс/см ²),	не більш 0,05 (0,5)
- ступінь зниження тиску у фронті УХ, %	20
- ступінь зниження імпульсу УХ, %	30
- ступінь уловлювання предметів, %	75
- площа куполу в розкритті, м ²	11 (16) (24)
- міцність кожної стропи, Кн	12 (16) (20)
- довжина строп, м	3.9 (4,7) (5,1)
- маса куполу і строп, кг	14 (18) (24)
- термін служби, років	10

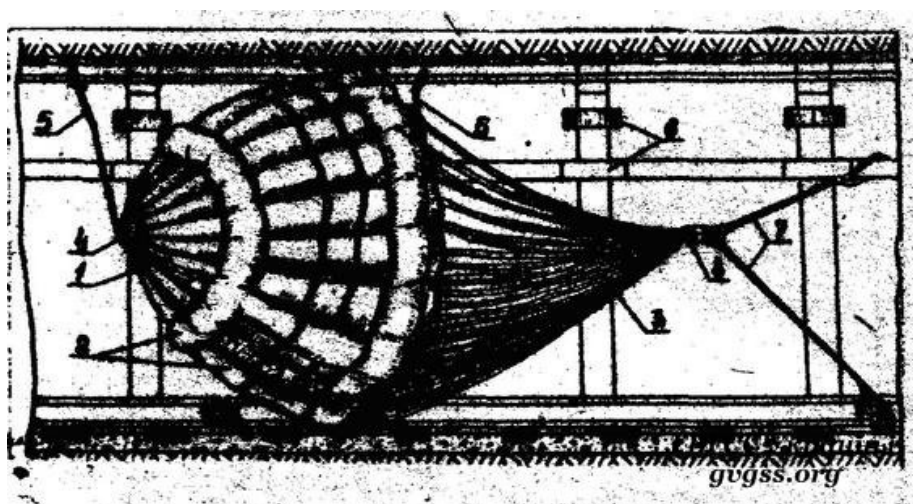


Рис. 1.14. Комплекс противибуховий типу КПШ

Недоліки даного пристрою полягають у недостатній швидкодії напіврозгорнутого куполу при високій швидкості розповсюдження фронту УХ, а також малої ефективності гасіння енергії УХ яка формується при вибухи значних обсягів МПС. Як показав досвід аварії на шахті ім. О.Ф. Засядька КПШ не здатен перешкодити переміщенню під дією УХ великого обладнання, наприклад агрегату «Моноліт».

Аналіз існуючих засобів захисту гірничорятувальників свідчить, що вони є достатньо надійними при дії токсичних газів, високих температур. Однак щодо збереження людей від ударної хвилі або відкритого полум'я при вибуху, попередження травмування при обваленні, то нажалі такі засоби відсутні чи недостатньо надійні.

1.4. Мета та задачі досліджень

Метою роботи є підвищення безпеки виконання основних видів аварійних робіт у газових шахтах. Поставлена мета визначила необхідність рішення наступних задач:

- виконати аналіз умов виникнення травмонебезпечних ситуацій при веденні важких аварійних робіт;
- оцінити основні ризики вражень гірничорятувальних підрозділів під час виконання основних видів оперативних дій у газових шахтах;
- розробити науково-обґрунтовані напрямки управління ризиками;
- дослідити динаміку формування газового середовища в ізольованому об'ємі виробок при гасінні пожеж дистанційними способами;
- розробити методику оцінки вибухонебезпечності трикомпонентного (горючий газ – окислювач - флегматизатор) газового середовища;
- провести лабораторні дослідження з перевірки вибухових властивостей трикомпонентних газових сумішей і встановити мінімальну межу флегматизації вибухонебезпечних сумішей;

- обґрунтувати технологічно безпечні та ефективні способи ліквідації аварій у важкодоступних місцях і розробити засоби автоматизації технологічних процесів дистанційного гасіння підземних пожеж.

РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА РИЗИКІВ ВРАЖЕННЯ ГІРНИЧОРЯТУВАЛЬНИКІВ ПРИ ВЕДЕННІ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ У ЗАГАЗОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

2.1 Дія основних вражаючих факторів підземної аварії на організм людини

На підставі аналізу найбільш складних аварій [5, 10] були визначені основні види вражень гірничорятувальників:

- Від пожежі:
 - теплотою вогнища горіння;
 - токсичними продуктами;
- Від вибуху газоповітряної суміші:
 - ударною хвилею;
 - теплотою продуктів вибуху;
 - токсичними продуктами;
- Обваленням порід;
- Ядухою

Негативна дія цих чинників локалізується у обмежених ділянках підземних гірничих виробок, які називають зонами вражень. Розглянемо більш докладно основні зони вражень при ліквідації найбільш складного виду аварії, а саме при гасінні підземної пожежі у важкодоступному місці.

Як правило, кожна операція з ліквідації аварії і її наслідків починається з проведення розвідки гірничих виробок, пошуку потерпілих, надання їм першої допомоги та евакуації з аварійних виробок [49, 50].

Далі, виходячи з результатів розвідки, встановлюють місце або район знаходження вогнища горіння і вживають заходи щодо його гасіння активним способом (пісок або інертний пил, вода, порошок, піна) і локалізації (створення «голодних зон», аварійні вентиляційні маневри та ін.) [33, 51]. Паралельно, відповідно до вимог нормативних документів, ведуть підготовку до ізоляції пожежі. Після ухвалення рішення про ізоляцію вогнища горіння починають

зведення ізолюючих перемичок і інших споруджень та визначають вид прискореного його гасіння комбінованим способом. Це може бути рециркуляція пожежних газів в ізольованому замкнутому контурі виробок, інертизація газового середовища джерела горіння або інший тактичний прийом. Після гасіння пожежі газовими засобами проводять розвідку аварійних гірничих виробок і ухвалюють рішення щодо припинення аварійно-рятувальних робіт. Розташування основних зон вище перелічених вражень при гасінні підземних пожеж наведено на рис. 2.1 [55].

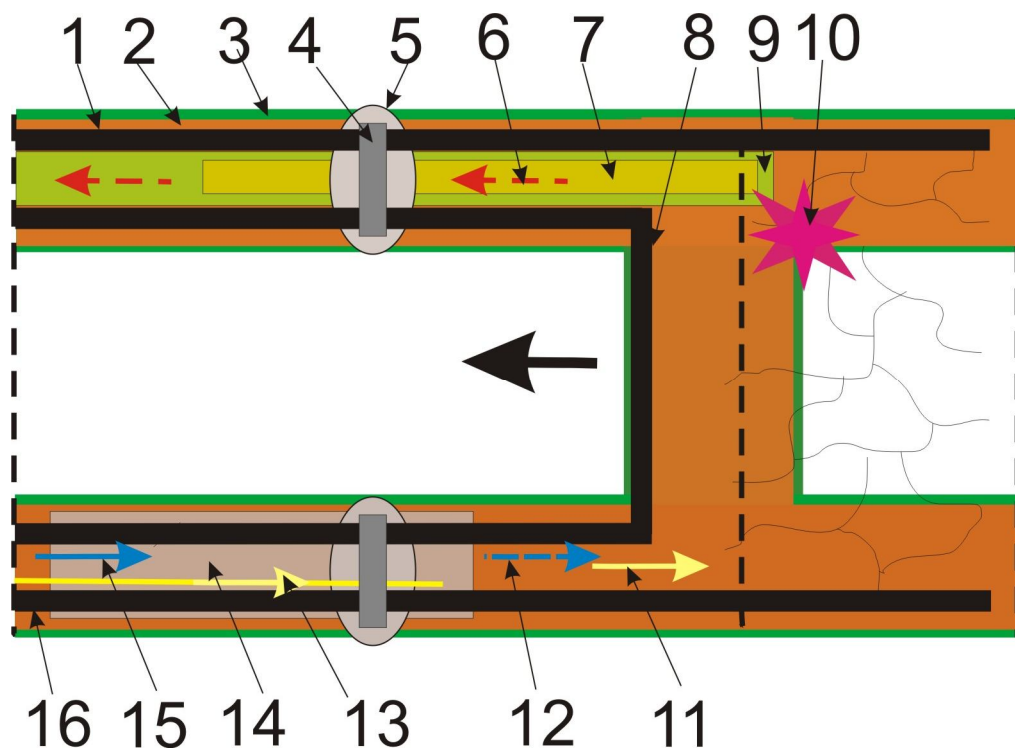


Рис.2.1. Розташування зон вражень при ліквідації аварії:

1-вентиляційна виробка; 2,3 – зони враження, відповідно, ударною хвилею і високою температурою від вибуху ГПС та токсичними продуктами вибуху; 4,5 – відповідно, перемичка та зона обвалення порід; 6 – сходячий струмінь газів; 7,9 – відповідно, зони теплового та токсичного враження пожежними газами; 8 – очисний вибій; 10 – вогнище горіння; 11,12 - струмені інертних газів та витоків повітря, відповідно; 13 – трубопровід інертних газів; 14 – зона ядухи; 15, 16-струмінь повітря та повітряподавальна виробка

На кожному з етапів ведення оперативних дій можна виділити найбільш істотні види небезпек, що підстерігають гірничорятувальників.

Розглянемо етап, пов'язаний із проведенням розвідувальних робіт (рис.2.2). Характерною рисою цього етапу є відсутність достовірної інформації та обмеження часу виконання. Час виконання пояснюється лімітом часу захисної дії ізолюючих приборів-саморятівників, якими оснащені застигнуті пожежею гірники.

Найбільшою загрозою є можливість вибуху газоповітряної суміші. Вражаючі фактори вибуху - ударна хвиля, високотемпературний вогневий фронт та токсичні продукти можуть розповсюджуватися на значні відстані від джерела горіння, навіть до поверхні [52]. При цьому обставини виникнення вибуху не прогнозовані та майже не контрольовані. Відсутність інформації про місцезнаходження джерела горіння та динаміку його розвитку не дозволяють визначити умови, що сприяють вибуху. Єдина можливість не спровокувати його – це підтримання стабільного режиму провітрювання аварійної ділянки. На період проведення розвідки забороняється регулювання вентиляторних установок, відкриття шлюзів та вентиляційних дверей. Робітники депресіонногазової служби контролюють витрати та склад повітря у аварійних виробках та екстрено припиняють дію розвідувальних підрозділів при змінах ситуації, тому що найбільш вірогідною причиною змін є розвиток вогнища горіння та наростаюча загроза вибуху.

У виробці, по якій прямує сходячий струмінь повітря, виникають зони задимлення, токсичних газів, високої температури. Засоби, якими оснащені гірничорятувальники, дозволяють виявити ці зони і уникнути враження. Розміри та склад газів в цих зонах дають інформацію про інтенсивність горіння та вид горючого матеріалу (газ, вугілля, деревина, каучукові композиції, суміш горючих речовин).

На другому етапі ліквідації аварії, пов'язаному із гасінням пожежі засобами активного впливу, можна суттєво скоротити розмір зон враження

вибухом ГПС виконавши омивання стінок виробки або їх осланцювання. Однак зростає загроза вибуху метаноповітряної суміші (МПС) внаслідок місцевого порушення провітрювання під дією інтенсивних потоків речовин, що гасять вогонь. Тому слід запобігати виникненню застійних зон або протилежно спрямованих потоків повітря та вогнегасних речовин.

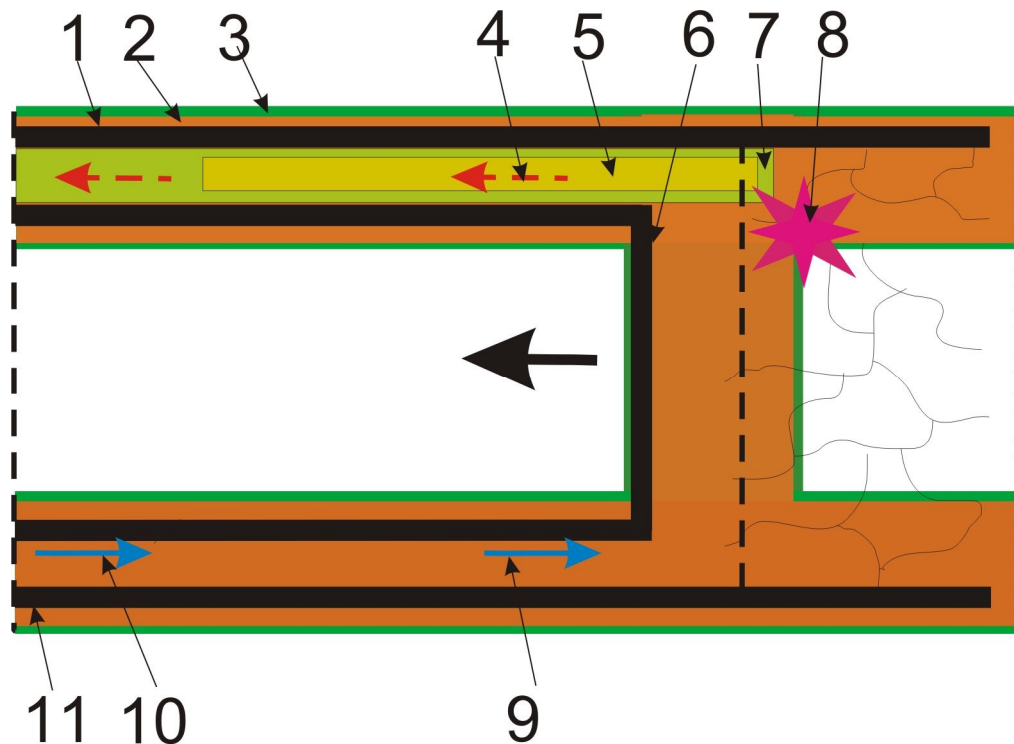


Рис.2.2. Розташування зон вражень при розвідці гірничих виробок:

1-вентиляційна виробка; 2,3 – зони враження, відповідно, ударною хвилею і теплотою від вибуху ГПС та токсичними продуктами вибуху; 4 – сходячий струмінь газів; 5 – зона теплового враження пожежними газами; 6 – очисний вибій; 7, зона враження токсичними пожежними газами; 8– вогнище горіння; 9,10 – струмінь свіжого повітря; 11 - повітряподавальна виробка

При переході до ізоляції аварійних виробок з'являється загроза обвалень гірничих порід під час розбори кріплення, виїмки врубу та зведення ізолюючих перемичок (рис.2.3). Обвалення порід може виникнути під час зведення ізолюючих перемичок та при спорудженні врубів при гасінні пожежі

ізолюючим або комбінованим способами, дією ударної хвилі, яка може зруйнувати кріплення або призвести до посування гірничих порід [53]. Для запобігання обвалення гірничих порід при зведенні перемичок, вруби треба зводити завчасно.

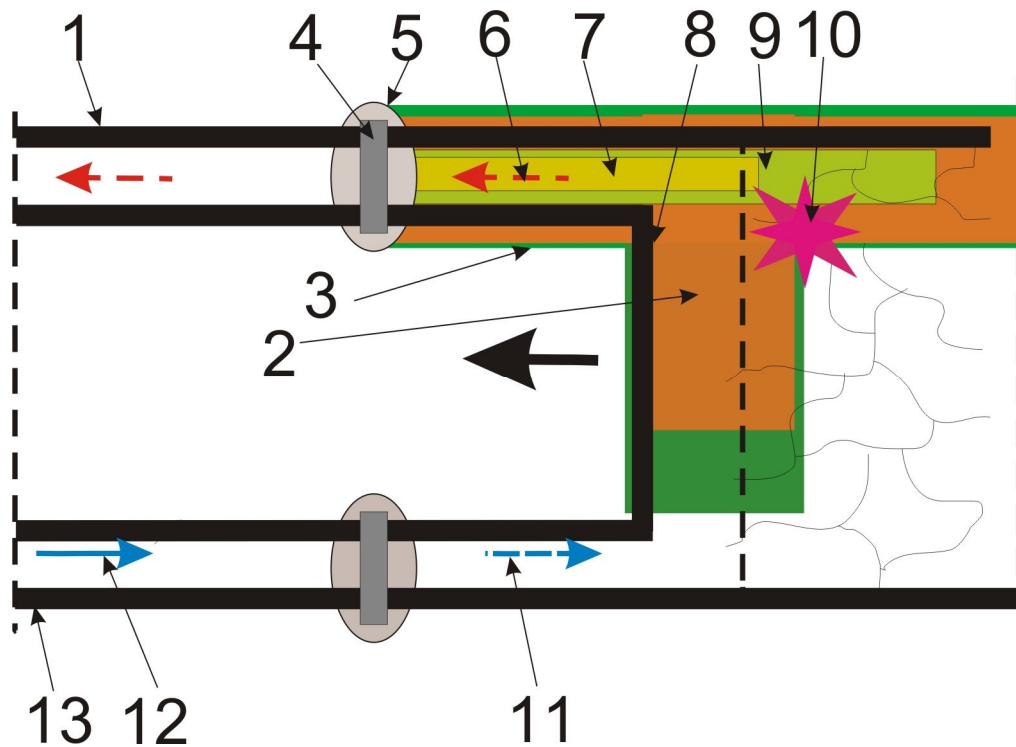


Рис. 2.3. Розташування зон вражень при гасінні пожежі способом ізоляції: 1-вентиляційна виробка; 2,3 – зони враження, відповідно, ударною хвилею від вибуху ГПС та токсичними продуктами вибуху; 4,5 – відповідно, перемичка та зона обвалення порід; 6 – сходячий струмінь газів; 7,9 – відповідно, зони теплового та токсичного враження пожежними газами; 8 – очисний вибій; 10 – вогнище горіння; 11, - струмінь витоків повітря; 12 ,13 - струмінь повітря та повітряподавальна виробка

Для виконання робіт по зведенню перемичок слід залучати найбільш кваліфікованих робітників, неухильно дотримуватись мір безпеки. Крім того, треба застосовувати безврубові конструкції перемичок із швидкотвердіючих

матеріалів, що дозволить не тільки підвищити рівень безпеки, але й скоротити час гасіння пожежі [54].

Зведення ізолюючих споруд у виробці зі сходячим струменем повітря є найбільш складною проблемою. Токсичність пожежних газів, задимленість та висока температура повітря не дозволяють забезпечити високі темпи спорудження перемичок, ця робота потребує великих працевтрат, використання теплозахисного обладнання. Поряд із небезпекою робіт збільшується строк гасіння пожежі. Виконання аварійних вентиляційних маневрів (місцевий або загальношахтний реверс повітряного струменю) також веде до збільшення строку ліквідації аварії та може спровокувати вибух МПС. Тому перспективним вважається використання таких способів, що не передбачають зведення перемичок у вентиляційній виробці (рис.2.4).

Функція ізолюючих перемичок полягає у збільшенні аеродинамічного опору гірничих виробок та ізоляції повітря від джерела пожежі. Традиційно прийнято зводити перемички у виробках як із свіжим, так із сходячим повітрям. Автором запропонована технологія подавання газоподібного азоту до аварійної ділянки, де достатньо використання тільки виробки зі свіжим повітрям. Функцію обмежувача повітря при цьому виконує комора з двох перемичок, у якій за рахунок підвищеного тиску інертного газу зникають умови для просочування повітря до ізолюваного об'єму (див. рис.2.4).

При цьому використано ідею маневрування джерелами витрати газів у виробці. Тиск компресора газорозділюючої установки набагато перевищує депресію аварійної ділянки. При вірному виборі відстані між перемичками, які утворюють комору, а також при регулюванні тиску інертного газу, який подають до неї, існують умови зведення нанівець повітряних витоків.

При використанні такої технології суттєво знижуються ризики виникнення вибухів МПС, впливу на гірничорятувальників вражаючих факторів в разі вибуху, відсутня необхідність робіт у виробці зі сходячим струменем повітря. Однак з'являється загроза ядухи людей при невірному регулюванні втрат інертного газу до ізолюючої комори. При подаванні

парогазової суміші, діоксиду вуглецю, рідкого азоту, ці гази також можуть витиснути кисень з повітря. У людини, яка знаходиться у такому просторі, може наступити ядуха. Тому технологічна операція безперервного контролю стану повітря у місці проведення робіт з інертизації, а також регулювання є необхідними внаслідок непрогнозованих змін депресії на аварійній ділянці гірничих виробок.

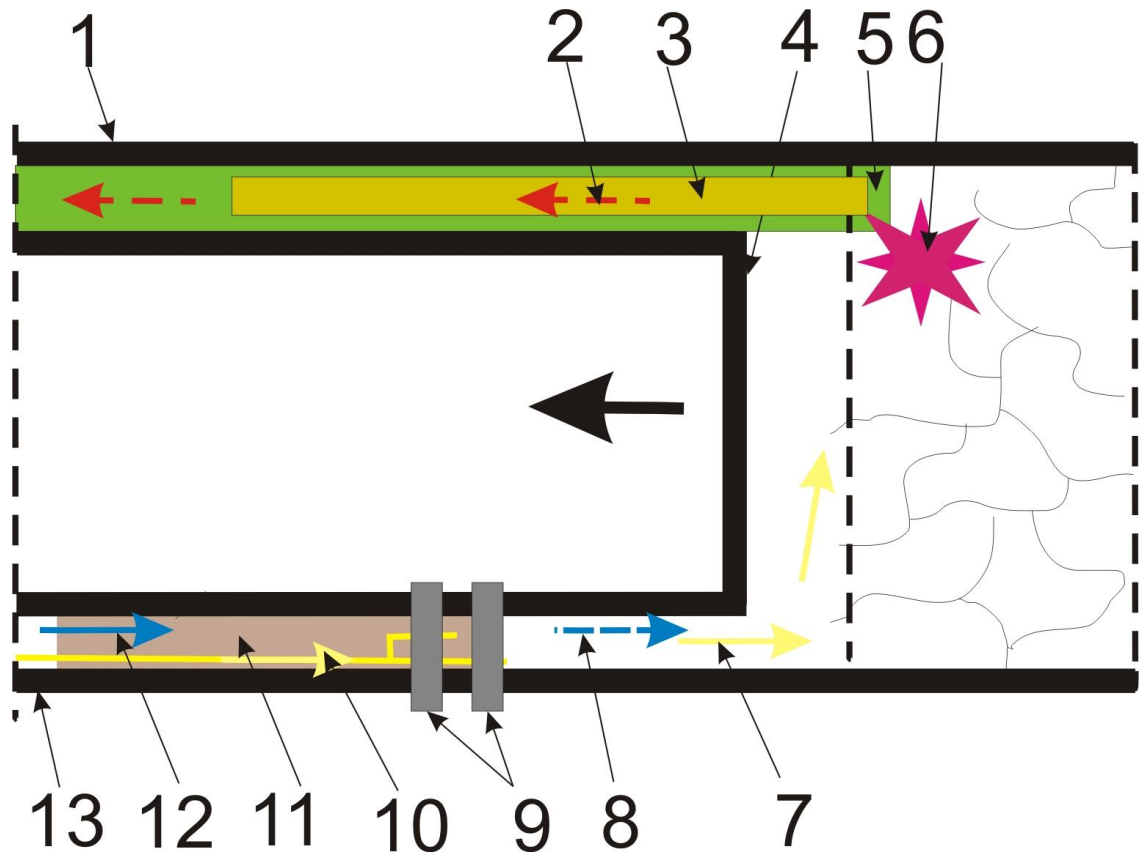


Рис. 2.4. Розташування зон вражень при гасінні пожежі за допомогою мембранної технології: 1 - вентиляційна виробка; 2 – сходячий струмінь газів; 3,5– відповідно, зони теплового та токсичного враження пожежними газами; 4 – очисний вибій; 6 – вогнище горіння; 7,8 - струмені інертних газів та витоків повітря, відповідно; 9–ізолюючі перемички; 10 – трубопровід інертних газів; 11 – зона ядухи; 12,13 - струмінь свіжого повітря та повітряподавальна виробка

2.2. Оцінка ризиків вражень гірничорятувальників при гасінні пожеж газовими засобами

Ризик травмування на виробництві – це частота або статистична ймовірність настання нещасного випадку з урахуванням його тяжкості [55-62]. Існує класична схема аналізу ризиків (рис.2.5), яка передбачає виконання дій, результатом яких має бути обґрунтоване рішення щодо способу впливу на ризик [63]. Методи досліджень мають вписуватися в наведену на рис.2.5 схему та повинні забезпечити: отримання інформації про причини травмування (явні і приховані), отримання кількісних оцінок ризику травмування за цими причинами, трансформування результатів досліджень у профілактичні заходи.

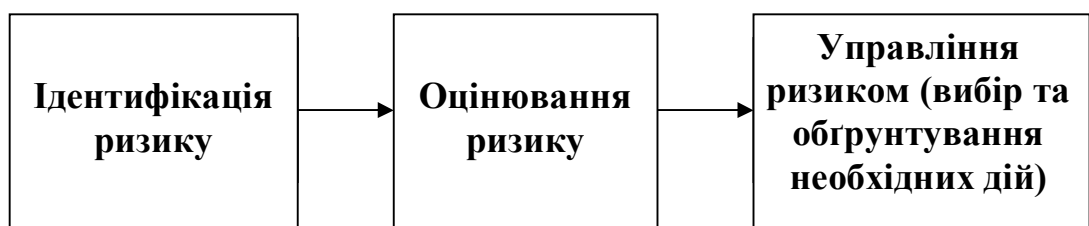


Рис. 2.5. Схема обґрунтування профілактичних заходів для мінімізації ризику

Загальний ризик травмування R дорівнює сумі ризиків за причинами, що привели до травмування:

$$R = \sum_{i=1}^n P(\Pi_i) \quad (2.1)$$

де Π_i - показник, що характеризує заходи і засоби профілактики травматизму,

$$P = N_{зм} \cdot \frac{L_{зони}}{360 \cdot v_{відділення}} \quad (2.2)$$

де $N_{зм}$ - кількість змін, протягом яких відбуваються роботи,

$L_{зони}$ - протяжність зони ризику,

$v_{відділення}$ - швидкість переміщення відділення гірничорятувальників в зоні ризику [33],

360 хв – час, протягом якого триває зміна.

Сумарний ризик вражень при ліквідації складної підземної пожежі (див. рис. 2.1) можна розглянути як [65]:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \Pi_j = P_1 \cdot \Pi_{11} + P_1 \cdot \Pi_{12} + P_2 \cdot \Pi_{21} + P_2 \cdot \Pi_{22} + P_2 \cdot \Pi_{23} + P_2 \cdot \Pi_{24} + \\ + P_3 \cdot \Pi_{31} + P_3 \cdot \Pi_{32} + P_3 \cdot \Pi_{33} + P_3 \cdot \Pi_{34} + P_4 \cdot \Pi_{41} + P_4 \cdot \Pi_{42} + P_4 \cdot \Pi_{43} + P_4 \cdot \Pi_{44} + \\ + P_5 \cdot \Pi_{51} + P_5 \cdot \Pi_{52} + P_5 \cdot \Pi_{53} + P_5 \cdot \Pi_{54} + P_6 \cdot \Pi_{61} + P_6 \cdot \Pi_{62} + P_6 \cdot \Pi_{63} + P_6 \cdot \Pi_{64} + P_6 \cdot \Pi_{65} + \\ + P_7 \cdot \Pi_{71} + P_7 \cdot \Pi_{72} \quad (2.3)$$

де ризику вражень:

$P_1 \cdot \Pi_{11}$ – ударною хвилею від вибуху ГПС без використання КПШ (комплекс проти вибуховий);

$P_1 \cdot \Pi_{12}$ – ударною хвилею від вибуху ГПС з використанням КПШ;

$P_2 \cdot \Pi_{21}$ – високою температурою від вибуху ГПС без використання засобів протитеплого захисту;

$P_2 \cdot \Pi_{22}$ – високою температурою від вибуху ГПС при використанні охолоджуючого елементу в респіраторі;

$P_2 \cdot \Pi_{23}$ – високою температурою від вибуху ГПС при використанні протитеплової куртки;

$P_2 \cdot \Pi_{24}$ – високою температурою від вибуху ГПС при використанні протитеплого костюму;

$P_3 \cdot \Pi_{31}$ – токсичними продуктами вибуху без використання засобів захисту;

$P_3 \cdot \Pi_{32}$ – токсичними продуктами вибуху при використанні саморятівника ($t_{зд}=50\text{хв}$);

$P_3 \cdot P_{33}$ – продуктами вибуху при використанні допоміжного респіратора Р-34 ($t_{зд}=120хв$);

$P_3 \cdot P_{34}$ – токсичними продуктами вибуху при використанні основного респіратора Р-30 або РХ-4Е ($t_{зд}=240хв$);

$P_4 \cdot P_{41}$ – токсичними продуктами пожежних газів без використання засобів захисту;

$P_4 \cdot P_{42}$ – токсичними продуктами пожежних газів при використанні саморятівника ($t_{зд}=50хв$);

$P_4 \cdot P_{43}$ – токсичними продуктами пожежних газів при використанні допоміжного респіратора Р-34 ($t_{зд}=120хв$);

$P_4 \cdot P_{44}$ – токсичними продуктами пожежних газів при використанні основного респіратора Р-30 або РХ-4Е ($t_{зд}=240хв$);

$P_5 \cdot P_{51}$ – високою температурою від пожежних газів без використання засобів протитеплогового захисту;

$P_5 \cdot P_{52}$ – високою температурою від пожежних газів при використанні охолоджуючого елементу в респіраторі;

$P_5 \cdot P_{53}$ – високою температурою від пожежних газів при використанні протитеплової куртки;

$P_5 \cdot P_{54}$ – високою температурою від пожежних газів при використанні протитеплогового костюму;

$P_6 \cdot P_{61}$ – ядухи без використання засобів захисту;

$P_6 \cdot P_{62}$ – ядухи з використанням саморятівника ($t_{зд}=50хв$);

$P_6 \cdot P_{63}$ – ядухи при використанні допоміжного респіратора Р-34 ($t_{зд}=120хв$);

$P_6 \cdot P_{64}$ – ядухи при використанні основного респіратора Р-30 або РХ-4Е ($t_{зд}=240хв$);

$P_6 \cdot P_{65}$ – ядухи при провітрюванням тупикової частини виробки що ізолюють;

$P_6 \cdot \Pi_{66}$ – ядухи без провітрювання тупикової виробки;

$P_7 \cdot \Pi_{71}$ - обвалення в районі зведення перемички без засобів профілактики;

$P_7 \cdot \Pi_{72}$ - обвалення в районі зведення перемички з використанням механізованого зведення перемички та безврубової перемички.

Сумарний ризик вражень при розвідці гірничих виробок (див. рис. 2.2):

$$R = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \Pi_j = P_1 \cdot \Pi_{11} + P_1 \cdot \Pi_{12} + P_2 \cdot \Pi_{21} + P_2 \cdot \Pi_{22} + P_2 \cdot \Pi_{23} + P_2 \cdot \Pi_{24} + \\ + P_3 \cdot \Pi_{31} + P_3 \cdot \Pi_{32} + P_3 \cdot \Pi_{33} + P_3 \cdot \Pi_{34} + P_4 \cdot \Pi_{41} + P_4 \cdot \Pi_{42} + P_4 \cdot \Pi_{43} + P_4 \cdot \Pi_{44} + \\ + P_5 \cdot \Pi_{51} + P_5 \cdot \Pi_{52} + P_5 \cdot \Pi_{53} + P_5 \cdot \Pi_{54} \quad (2.4)$$

Сумарний ризик вражень при гасінні пожежі способом ізоляції (див. рис. 2.3):

$$R = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \Pi_j = P_1 \cdot \Pi_{11} + P_1 \cdot \Pi_{12} + \\ + P_3 \cdot \Pi_{31} + P_3 \cdot \Pi_{32} + P_3 \cdot \Pi_{33} + P_3 \cdot \Pi_{34} + P_4 \cdot \Pi_{41} + P_4 \cdot \Pi_{42} + P_4 \cdot \Pi_{43} + P_4 \cdot \Pi_{44} + \\ + P_5 \cdot \Pi_{51} + P_5 \cdot \Pi_{52} + P_5 \cdot \Pi_{53} + P_5 \cdot \Pi_{54} + P_7 \cdot \Pi_{71} + P_7 \cdot \Pi_{72} \quad (2.5)$$

Сумарний ризик вражень при гасінні пожежі за допомогою технології з використанням мембранної установки (див. рис. 2.4):

$$R = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \Pi_j = P_4 \cdot \Pi_{41} + P_4 \cdot \Pi_{42} + P_4 \cdot \Pi_{43} + P_4 \cdot \Pi_{44} + \\ + P_5 \cdot \Pi_{51} + P_5 \cdot \Pi_{52} + P_5 \cdot \Pi_{53} + P_5 \cdot \Pi_{54} + P_6 \cdot \Pi_{61} + P_6 \cdot \Pi_{62} + P_6 \cdot \Pi_{63} + P_6 \cdot \Pi_{64} + P_6 \cdot \Pi_{65} \quad (2.6)$$

Розглянемо більш докладно параметри основних зон:

Розміри зони враження ударною хвилею від вибуху газоповітряної суміші (ГПС) визначаються обсягом накопичених вибухових газів і складає як свідчить досвід коло 300м. Якщо у вибуху приймає участь вугільний пил, то він також має вплив на протяжність гірничих виробок, по яким може розповсюджуватися вибухова хвиля. Ризик вибуху ГПС особливо великий у період проведення

розвідки. Ризик стає максимальним, коли не проводиться жодних мір попередження. Також цей ризик існує при зведенні перемичок. Слід проводити наступні міри профілактики: осланцювання виробок, омивання виробок, встановлення комплексу КПШ. Розміри зони враження високою температурою від вибуху ГПС визначаються під час ведення розвідки і складають приблизно 50м. На її розміри впливає кількість метану, вугілля, деревини, що горить у вогнищі горіння. Знизити ризик враження високою температурою від вибуху гірничорятувальникам можна використовуючи охолоджуючий елемент в респіраторі, протитеплову куртку та протитепловий костюм. Зона враження токсичними продуктами вибуху ГПС розташовується по всій довжині повітрявідводної виробки та визначається згідно плану гірничих робіт, складає частіше за все близько 1000м. Токсичність продуктів не зменшується протягом усієї зони. Основний засіб захисту – це використання саморятівників, респіраторів Р-34, Р-30, РХ-4Е. Зона враження токсичними пожежними газами визначається так само як і зона враження токсичними продуктами від вибуху ГПС. Її протяжність складає близько 1000м. Засоби захисту - використання саморятівників і респіраторів Р-34, Р-30, РХ-4Е. Розміри зони враження високою температурою від пожежних газів, як і зони враження високою температурою від вибуху, визначаються під час ведення розвідки і складають приблизно 50м. На її розміри впливає кількість метану, вугілля, деревини, що горить у вогнищі горіння. Ризик враження високою температурою від пожежних газів може бути меншим ніж ризик враження високою температурою від вибуху ГПС у зв'язку з тим, що температура газу під час вибуху різко підвищується, а при горінні більш стабільна. Знизити ризик враження високою температурою від пожежних газів гірничорятувальникам можна використовуючи охолоджуючий елемент в респіраторі, протитеплову куртку та протитепловий костюм. Зона ядухи розташовується в тупиковій частині повітряподавальної виробки у випадку проникнення інертних газів за перемичку у напрямку до свіжої струї. В першому наближенні може бути прийнята до 50м. Основними засобами захисту є саморятівники, респіратори

(Р-34, Р-30, РХ-4Е). Досить ефективні засоби попередження ядухи це провітрювання тупикової виробки за допомогою вентиляторів місцевого провітрювання та автоматичні пристрої подавання інертного газу у виробки для зниження витоків і контролю концентрації кисню у зоні горіння. Зона обвалення в районі зведення перемички розташовується в районі ведення робіт, її протяжність складає близько 10 метрів. Однією з мір профілактики обвалення є використання безврубової перемички. Швидкість її установки більша, ніж врубової [54].

Основні характеристики зон враження гірничорятувальників при найбільш несприятливих умовах ліквідації аварії наведені в табл. 2.1, а заходи, які знижують негативний вплив діючих в цих зонах чинників, та приблизні значення захисної дії у найскладніших умовах використання – у табл.2.2

Таблиця 2.1

Характеристики основних зон вражень при веденні гірничорятувальних робіт у важкодоступних місцях

№ п/п	Основні зони вражень	Протяжність зони $L_{зони}$, м	Швидкість переміщення відділення гірничорятувальників $v_{відділення}$, м/хв
1	Зона враження ударною хвилею від вибуху ГПС	300	50,76
2	Зона враження високою температурою від вибуху ГПС	50	42,3
3	Зона враження токсичними продуктами вибуху ГПС	1000	42,3
4	Зона враження токсичними продуктами пожежних газів	1000	18,612
5	Зона враження високою температурою від пожежних газів	50	18,612
6	Зона ядухи	50	42,3
7	Зона обвалення в районі зведення перемички	10	50,76

Таблиця 2.2

Показники, що характеризують засоби і заходи профілактики при веденні рятувальних робіт з ліквідації підземних пожеж у важкодоступних місцях.

Основні зони вражень	Означення показників	Міри профілактики	Значення показника
Зона враження ударною хвилею від вибуху ГПС	P_{11}	без використання КПШ	1
	P_{12}	з використанням КПШ	0,5
Зона враження високою температурою від вибуху ГПС	P_{21}	без використання засобів протитеплого захисту	1
	P_{22}	з використанням охолоджуючого елемента в респіраторі	0,75
	P_{23}	з використанням протитеплової куртки	0,5
	P_{24}	з використанням протитеплого костюму	0
Зона враження токсичними продуктами вибуху ГПС	P_{31}	без використання засобів захисту від токсичних продуктів	1
	P_{32}	з використанням саморятивника ($t_{зд}=50хв$)	0,8
	P_{33}	з використанням допоміжного респіатора Р-34 ($t_{зд}=120хв$)	0,5
	P_{34}	з використанням основного респіатора Р-30 або РХ-4Е ($t_{зд}=240хв$)	0
Зона враження токсичними продуктами пожежних газів	P_{41}	без використання засобів захисту від токсичних продуктів	1
	P_{42}	з використанням саморятивника ($t_{зд}=50хв$)	0,8
	P_{43}	з використанням допоміжного респіатора Р-34 ($t_{зд}=120хв$)	0,5
	P_{44}	з використанням основного респіатора Р-30 або РХ-4Е ($t_{зд}=240хв$)	0
Зона враження високою температурою від пожежних газів	P_{51}	без використання засобів протитеплого захисту	1
	P_{52}	з використанням охолоджуючого елемента в респіраторі	0,75
	P_{53}	з використанням протитеплової куртки	0,5
	P_{54}	з використанням протитеплого костюму	0

Зона ядухи	P_{61}	без використання засобів захисту від ядухи	1
	P_{62}	з використанням саморятівника ($t_{зд}=50хв$)	0,8
	P_{63}	з використанням допоміжного респіратора Р-34 ($t_{зд}=120хв$)	0,5
	P_{64}	з використанням основного респіратора Р-30 або РХ-4Е ($t_{зд}=240хв$)	0
	P_{65}	з провітрюванням тупикової виробки	0
	P_{66}	без провітрювання тупикової виробки	0,25
Зона обвалення в районі зведення перемички	P_{71}	без засобів профілактики від обвалення	1
	P_{72}	з використанням механізованого зведення перемички та безврубової перемички	0

В якості приклада наведено порівняння двох технологічних схем гасіння вогнища горіння у виробленому просторі. Перша схема (рис.2.6) передбачала зведення по черзі ізолюючих перемичок у конвеєрній та вентиляційній виробках, продувку аварійної ділянки парогазовою сумішшю за допомогою генератора інертних газів типу ГІГ-4, та подавання у подальшому газоподібного азоту від мембранної установки з вмістом кисню близько 5% та витоків повітря, які збільшують цей показник до 15%. Хронограма виконання основних технологічних прийомів надана у табл.2.3. Результати розрахунків значень ризиків зведено до табл. 2.4 та проілюстровані діаграмою (рис.2.7).

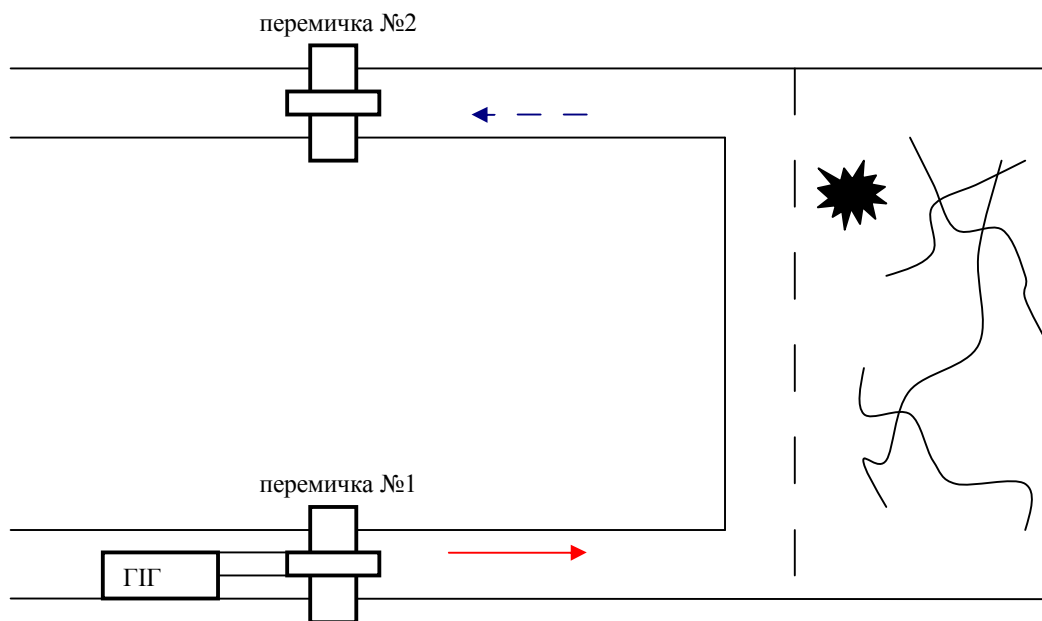


Рис. 2.6. Схема аварійної ділянки при виконанні робіт з ліквідації найскладніших підземних аварій без використання засобів захисту

Таблиця 2.3

Хронограма виконання основних робіт з ліквідації вогнища горіння вугілля у важкодоступних місцях без використання засобів захисту

Оперативні дії	Кількість відділень, що виконують роботи	Тривалість виконання дій, зміни															
		1 доба				2 доба				3 доба				4 доба			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Розвідка	1	■	■														
Зведення перемички №2	4			■	■	■	■										
Зведення перемички №1	4							■	■	■	■						
Подавання парогазової суміші	4											■					
Подавання азотної суміші з вмістом кисню 15%	1												■	■	■	■	■

Таблиця 2.4

Результати розрахунку ризиків по зонам враження та сумарних під час виконання основних робіт з ліквідації складних підземних аварій у важкодоступних місцях без використання засобів захисту

Оперативні дії	Основні зони вражень							
	Враження ударною хвилею від вибуху ГПС	Враження високою температурою від вибуху ГПС	Враження токсичними продуктами вибуху	Враження токсичними продуктами пожежних газів	Враження високою температурою від пожежних газів	Ядуха	Обвалення в районі зведення перемички	Сумарний ризик по зоні
Розвідка	0,0328	0,0066	0,1313	0,2985	0,0149	0	0	0,4842
Зведення перемички №2	0,0657	0,0131	0,2627	0,5969	0,0298	0	0,0022	0,9705
Зведення перемички №1	0,0657	0,0131	0,2627	0	0	0	0,0022	0,3437
Подавання парогазової суміші	0	0	0	0	0,0075	0,0033	0	0,0107
Подавання азотної суміші з вмістом кисню 15%	0,1642	0,0328	0,6567	0	0	0,0328	0	0,8865

З таблиці 2.4 і рисунку 2.7 видно, що найбільші значення величин ризиків притаманні дії ударної хвилі, токсичній дії продуктів пожежі і вибуху. Найбільша величина ризиків від: впливу ударної хвилі складає 3-16%, дії токсичних продуктів пожежних газів – 30-60%, токсичних продуктів вибуху газоповітряної суміші – 13-66%.

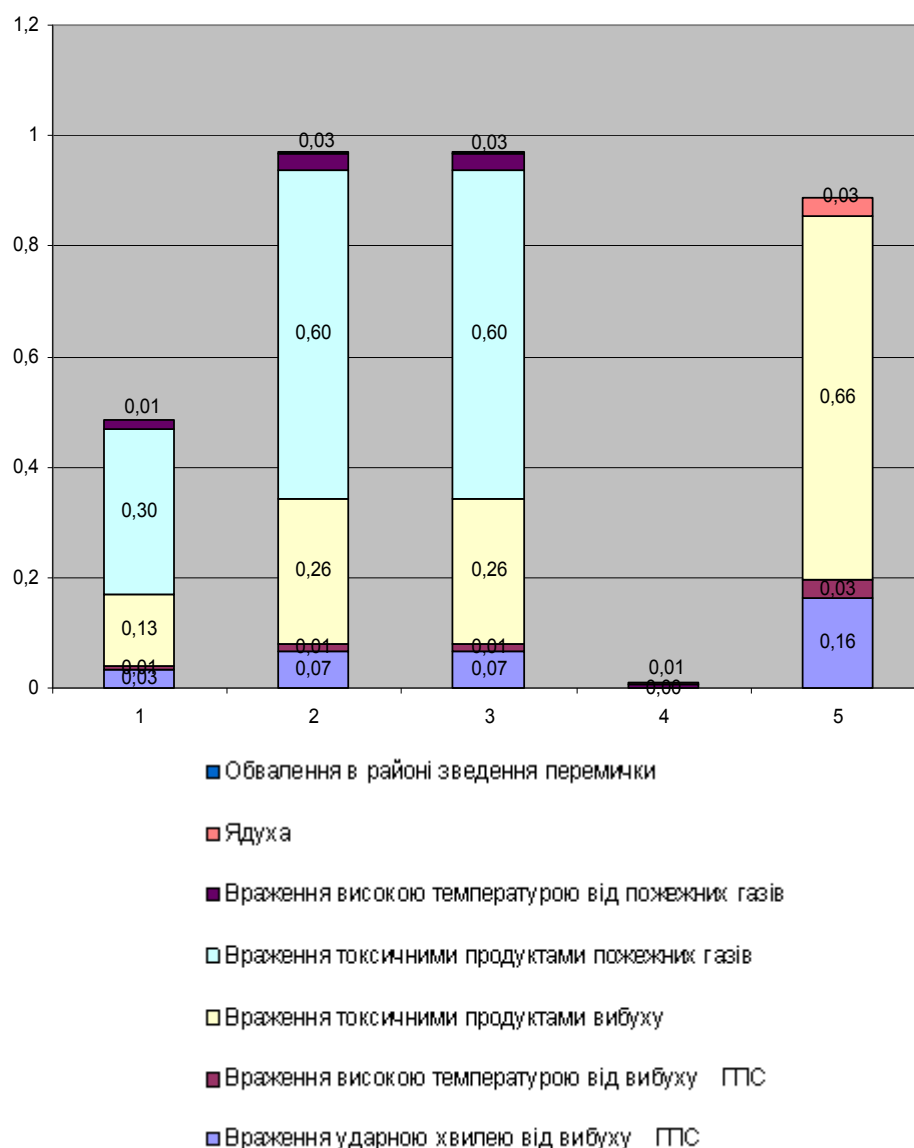


Рис. 2.7. Діаграма ризиків по зонам враження під час виконання основних робіт з ліквідації складних підземних аварій у важкодоступних місцях без використання засобів захисту

Як було визначено раніше сучасні засоби індивідуального захисту оберігають людину від токсичних газів. Це продемонстровано при використанні другої технології (рис.2.8). При її застосуванні дві ізолюючі перемички були зведені у конвеєрній виробці, під прикриттям комплексу КПШ, подавання азоту починали до камери, що утворилась між перемичками, а після її заповнення до ізольованого обсягу и камери (рис.2.8, табл. 2.5). За рахунок високого тиску компресора мембранної установки забезпечено зниження витоків повітря до вогнища горіння. Якість вогнегасної суміші, що поступає до вогнища складає близько 2% кисню.

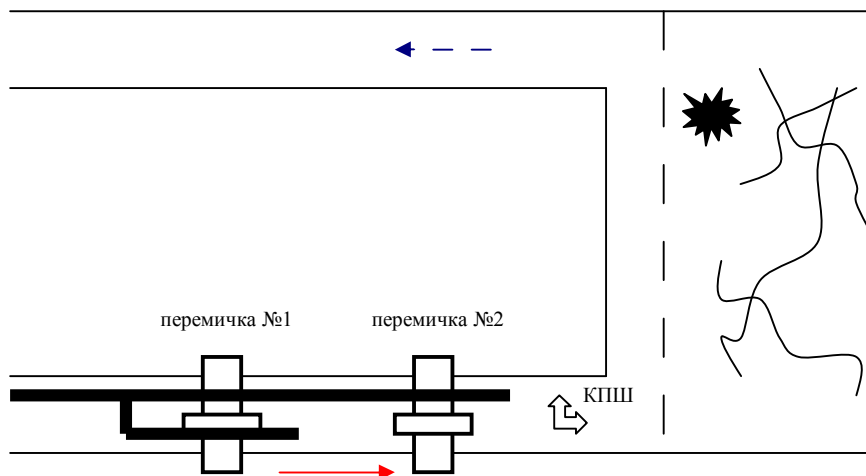


Рис. 2.8. Схема аварійної ділянки при виконанні робіт з ліквідації складних підземних аварій з використанням засобів захисту

При використанні другої технологічної схеми забезпечується зниження ризиків враження рятувальників ударною хвилею та токсичними газами, хоча дещо збільшується вірогідність враження ядухою (табл.2.6).

Таким чином, ступені ризиків від враження ударною хвилею від вибуху ГПС, токсичними продуктами пожежних газів, токсичними продуктами вибуху є найбільшими (рис.2.9). Зменшити ризик враження ударною хвилею від вибуху ГПС, високою температурою від вибуху ГПС та токсичними продуктами вибуху можна за допомогою управління складом атмосфери

газоповітряної суміші шляхом її флегматизації до безпечного рівня. Паралельно це дозволяє скоротити строк гасіння пожежі. Ризик обвалення в районі зведення перемички можна зменшити за допомогою автоматизованого пристрою для дистанційного зведення безопалубочних конструкцій ізолюючих споруд.

Таблиця 2.5

Хронограма виконання робіт з ліквідації складних підземних аварій у важкодоступних місцях з використанням засобів захисту

Оперативні дії	Тривалість виконання дій, зміни															
	1 доба				2 доба				3 доба				4 доба			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Розвідка																
Зведення перемички №2																
Зведення перемички №1																
Подавання азотної суміші з вмістом кисню 5%																
Подавання азотної суміші з вмістом кисню 2%																

Таблиця 2.6

Результати розрахунку сумарних ризиків і ризиків по зонах під час виконання основних робіт з ліквідації складних підземних аварій у важкодоступних місцях з використанням засобів захисту

Оперативні дії	Основні зони вражень							
	Враження ударною хвилею від вибуху ПГПС	Враження високою температурою від вибуху ПГПС	Враження токсичними продуктами вибуху	Враження токсичними продуктами пожежних газів	Враження високою температурою від пожежних газів	Ядуха	Обвалення в районі зведення перемички	Сумарний ризик по зоні
Розвідка	0,0164	0,0033	0,0657	0,1492	0,0075	-	-	0,2421
Зведення перемички №2	0,0657	0,0131	0,2627	0,5969	0,0298	-	0,0022	0,9705
Зведення перемички №1	0,0328	0,0066	0,1313	0,2985	0,0149	0,0066	-	0,4907
Подавання азотної суміші з вмістом кисню 5%	-	-	-	-	-	0,0131	-	0,0131
Подавання азотної суміші з вмістом кисню 2%	-	-	-	-	-	0,0328	-	0,0328

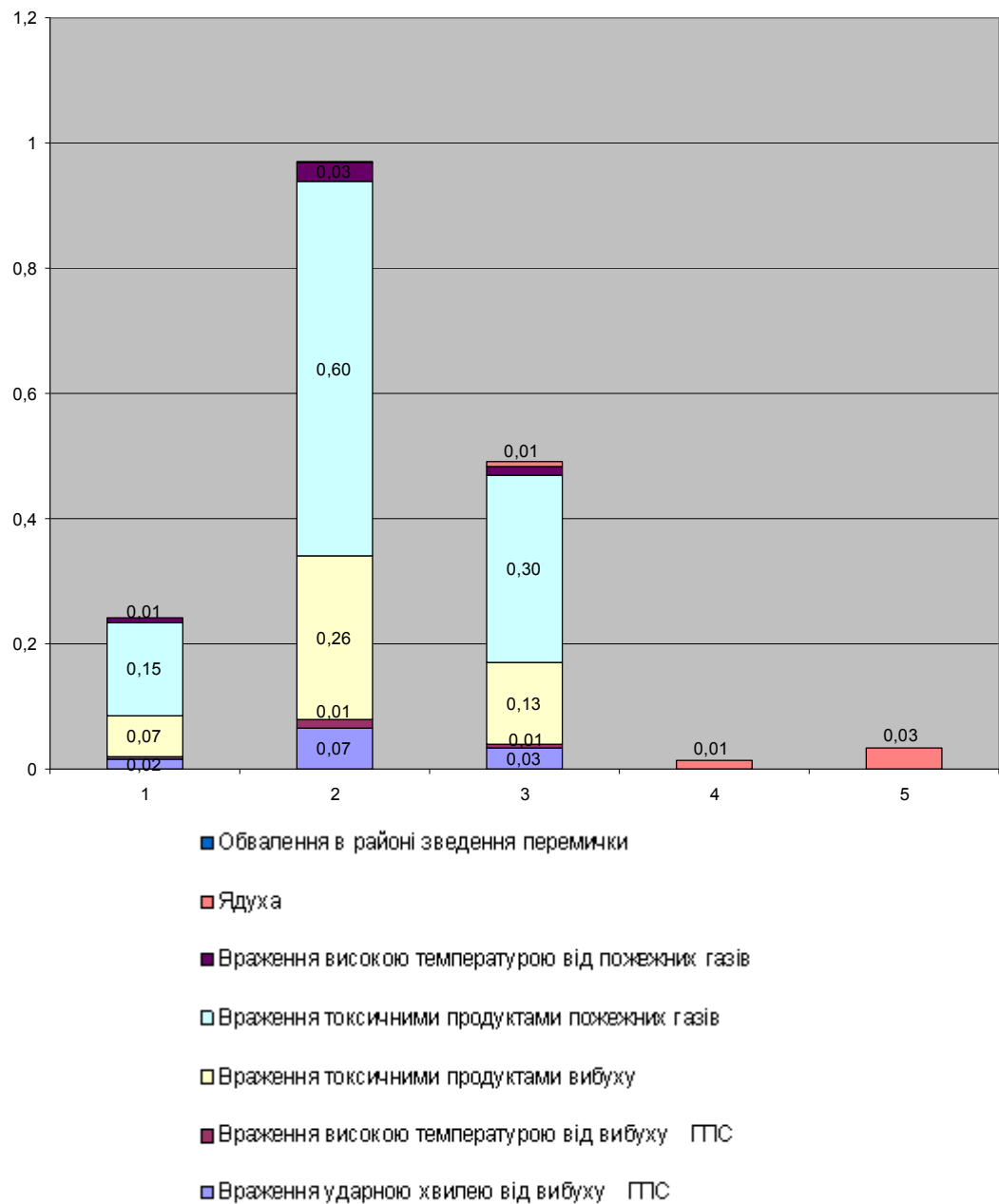


Рис. 2.9. Діаграма ризиків по зонам під час виконання основних робіт з ліквідації складних підземних аварій у важкодоступних місцях з використанням засобів захисту

2.3. Обґрунтування основних напрямків управління ризиками при веденні аварійних робіт

Як свідчать попередні дослідження, основні вражаючі фактори найбільш складних підземних аварій це: ударна хвиля від вибуху ГПС; висока

температура газів після вибуху ГПС і від пожежі; токсичні продукти вибуху ГПС і пожежних газів; ядуха.

Сучасні способи і засоби захисту гірничорятувальників такі, як комплекс противибуховий швидкозводимий типу КПШ; охолоджуючі елементи в респіраторі; протитеплові куртки та костюми; саморятівники та респіратори; агрегати механізованого зведення безврубової перемички дозволяють суттєво знизити ризики враження при ускладненні аварії. Але найбільш суттєвим є використання технологій попередження чинників травмування тобто вибуху.

Проведення аналізу розрахованих ризиків дає можливість сформулювати основні напрямки управління ризиками (таблиця 2.7).

2.4. Висновки

- Розглянуті основні зони вражень гірничорятувальників при ліквідації найбільш складного виду аварії, а саме при гасіння підземної пожежі у важкодоступному місці. При цьому враховані типові для Донбасу гірничо-геологічні та гірничотехнічні обґрунтовано варунки, використання сучасних засобів захисту від дії негативних чинників аварії.

- Вперше встановлено, що ступінь ризику травматизму гірничорятувальників під час праці в умовах потенційного вибуху метаноповітряних сумішей прямо пропорційний протяжності аварійної зони і обернено пропорційний швидкості переміщення людей по цій зоні.

- Вперше для оперативних підрозділів ДВГРС, враховуючи сучасний рівень техніки та технології виконання конкретних видів робіт, визначені чисельні значення ризиків травматизму при, при перевищенні яких аварійні роботи мають бути припинені. Вони складають: від дії повітряної ударної хвилі – 3-16 %; від отруєння токсичними продуктами вибуху – 13-66%; від отруєння пожежними газами – 30-60%. Це дозволило розробити науково обґрунтовані рекомендації по вибору напрямків управління ризиками та забезпечення безпечного гасіння пожеж у важкодоступних місцях.

Основі напрямки управління ризиками

Види ризиків враження	Засоби зменшення ризиків
Ударною хвилею від вибуху ГПС	комплекс противибуховий типу КПШ
Високою температурою від вибуху ГПС	1) охолоджуючий елемент в респіраторі 2) протитеплова куртка 3) протитепловий костюм
Токсичними продуктами вибуху ГПС	1) саморятівник (tзд*=50хв) 2) допоміжний респіратор Р-34 (tзд=120хв) 3) основний респіратор типу Р-30 або РХ-4Е (tзд=240хв)
Токсичними продуктами пожежних газів	1) саморятівник (tзд*=50хв) 2) допоміжний респіратор Р-34 (tзд=120хв) 3) основний респіратор типу Р-30 або РХ-4Е (tзд=240хв)
Високою температурою від пожежних газів	1) охолоджуючий елемент в респіраторі 2) протитеплова куртка 3) протитепловий костюм
Ядуха	1) саморятівник (tзд*=50хв) 2) допоміжний респіратор Р-34 (tзд=120хв) 3) основний респіратор типу Р-30 або РХ-4Е (tзд=240хв) 4) провітрювання тупикової виробки 5) апаратура автоматизації для дистанційного гасіння пожеж
Обвалення порід в районі зведення перемички	1) механізоване зведення перемички 2) зведення безврубової перемички
* tзд – час захисної дії саморятівника або респіратору, хв	

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ВИБУХОВОСТІ ГАЗОВИХ СУМІШЕЙ У ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ

3.1. Теоретичні дослідження вибуховості флегматизованих сумішей повітря та горючих газів

В гірничорятувальній справі для прогнозування вибухонебезпечності шахтного газового середовища прийнято використовувати трикутник вибуховості (діаграма вибуховості) [5, 33], пласку фігуру, яка побудована в координатах «окислювач-горючий газ». Її вершинами є нижня та верхня межі вибуховості даної суміші і пік її спалаху.

Нижньою і верхньою межею вибуховості називають такі концентраційні співвідношення горючих газів і повітря нижче і вище яких суміші не здатні спалахувати і розповсюджувати вибух [5]. Виходячи із визначення, поняття вибуховості і горючості газових сумішей є синонімами, а інтенсивність горіння газоповітряної суміші оцінюють суб'єктивно, виходячи з швидкості горіння і об'єму скупчення, як «спалах», «грюкіт», «вибух».

При наявності у складі суміші декількох горючих компонентів, нижню і верхню межі вибуховості суміші горючих газів визначають за відомою формулою Лешател'є, яка враховує частку кожного з компонентів і межу його вибуховості, % [70, 71]:

$$L = \frac{100}{\frac{p_1}{L_1} + \frac{p_2}{L_2} + \frac{p_3}{L_3}}, \quad (3.1)$$

де L – межа вибуховості (нижня чи верхня) суміші горючих газів, %;

p_1, p_2, p_3 – вміст кожного компоненту в суміші горючих газів, %, що визначається за наступними формулами:

$$p_1 + p_2 + p_3 = 100, \%; \quad (3.2)$$

$$p_1 = \frac{100 \cdot C_1}{C_1 + C_2 + C_3}, \quad p_2 = \frac{100 \cdot C_2}{C_1 + C_2 + C_3}, \quad p_3 = \frac{100 \cdot C_3}{C_1 + C_2 + C_3}, \%, \quad (3.3)$$

де C_1, C_2, C_3 - вміст горючих компонентів в атмосфері аварійної ділянки за результатами аналізу проб повітря, %;

L_1, L_2, L_3 - відповідно нижні чи верхні межі вибуховості кожного з компонентів суміші, %.

Значення інтервалів горючості (вибуховості) для деяких газів зведені в таблиці 3.1. В гірничих виробках вугільних шахт домінують метан, оксид вуглецю і водень.

Піком займання називають таку концентрацію суміші горючих газів, для попередження вибуху якої необхідно максимальне зниження вмісту кисню в атмосфері аварійної ділянки [33]. Координати піку займання газоповітряних сумішей визначають із наступних залежностей:

$$C_{ze} = \frac{100}{\frac{p_1}{L_1} + \frac{p_2}{L_2} + \frac{p_3}{L_3} + \dots + \frac{p_i}{L_i}} \quad (3.4)$$

де: C_{ze} – концентрація горючих газів у піку займання, %:

$$p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_i = 100, \% \quad (3.5)$$

$$p_1 = \frac{C_1 100}{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_i}, \% \quad ; \quad p_2 = \frac{C_2 100}{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_i}, \% \quad ;$$

$$p_3 = \frac{C_3 100}{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_i}, \% \quad ; \quad p_i = \frac{C_i 100}{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_i}, \% \quad (3.6)$$

$$C_{oe} = \frac{C_1 \cdot C_{oe1} + C_2 \cdot C_{oe2} + C_3 \cdot C_{oe3} + \dots + C_i \cdot C_{oei}}{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_i} \quad (3.7)$$

де $C_{oe1}, C_{oe2}, \dots, C_{oei}$ – безпечний вміст кисню у піку займання кожного горючого газу при використанні конкретного флегматизатору, %.

Таблиця 3.1

Значення інтервалів горючості газоповітряних сумішей [5]

Гази	Межі області горючості, %	
	Нижня, L_H	Верхня, L_B
Водень	7,12	66,0
Оксид вуглецю	12,8	75,0
Метан	5,0	15,0
Пропан	2,4	9,5
Бутан	1,86	8,4
Пентан	1,45	6,5
Аміак	15,5	27,0

Порівняння даних таблиць 3.1 і 3.2 показує, що в залежності від умов проведення випробувань діапазони вибуховості сумішей повітря і горючих газів можуть відрізнятися. Так, згідно [33] інтервал вибухових концентрацій метану в повітрі складає 4,3...13,5%, згідно [5] – 5,0...15,0 %. Можна стверджувати, такі розбіжності несуттєві і у першому наближенні ними можна знехтувати.

Таблиця 3.2

Значення піків займання газоповітряних сумішей [53]

Горючі компоненти суміші	Межі вибуховості, %		Пік займання (%) при флегматизації:			
			азотом		діоксидом вуглецю	
	L_H , нижня	L_B , верхня	C_{oe} , по O_2	C_{ge} , по даному газу	C_{oe} , по O_2	C_{ge} , по даному газу
CH ₄	4,3	13,5	10,2	10,5	13,5	5,75
H ₂	4,0	75,0	5,0	5,9	5,9	5,00
CO	12,5	74,0	5,6	13,5	5,9	15,00

Таким чином, при наявності результатів аналізів газових проб існує технічна можливість визначити вершини трикутника вибуховості за допомогою залежностей і оцінити небезпеку вибуху газоповітряної суміші в аварійних гірничих виробках.

У зв'язку з тим, що на оснащення гірничорятувальних підрозділів поступили технічні засоби газового гасіння підземних пожеж (наприклад, мембранних газорозділюючих установок) виникла необхідність скоригувати існуючу методику оцінки вибуховості газоповітряних сумішей, врахувати вплив ін'єкцій флегматизаторів. Особливо важливо мати таку оцінку при гасінні пожеж способом ізоляції у період закриття ляд у ізолюючих спорудженнях, коли внаслідок перехідних вентиляційних процесів можливо виникнення вибухових хмар поблизу вогнища горіння.

Для запобігання ускладнень пожеж вибухом нормативними документам передбачено заповнювати ділянку мережі гірничих виробок, яку ізолювали, парогазовою сумішшю, що є досить кошовно, ускладнює технологію аварійних робіт і збільшує їх тривалість. Найчастіше продуктивності мембранних засобів достатньо, щоб забезпечити безпечні умови ізоляції пожежі, однак визначити це неможливо внаслідок відсутності відповідної методики. Таким чином, актуальним для забезпечення безпеки аварійних робіт є питання оцінки вибухонебезпечності флегматизованих газоповітряних сумішей.

Зручно розглядати газову суміш, що утворюється поблизу вогнища горіння, як трикомпонентну систему, яка складається із окислювача, горючого газу, флегматизатору [72]. Окислювачем, як правило, є кисень. Горючим – метан, оксид вуглецю, водень, їх комбіновані суміші, а також додатки інших горючих газів. Флегматизатори – азот, діоксид вуглецю, водяна пара і їх суміші. При цьому компоненти системи знаходяться у взаємодії:

$$C_o + C_z + C_\phi = 100, \%, \quad (3.8)$$

де C_o, C_z, C_ϕ - відповідно сумарні концентрації окислювача, горючих і флегматизуючих газів, %.

Геометрично таку газову трьохкомпонентну систему можна представити в декартовій системі координат «окислювач-горючий газ-флегматизатор» як площину, що перетинає координатні осі у точках 100% (див. рис. 3.1). Кожному поєднанню компонентів газової суміші відповідає точка на цій площині. Область вибухових сумішей знаходиться всередині трикутника L_{ni}, L_{vi}, E_{II} , де величини L_{ni} і L_{vi} відповідно верхня і нижня межа вибуховості суміші горючого і кисню, E_{II} – пік спалаху. Ці значення відомі за результатами лабораторних досліджень сумішей горючих газів [5, 33].

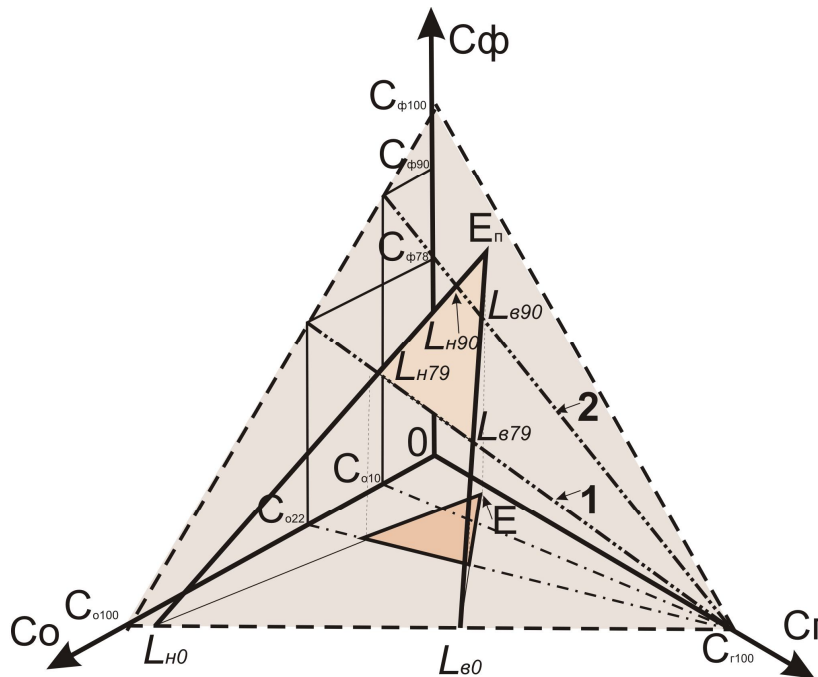


Рис. 3.1. Схема визначення вибуховості трьохкомпонентних газових сумішей:

$C_{oi}, C_{zi}, C_{\phi i}$ - концентрації у складі суміші відповідно окислювача, флегматизатора, горючого газу; L_{ni} і L_{vi} - відповідно нижня і верхня межа вибуховості газової суміші, де i - процентний вміст флегматизатору у складі суміші; E_{II} - пік спалаху суміші за киснем; 1,2 - лінії, що характеризують газові середовища з вмістом кисню відповідно 79 і 90%.

Якщо до газоповітряної суміші додавати флегматизатор, то величина трикутника буде зменшуватися. Так для сумішей із вмістом флегматизатору 79% (повітря) і 90% будуть отримані трикутники $L_{н79}, L_{в79}, E_{II}$ (зазначено кольором) і $L_{н90}, L_{в90}, E_{II}$. Динаміка сумішей окислювача і флегматизатору при розчиненні їх горючим може бути охарактеризована лініями $C_{o79} - L_{н79}, L_{в79} - C_{z100}$ і $C_{o90} - L_{н90}, L_{в90} - C_{z100}$ (див. рис. 3.1). При цьому в інтервалі $L_{ни} - L_{ви}$ газова суміш є вибуховою.

Традиційний трикутник вибуховості є проекцією побудованого нами $\Delta L_{ни}, L_{ви}, E_{II}$ на горизонтальну площину, координати її осей - «окислювач-горюче» (рис. 3.2).

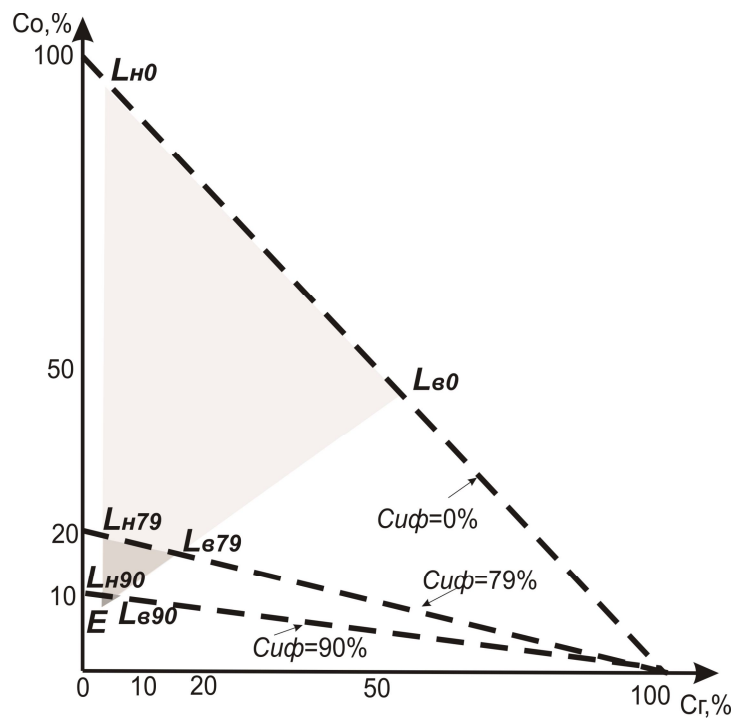


Рис. 3.2. Діаграма формування вибухових газових сумішей при подаванні флегматизаторів до аварійних гірничих виробок:

$C_{иф}$ – вміст флегматизуючих газів у складі повітря, що подається до виробки; інші позначення як на рис. 3.1.

Аналізуючи характер зміни інтервалу вибуховості сумішей із різним вмістом флегматизуючих газів, слід відзначити наступну важливу особливість. Зі збільшенням частки інертних газів у складі суміші інтервал вибуховості

значно скорочується. При цьому нижня межа вибуховості змінюється повільно, динаміка обумовлена зміною верхньої межі.

Динаміка зміни складів газових сумішей, що подаються до вогнища горіння (зображені на рис. 3.1 пунктирними лініями), при виконанні умови (3.8) у загальному вигляді можуть бути представлені наступним рівнянням:

$$\frac{C_z}{100} + \frac{C_o}{100 - C_{uf}} = 1, \quad (3.9)$$

де C_z, C_o, C_{uf} – вміст відповідно горючого газу, окислювача і флегматизатору у складі газової суміші, що поступає до вогнища горіння.

Однак користуватися традиційною діаграмою для розрахунку вибуховості флегматизованих сумішей неможливо тому що при цьому не виконується (3.8). Для обґрунтування розрахункового алгоритму слід розглянути фрагмент $\Delta L_{ni}, L_{ei}, E_{II}$, що представлений на рисунку 3.1, який примикає до вершини E_{II} . (див. рис. 3.3).

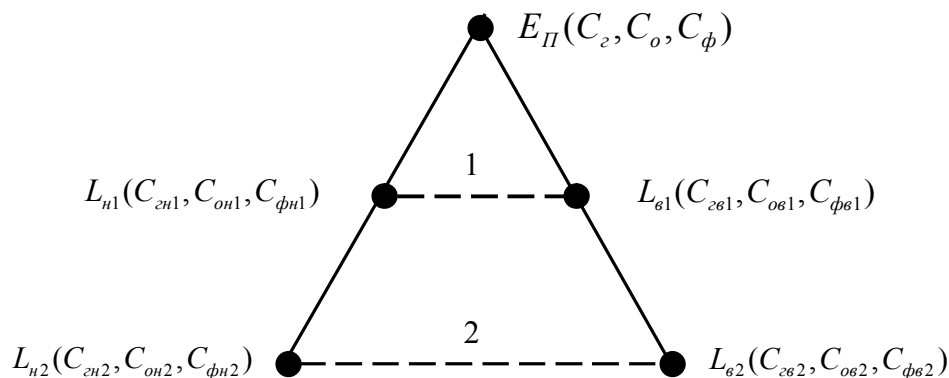


Рис. 3.3. Фрагмент $\Delta L_{ni}, L_{ei}, E_{II}$:

1,2 – відрізки, які характеризують діапазони вибуховості газових сумішей, що мають нижні L_{n1}, L_{n2} і верхні L_{e1}, L_{e2} межі вибуховості із відповідними значеннями концентрацій горючого - C_{zi} , окислювача - C_{oi} , флегматизатору - C_{fi} .

Сторони трикутника $\Delta L_{ni}, L_{ei}, E_{II}$ можна описати математичними залежностями прямих ліній, що проходять через дві крапки. Разом із залежністю (3.8) вони створюють систему із алгебраїчних рівнянь з трьома невідомими:

$$\begin{cases} \frac{C_z - C_{zn1}}{C_{zn2} - C_{zn1}} = \frac{C_o - C_{on1}}{C_{on2} - C_{on1}} = \frac{C_\phi - C_{\phi n1}}{C_{\phi n2} - C_{\phi n1}} \\ \frac{C_z - C_{ze1}}{C_{ze2} - C_{ze1}} = \frac{C_o - C_{oe1}}{C_{oe2} - C_{oe1}} = \frac{C_\phi - C_{\phi e1}}{C_{\phi e2} - C_{\phi e1}} \\ \frac{C_z}{100} + \frac{C_o}{100} + \frac{C_\phi}{100} = 1 \end{cases} \quad (3.10)$$

В свою чергу, кожне рівняння прямої, що проходить через дві крапки, можна перетворити на систему двох лінійних рівнянь. Перша залежність системи (3.10) може бути перетворена наступним чином:

$$\begin{aligned} \frac{C_z - C_{zn1}}{C_{zn2} - C_{zn1}} = \frac{C_o - C_{on1}}{C_{on2} - C_{on1}} = \frac{C_\phi - C_{\phi n1}}{C_{\phi n2} - C_{\phi n1}} = \\ = \begin{cases} (C_z - C_{zn1})(C_{on2} - C_{on1}) = (C_{zn2} - C_{zn1})(C_o - C_{on1}) \\ (C_z - C_{zn1})(C_{\phi n2} - C_{\phi n1}) = (C_{zn2} - C_{zn1})(C_\phi - C_{\phi n1}) \end{cases} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Аналогічно трансформується друга залежність:

$$\begin{aligned} \frac{C_z - C_{ze1}}{C_{ze2} - C_{ze1}} = \frac{C_o - C_{oe1}}{C_{oe2} - C_{oe1}} = \frac{C_\phi - C_{\phi e1}}{C_{\phi e2} - C_{\phi e1}} = \\ = \begin{cases} (C_z - C_{ze1})(C_{oe2} - C_{oe1}) = (C_{ze2} - C_{ze1})(C_o - C_{oe1}) \\ (C_z - C_{ze1})(C_{\phi e2} - C_{\phi e1}) = (C_{ze2} - C_{ze1})(C_\phi - C_{\phi e1}) \end{cases} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Таким чином, рішення задачі вибухонебезпечних властивостей метаноповітряної суміші зведено до визначення координат кінців і довжини відрізків 1 чи 2 (див. рис. 3.3), що знаходяться поміж лініями (3.11) і (3.12).

3.2. Лабораторні дослідження трикомпонентних (пальне-окислювач-флегматизатор) газових сумішей

3.2.1 Мета і завдання досліджень

Метою даних досліджень було у першому наближенні експериментально встановити рівень вмісту азоту, що забезпечує флегматизацію вибухових метаноповітряних сумішей.

Завдання досліджень:

- Розробка методики проведення досліджень по оцінюванню вибуховості суміші метану, кисню і азоту при різному вмісті флегматизуючого компонента (азоту);
- Створення лабораторної установки для визначення вибуховості суміші газоподібних речовин (кисню, метану, азоту);
- Встановлення меж вибуховості суміші метану, кисню і азоту при різному їх вмісті у складі флегматизатору.

3.2.2 Методика досліджень

Перелік використаного обладнання

Для виготовлення сумішей було використано лабораторне обладнання (рис. 3.4), яке складається з дозувального пристрою, вибухової камери для суміші, яка буде досліджуватися, еластичних посудів для газових інгредієнтів, вентилів, проміжної еластичної ємності, електричних контактів, джерела постійного струму 12V [75].

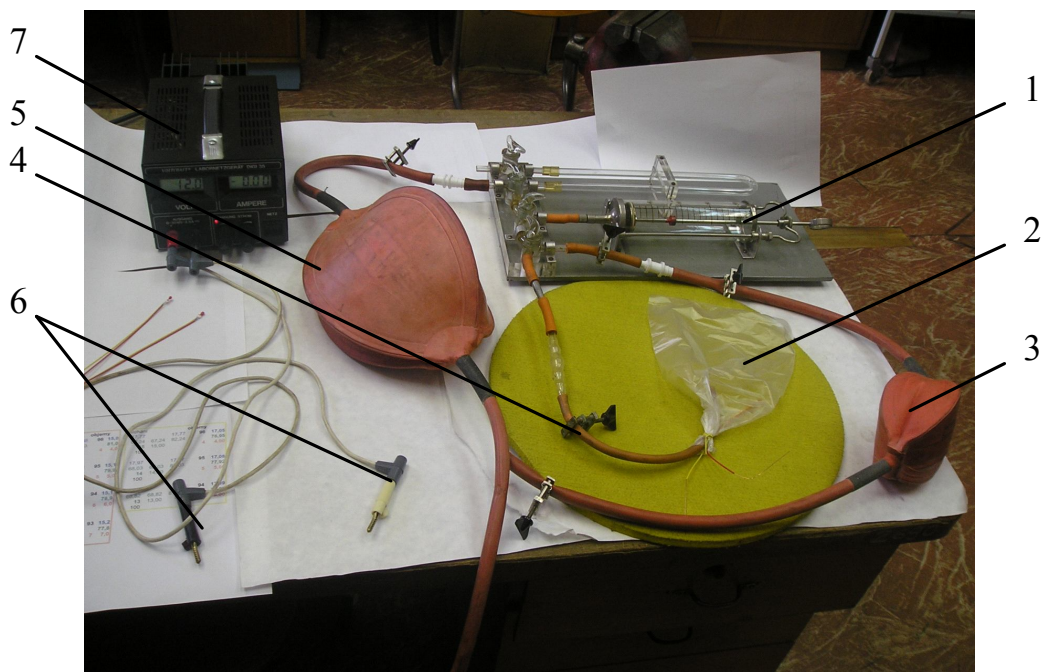


Рис. 3.4. Загальний вид лабораторної установки:

1 – дозувальний пристрій; 2 – вибухова ємність для суміші, яка досліджується; 3 – еластичний посуд для газового інгредієнту; 4 – вентиль; 5 – проміжна еластична ємність; 6 – електричні контакти; 7 – джерело постійного струму 12V.

Еластичні сосуди разом із газом, що досліджується, послідовно з'єднують із дозувальним пристроєм, який за допомогою шлангів приєднаний до проміжної еластичної ємності, а вона у свою чергу із поліетиленовою ємністю для суміші, яка досліджується, обсягом 1000мл, відключення сосудів здійснюється за допомогою вентилів.

Джерело постійного струму за допомогою електричних затисків приєднано до електродетонатору (на рисунку не відображений).

Дозувальний пристрій складається із поршневого насосу, мірного сосуду і клапанного пристрою, що дозволяє відібрати із еластичного сосуду потрібну кількість газу і подавати його у проміжну ємність (рис. 3.5)

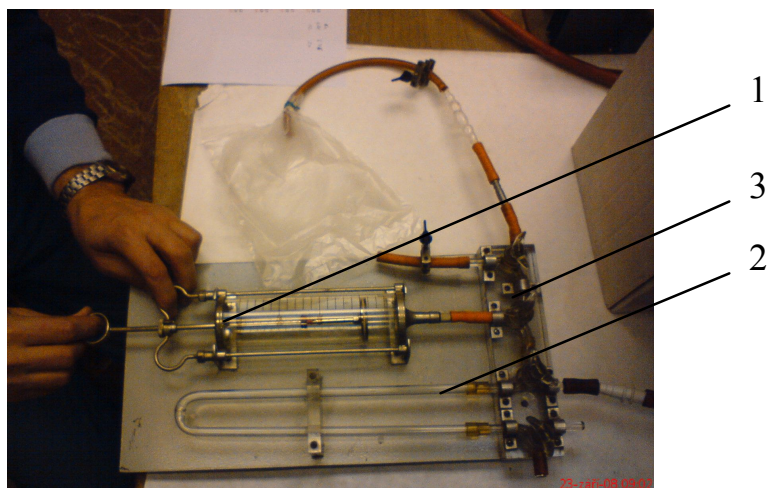


Рис. 3.5. Загальний вид дозувального пристрою:

1 – поршневий насос; 2 – U-подібний мірний посуд; 3- клапанний пристрій.

Приготування газових сумішей

Суміші, що досліджувалися, складалися із наступних інгредієнтів: кисень, метан, азот. Усі компоненти хімічно чисті. Кожен із компонентів, який використовувався для аналізів, закачували в еластичний посуд за допомогою дозувального пристрою. Послідовно в еластичний посуд подавали усі три інгредієнти. Із нього суміш газів проходила через гнучкі трубопроводи, де відбувалося її турбулентне змішування. Після цього здійснювали витримку не менше двох годин при кімнатній температурі для того, щоб додатково відбулося дифузійне змішування газів.

Технологія проведення випробувань

Приготовані суміші досліджувалися у вибуховій ємності на горючість і вибуховість. При цьому було використано два способи ініціювання: джерело відкритого полум'я і електродетонатор, який розміщений у вибуховій ємності.



Рис. 3.6. Ініціювання горіння суміші від джерела відкритого полум'я:
а – загальний вигляд експерименту; б – фрагмент випробувань

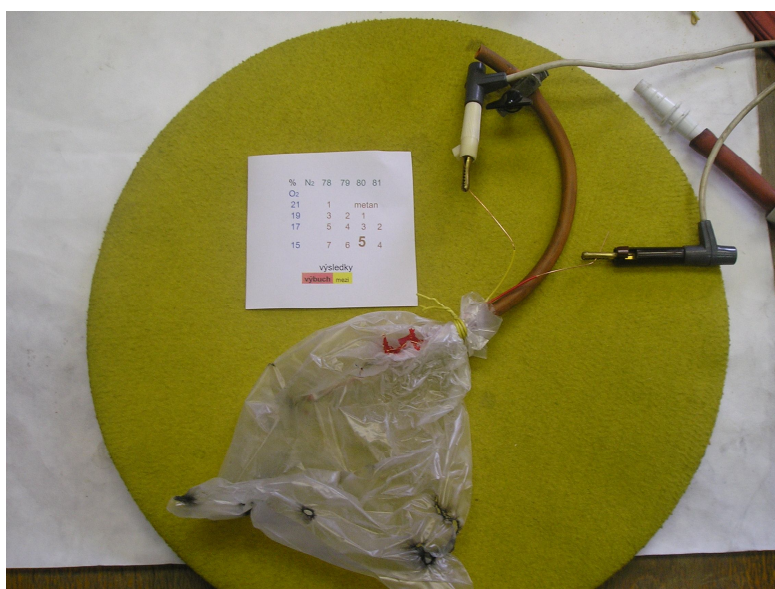


Рис. 3.7. Ініціювання займання суміші електродетонатором, який розміщений у вибуховій камері.

Спосіб ініціювання горіння суміші від зовнішнього джерела відкритого полум'я має меншу активацію енергії ніж спосіб ініціювання займання суміші із розміщеним у вибуховій камері електродетонатором. Обидва ці процеси можуть виникнути в умовах шахти.

Планування експерименту

Експеримент був математично запланований [73, 74]. На практиці у складі суміші вміст метану (або інших горючих і вибухових газів) може змінюватися від 0 до 100%, кисню від 21 до 0%, азоту від 78% до 100% від пропорцій чистого повітря ($C_{CH_4}=0\%$; $C_{O_2}=21\%$, $C_{N_2}=78\%$) до витіснення інших газів одним з компонентів ($C_{CH_4}=100\%$ або $C_{N_2}=100\%$).

Враховуючи попередньо визначені межі вибуховості метаноповітряних сумішей були приготовані і випробувані тричі кожна суміші наступного складу (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Склад сумішей, що досліджувалися.

№ п/п	Вміст газу у суміші, %		
	N_2	O_2	CH_4
1	78	17	5
2	78	15	7
3	79	17	4
4	79	15	6
5	80	15	5
6	81	15	4
7	73	20	6

Результати досліджень

При ініціюванні процесу горіння джерелом відкритого полум'я жодна з приготованих сумішей газів не запалилася. Одна з вибухових ємностей, у яких не було займання, показана на рисунку 3.8.



Рис. 3.8. Відсутність займання газової суміші.

При ініціюванні займання суміші електродетонатором, який був розміщений у вибуховій ємності, було встановлено, що тільки три газові суміші з семи приготованих є вибуховими. На рисунках 3.9-3.12 приведені результати випробувань із використанням електродетонатору.

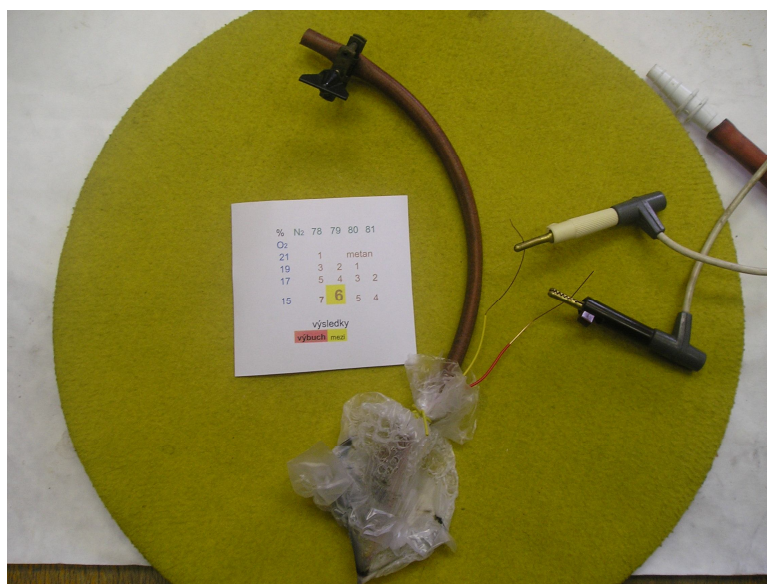


Рис. 3.9. Результат деформації вибухової камери, у якій було 6% метану, 15% кисню і 79% азоту, при ініціюванні займання суміші електродетонатором.



Рис. 3.10. Результат деформації вибухової камери, у якій було 7% метану, 15% кисню і 78% азоту, при ініціюванні займання суміші електродетонатором.



Рис. 3.11. Результат деформації вибухової камери із повітрям при ініціюванні займання суміші електродетонатором.

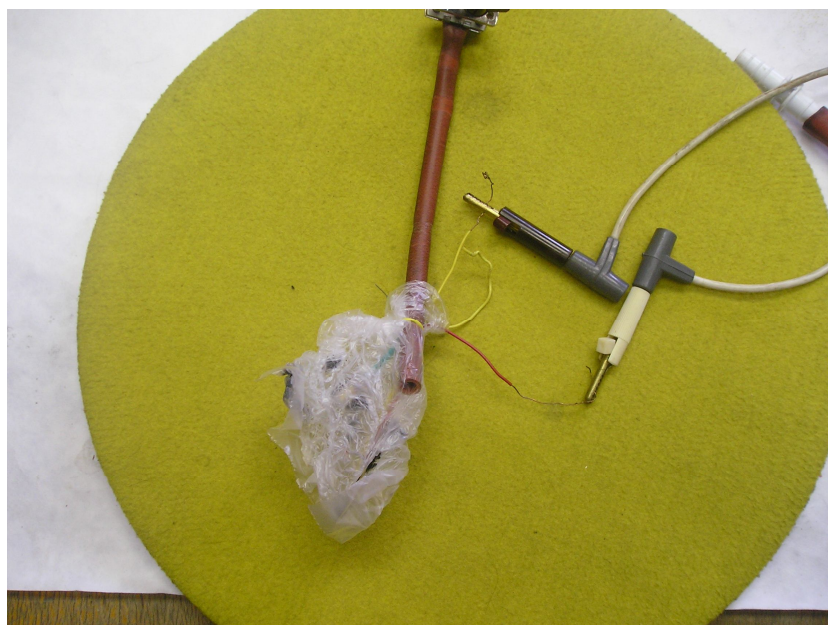


Рис. 3.12. Результат деформації вибухової камери із повітрям, у складі якого було 6% метану, при ініціюванні займання суміші електродетонатором.

Результати випробувань, що були проведені при ініціюванні процесу горіння джерелом відкритого полум'я та ініціюванні займання суміші електродетонатором у вибуховій камері, зведені до таблиць 3.4 і 3.5 відповідно.

Таблиця 3.4

Результати випробувань, що були проведені при ініціюванні процесу горіння джерелом відкритого полум'я

№ п/п	Вміст газу в суміші, %			Результат
	N_2	O_2	CH_4	
1	78	17	5	Суміш не є вибуховою
2	78	15	7	Суміш не є вибуховою
3	79	17	4	Суміш не є вибуховою
4	79	15	6	Суміш не є вибуховою
5	80	15	5	Суміш не є вибуховою
6	81	15	4	Суміш не є вибуховою
7	73	20	6	Суміш не є вибуховою

Таблиця 3.5

Результати випробувань, що були проведені при ініціюванні займання суміші електродетонатором, який був розміщений у вибуховій ємності

№ п/п	Вміст газу у суміші, %			Результат	Темп вигорання
	N_2	O_2	CH_4		
1	78	17	5	Суміш не є вибуховою	-
2	78	15	7	Суміш вибухова	Швидкий
3	79	15	6	Суміш вибухова	Повільний
4	79	17	4	Суміш не є вибуховою	-
5	80	15	5	Суміш не є вибуховою	-
6	81	15	4	Суміш не є вибуховою	-
7	73	20	6	Суміш вибухова	Швидкий

Результати лабораторних досліджень були порівняні із результатами теоретичних досліджень (див. рис. 3.13) і виявилось, що вони майже такі самі.

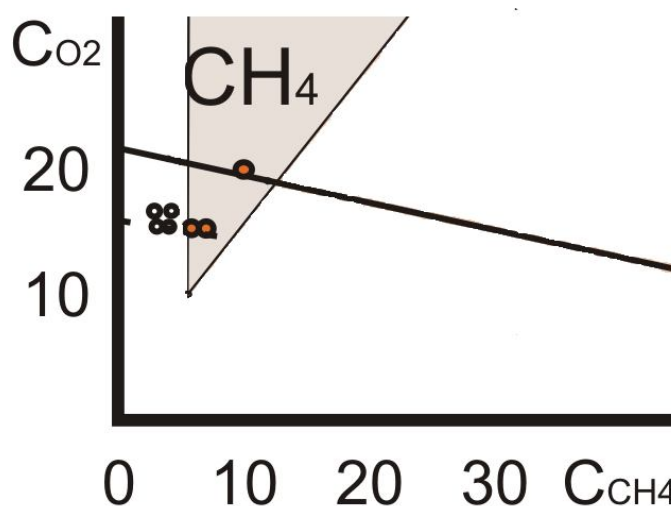


Рис. 3.13. Порівняння теоретичних і експериментальних досліджень:
крапки — результати займання експериментальних газових сумішей
(червоні — суміш вибухова, білі — суміш не вибухова)

3.3.3. Висновки за результатами експерименту

В результаті виконання усього обсягу запланованих робіт було:

- Розроблено методику проведення досліджень по оцінюванню вибуховості суміші метану, кисню і азоту при різному вмісті флегматизуючого компоненту (азоту);
- Створено лабораторну установку для визначення вибуховості суміші газоподібних речовин (кисню, метану, азоту), за допомогою якої були проведені серії експериментів.

У ході виконання експериментів і узагальнення їх результатів, можна зробити наступні висновки:

- Результати ініціювання горіння або вибуху газової суміші залежать від способу ініціювання реакції. Дія малопотужного джерела відкритого полум'я ззовні на вибухову камеру із досліджуємою газовою сумішшю не призвела до займання газів при будь-якому їх процентному вмісті. При випробуванні газової суміші за допомогою електродетонатору, який був розміщений у вибуховій камері, у трьох із семи випробувань суміш виявилася вибуховою.
- Вміст азоту знижує вибухові і горючі властивості газової суміші. Швидкість вигорання газової суміші у вибуховій ємності тим нижче, чим вище вміст азоту в суміші.
- Серії проведених випробувань дали можливість визначити межі вибуховості суміші метану, кисню і азоту при різному вмісті в її складі флегматизатору.

3.3. Механізм формування атмосфери у гірничих виробках в районі вогнища горіння

Можливість створення вибухонебезпечного середовища обумовлена, головним чином, метановиділенням із пласта, що розроблюється, оточуючих його порід, газоносних зближених пластів і пропластків, виробленого простору.

Крім того, джерелом утворення горючих газів є вогнище горіння, у якому одночасно і горінням газифікується и відбувається суха перегонка горючого матеріалу, що супроводжується значним виділенням водню, оксиду вуглецю, метану і його гомологів тощо.

Як правило, вибухи на пожежних дільницях трапляються внаслідок накопичення різноманітної комбінації усіх вищевказаних вибухових компонентів. Іншою важливою складовою є концентрація кисню, як окислювача, необхідного для реакції. Взагалі механізм формування газової обстановки на аварійній дільниці мережі гірничих виробок можна охарактеризувати наступною схемою (рис.3.14).

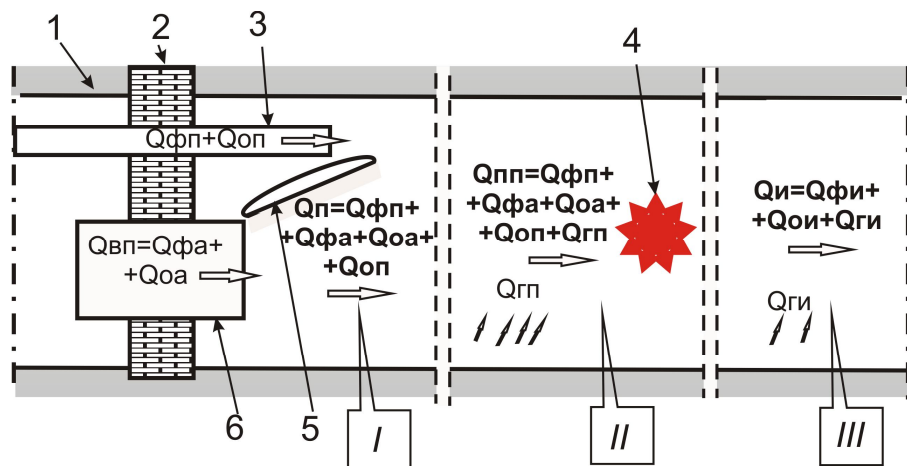


Рис. 3.14. Схема формування газового середовища на аварійній дільниці мережі гірничих виробок:

1- гірнича виробка; 2- ізолююча перемичка; 3- труба для подавання газоподібного флегматизатора; 4- вогнище пожежі; 5- відкрита кришка в прорізі; 6 – проріз в перемичці; I,II,III – області формування газового середовища.

Аварійну дільницю мережі гірничих виробок умовно можна розділити за характером формування і станом газового середовища на три області. У першій (I) області свіже повітря поступає до вогнища горіння і при гасіння пожежі інертний газ. При зведенні у підготовчих виробках ізолюючих споруджень, конструкція останніх передбачає наявність ляд. При відкритих кришках через

ляди поступає приблизно така ж кількість повітря, як і до спорудження перемички. Витрати повітря $Q_{вн}$, що поступають до вогнища горіння, складаються з потоків атмосферного кисню – окислювача Q_{oa} і азоту – флегматизатору $Q_{фа}$. При подаванні в потік повітря інертного газу $Q_{ин}$, що уявляє собою суміш флегматизуючих газів $Q_{фн}$ і залишкового окислювача $Q_{он}$. Обидва потоки змішуються, сумарна витрату газів, що поступають до вогнища горіння:

$$Q'_n = Q_{вн} + Q_{ин} = Q_{oa} + Q_{фа} + Q_{фн} + Q_{он} \quad (3.13)$$

Область перед вогнищем горіння (II) характеризується тим, що до суміші, яка поступає до вогнища горіння, додається потік горючих газів $Q_{зн}$. При цьому сумарна витрата газів у вогнищі горіння складається з:

$$Q'_{nn} = Q_{вн} + Q_{ин} = Q_{oa} + Q_{фа} + Q_{фн} + Q_{он} + Q_{зн} \quad (3.14)$$

Визначення величини $Q_{зн}$ пов'язано з деякими труднощами тому, що провести безпосереднє вимірювання, як правило, неможливо. У якості першого наближення можна зорієнтуватися на вентиляційні розрахунки до аварії і виходячи з них у якості $Q_{зн}$ приймати із запасом витрату усього метану, що виділяється на ділянці.

Область (III), яка розташована за вогнищем горіння, якісно відрізняється від двох попередніх тим, що у вогнищі відбувається хімічне перетворення газоподібних і твердих горючих речовин, та баланс вмісту газів порушується. Окислювач реагує з горючими речовинами і його вміст різко зменшується у складі газів Q_{ou} . Створюються хімічно інертні газоподібні окисли, тим самим збільшуючи вміст флегматизаторів $Q_{фи}$. Крім того, до складу вихідного потоку

можуть додаватися горючі компоненти, що не приймають участь в процесі горіння через недостачу окислювача чи Q_{gi} , які виділилися позаду зони горіння.

$$Q'_u = Q_{\phi u} + Q_{ou} + Q_{gi} \quad (3.15)$$

Процес ліквідації вогнища пожежі полягає на тому, щоб припинити в ньому реакції горіння шляхом створення газової обстановки з низьким вмістом кисню і доведення вмісту горючих газів у суміші до стану, коли буде перевищена її верхня межа горючості. В цьому випадку горючі гази починають виконувати таку ж баластну функцію, як і флегматизатори, забезпечуючи дисипацію теплоти окислювальних реакцій і припинення процесу горіння.

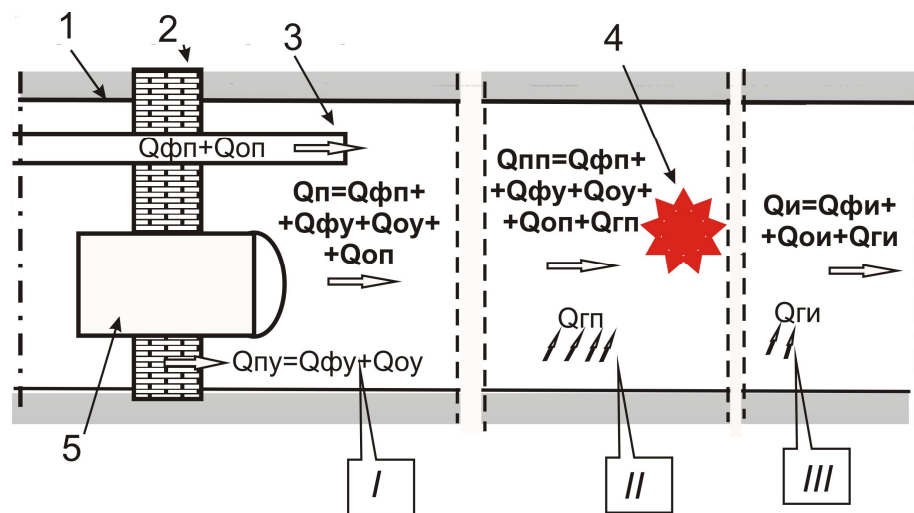


Рис. 3.15. Схема формування газової обстановки на аварійній ділянці мережі гірничих виробок:

1- гірнича виробка; 2- ізолююча перемичка; 3- труба для подавання газоподібного флегматизатора; 4- вогнище пожежі; 5- лядя із закритою кришкою; I,II,III – області формування газового середовища.

Для цього закривають ляди в перемичках, заважаючи потраплянню повітря. На практиці в шахтних умовах це реалізувати практично неможливо і частина повітря проникає в ізольовану ділянку мережі гірничих виробок у вигляді виток через вміщуючі породи, фільтрату через тіло перемички (рис.3.15). При цьому усі вищенаведені залежності газових витрат якісно

залишаються незмінними, тільки замість поступаючого повітря слід оперувати його витоками через перемичку:

$$Q''_n = Q_{ny} + Q_{un} = Q_{oy} + Q_{fy} + Q_{fn} + Q_{on} \quad (3.16)$$

$$Q''_{nn} = Q_{fn} + Q_{fy} + Q_{oy} + Q_{on} + Q_{cn} \quad (3.17)$$

$$Q''_u = Q_{fu} + Q_{ou} + Q_{cu} \quad (3.18)$$

Проведений аналіз формування газової обстановки на аварійних ділянках при відкритих і закритих лядах дозволив скласти графічну інтерпретацію формування вибухонебезпечних скупчень метаногазових сумішей на аварійній ділянці (рис. 3.16).

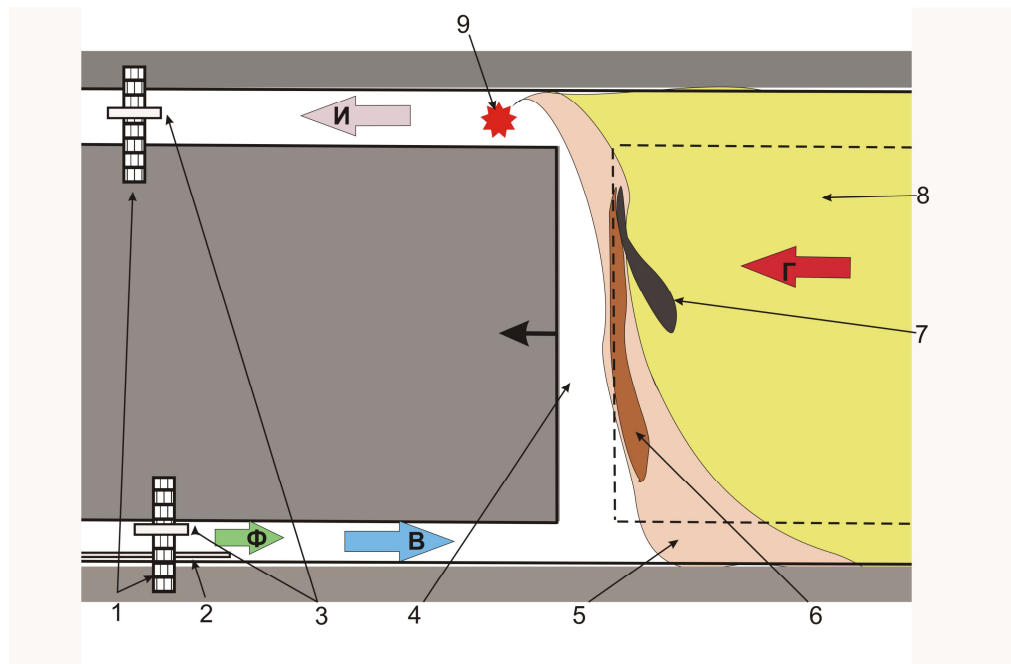


Рис. 3.16. Схема формування вибухонебезпечних скупчень метаногазових сумішей на аварійній ділянці:

1 - ізолюючі перемички; 2 - трубопровід для подавання газоподібного флегматизатора; 3 – прорізи із трубами у перемичках; 4 - очисна виробка; 5,6,7 – вибухонебезпечні скупчення газів, відповідно, без подавання флегматизатора, з подаванням, при закритому проємі у верхній перемичці відповідно; 8 – порожнини у виробленому просторі, що заповнені метаном; 9 – вогнище пожежі

Розглянемо одну з найбільш розповсюджених аварійних ситуацій, коли не вдалося погасити пожежу активним способом у виробленому просторі позаду очисної виробки, і було прийняте рішення перейти до його ізоляції (рис.3.17).

До зведення вибухостійкої ізолюючої перемички був прокладений пневмокабель «Дистоп» для відбору проб в районі вогнища горіння. Відкачували газ по кабелю за допомогою ежекторної установки. Гіпсову вибухостійку перемичку відливали за допомогою агрегату «Моноліт» [32]. У перемичці була вмонтована труба із кришками, а також прокладений металевий трубопровід для подавання газоподібного флегматизатору (азоту) в ізольований обсяг.

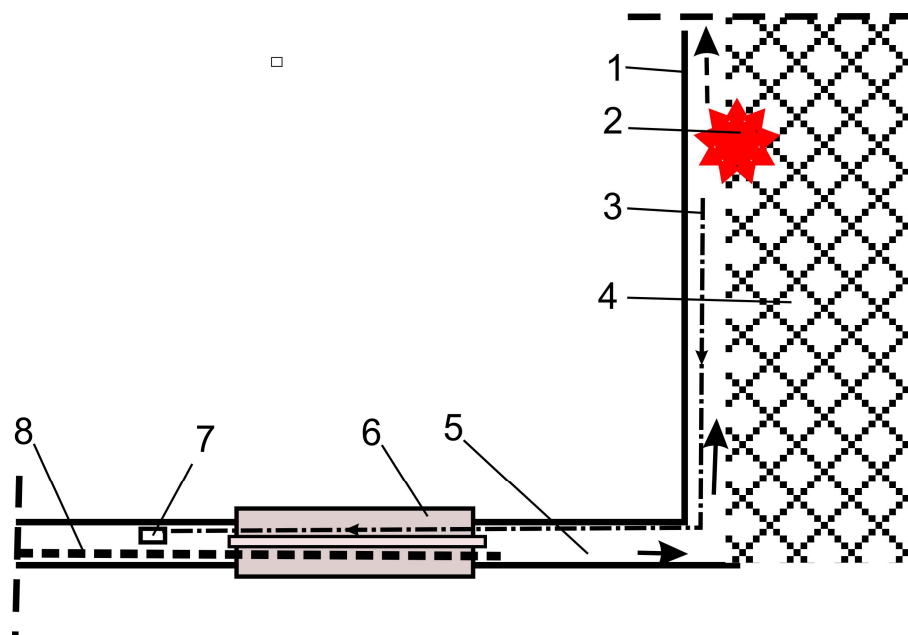


Рис 3.17. Схема відбору проб газів в районі вогнища горіння:

1 – очисна виробка; 2 – вогнище горіння; 3 – пневмокабель; 4 – вироблений простір; 5 – підготовча гірнична виробка; 6 – вибухостійка перемичка із прорізом; 7 - ежекторна установка; 8 – трубопровід для подавання газоподібного флегматизатору.

При відкритих кришках в прорізах перемичок до вогнища горіння потрапляє повітря за рахунок шахтної депресії. Крім того, з вугільного пласта і

виробленого простору поступає метан. Якщо витрата повітря достатня для розбавлення метану нижче безпечної нижньої межі горючості, то загроза вибуху відсутня. Однак, при закритті кришок проємної труби кількість повітря, що поступає до ізолюваного обсягу, скорочується, а витрата метану залишається незмінною. Змішуючись, ці гази можуть створювати вибухонебезпечне середовище. А при достатньо великому обсязі накопиченої суміші наслідки вибуху можуть бути катастрофічними.

Подавання збагаченої азотом газової суміші до вогнища горіння дозволяє знизити обсяг і швидкість окислювання твердих і газоподібних горючих речовин до повного його припинення. Потік інертизованого повітря охолоджує загашені поверхні, запобігаючи рецидивам пожеж після відновлення нормального провітрювання. Важливою характеристикою газів є здатність проникати у важкодоступні місця, куди не можуть потрапити порошкові, пінні і водяні засоби пожежогасіння. Однак діючими нормативними документами не регламентований порядок контролю атмосфери в ізолюємих дільницях мережі гірничих виробок. Зокрема, не визначені способи експрес-оцінки вибухонебезпечності газового середовища в районі вогнища горіння.

Пропонується оцінювати вибухонебезпечність азотно-киснево-метанового газового середовища на підставі показника інтенсивності флегматизації, який визначається за формулою:

$$K_{\phi} = \frac{C_z}{C_{\phi}} \quad (3.19)$$

де C_z і C_{ϕ} – відповідно концентрації горючих і флегматизуючих газів у ізолюваному обсязі.

Фізична інтерпретація показника інтенсивності флегматизації азотно-киснево-метанової газової суміші (K_{ϕ}) уявляє собою відношення теплоти, яка може виділитися при окислюванні горючого, до кількості теплоти, яку здатен поглинути флегматизатор.

Висунуто гіпотезу, що при досягненні достатньо високого показника K_ϕ , становиться неможливою самопідтримуюча реакція окислення, тому що теплота, яка створилася при горінні, розсіюється у флегматизаторі і недостатня для ініціювання окислення сусідніх молекул горючого газу.

У якості базового показника запропоновано використовувати $K_{\phi 0}$, який було визначено для суміші повітря і метану, де інертним середовищем виступає азот у повітрі. Така суміш є найбільш небезпечною внаслідок наявності великої кількості окислювача – кисню, суміші повітря із флегматизуючими газами менш небезпечні. Метан і повітря – найбільш ймовірне поєднання газів в районі вогнища горіння тому що присутність водню і оксиду вуглецю на свіжому струмені виключено, а їх наявність у продуктах горіння від вогнища нейтралізується продуктами окислення вугілля, метану або деревини.

Оцінювання величини $K_{\phi 0}$ проводили у лабораторних умовах. При плануванні лабораторного експерименту керувалися наступними міркуваннями. Суміш газів містить три компоненти: пальне, флегматизатор, окислювач. При цьому їх сумарний вміст складає 100%. У метаноповітряній суміші не може бути кисню більш 21%, азоту більше 79%. Не розглядалися суміші, вміст метану в яких менше 4,5%, як апріорі негорючі. Формально це виглядає наступним чином:

$$\begin{cases} C_\phi + C_o + C_z = 100, \% \\ C_o \leq 21, \% \\ C_\phi \leq 79, \% \\ C_z \geq 4,5, \% \end{cases} \quad (3.20)$$

Згідно з (3.20) були приготовані і досліджені на горючість сім газових сумішей (таблиця 3.6). Методика випробувань передбачала змішування повітря із технічно чистим метаном у необхідних пропорціях, заповнення сумішню еластичної вибухової камери обсягом близько чотирьох літрів, ініціювання займання суміші високотемпературним джерелом, який був розміщений у камері. Результати випробувань оцінювали візуально. При займанні суміші

камера плавилася, порушувалася її герметичність. Займання супроводжувалося звуковими ударами. Коли горіння суміші не було, будь-які пошкодження і деформації камери були відсутні.

Таблиця 3.6

Дослідження горючості газових сумішей із різною інтенсивністю флегматизації

Вміст газів у суміші, %			Інтенсивність флегматизації суміші, K_{ϕ}	Наявність горіння (+, -)
кисень	метан	азот		
13	16	71	0,23	-
15	15	67	0,22	-
16	24	60	0,4	-
16	8	76	0,1	+
16	12	72	0,17	+
18	8	74	0,11	+
17	10	73	0,14	+

Результати випробувань показали, що при показнику інтенсивності флегматизації $K_{\phi}=0,22$ метаноповітряна суміш стає негорючою і ризик її вибуху виключений.

Для уточнення безпечної величини показника флегматизації на підставі даних лабораторного експерименту була побудована графічна залежність показника (K_{ϕ}) і вмісту метану (C_2) у складі суміші (рис. 3.18).

На графіку зображена верхня межа горючості суміші метану і повітря $C_2 \approx 14\%$. Перетинання цієї позначки з лінією тренду дає безпечний показник інтенсивності флегматизації $K_{\phi 0} \approx 0,22$.

Таким чином, можна стверджувати, що у першому наближенні отримано чисельне значення безпечної величини показника флегматизації, при якому суміш повітря і метану є вибухобезпечною. Подавання газоподібного

флегматизатору слід здійснювати у такому режимі, щоб забезпечувалося підтримання K_{ϕ} не нижче встановленої величини 0,22.

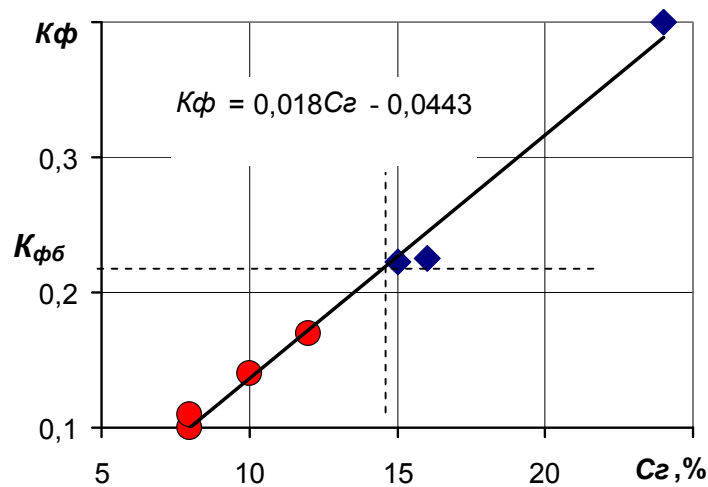


Рис. 3.18. Вплив інтенсивності флегматизації (K_{ϕ}) на горючість суміші повітря і метану ($C_z, \%$):

$K_{\phi б}$ – граничний рівень інтенсивності флегматизації, вище якого суміші не є горючими; кружечки – горючі, ромбики – негорючі суміші

Використання отриманих результатів дає можливість оперативно на підставі аналізу складу газів, що проводиться у підземних умовах, визначити вихідні дані для виконання інертизації і гасіння пожеж способом ізоляції. Слід відзначити, що для більш складних газових сумішей, які містять різні горючі інгредієнти, цей показник слід уточнити.

3.4. Оцінка можливостей автофлегматизації газоповітряних сумішей при гасінні підземних пожеж

Раніше була вказана ідея попередження вибухів із використанням метану, що виділяється у гірничі виробки, і створення вибухонебезпечного метаноповітряного середовища. Практичну можливість і ефективність такого прийому ілюструє аналіз ходу ведення аварійно-рятувальних робіт і

ефективності аварійних вентиляційних маневрів в ході ліквідації пожежі на шахті «Південнодонбаська» №3 у травні-червні 2001р. [76].

Схема провітрювання шахти – комбінована, спосіб – всмоктуючий. Провітрювання гірничих виробок здійснюється вентиляторами головного провітрювання ВЦД-47У, які встановлені на вентиляційному і скіповому стволах. Провітрювання виїмочної ділянки 11-ї західної лави пласту c_{13} здійснювали по зворотній схемі із відокремленим відведенням метану на гор.824м (рис 3.19).

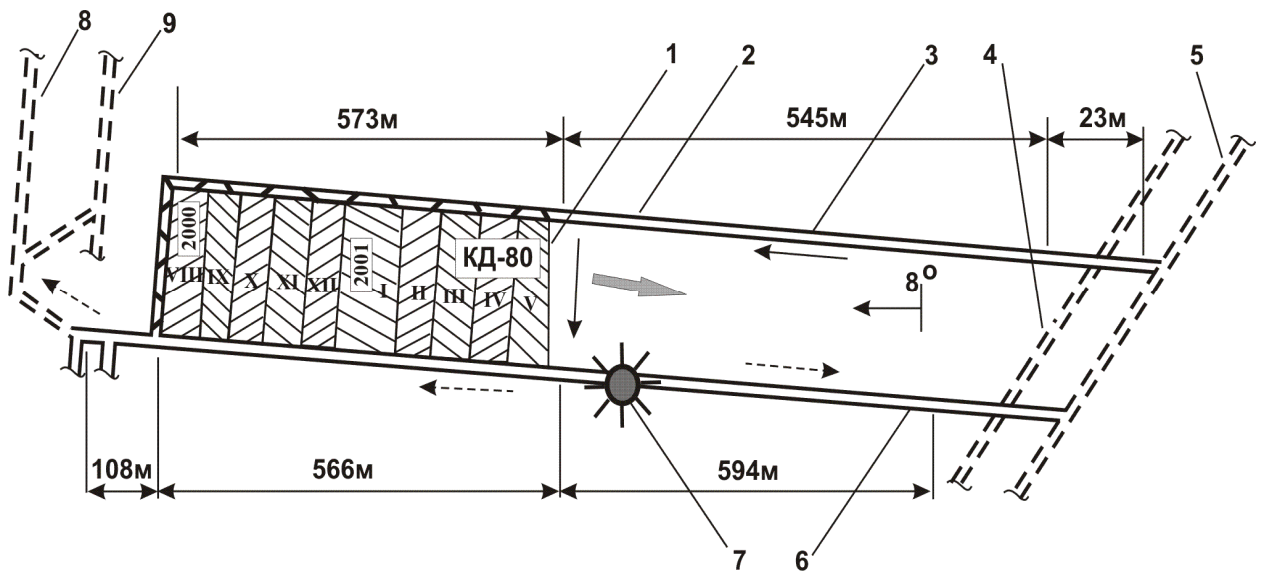


Рис. 3.19. Схема виробок аварійної ділянки:

1 – 11-а західна лава пласту c_{13} ; 2 – розташування розподільного пункту №1; 3 – повітряподаюча виробка 11-ї західної лави пласту c_{13} ; 4 – західний польовий магістральний конвеєрний штрек гор. 624 м; 5 – західний польовий магістральний відкаточний штрек гор. 624 м; 6 – конвеєрна виробка 11-й західної лави пласта c_{13} ; 7 – місце виникнення пожежі в районі розподільного пункту № 2; 8 – західний польовий вентиляційний штрек гор. 824 м; 9 – західний польовий дренажний штрек гор. 824 м

Свіжий струмінь повітря поступав у шахту по повітряподаючому стволу, проходив по виробкам приствольного двору гор.642м, західному польовому магістральному відкаточному штреку гор.624м на повітряподаючу виробку 11-ї західної лави пласта c_{13} і по цій виробці до лави. До лави потрапляло $537\text{м}^3/\text{хв}$.

У виходячий струмінь виїмочної ділянки 11-ї західної лави пласта c_{13} потрапляло $358\text{м}^3/\text{хв}$. повітря. Його подавали по конвеєрній виробці до 11-ї західної лави пласта c_{13} , з неї через вентиляційний ходок на західний польовий магістральний конвеєрний штрек гор.624м. Після цього він проходив по західному польовому магістральному конвеєрному штреку гор.624м до конвеєрної виробки 9-ї західної лави пласта c_{11} та через неї на вентиляційну виробку 3-ї західної лави пласта c_{10} . Далі виходячий струмінь потрапляв на вентиляційну виробку 9-ї західної лави пласта c_{11} , по ній на західний польовий вентиляційний штрек гор.824м. а потім на вентиляційний ствол. Від очисної виробки по непідтримуємі частині конвеєрної виробки 11-ї західної лави пласта c_{13} метаноповітряну суміш ($179\text{м}^3/\text{хв}$) подавали з лави до квершлягу.

О 4год. 30хв. 01.06.2001 робочі, які доставляли матеріали, відкривши вентиляційні двері у конвеєрну виробку 11-ї західної лави, відчули запах гарі і побачили дим.

За результатами розслідування, найбільш вірогідним джерелом пожежі було пошкодження кабелів: гнучкого марки КГЭШ $3\times 50 + 1\times 10 + 3\times 2.5$, або броньованого СБН – 3×50 , який використовувався для електропостачання розподільного пункту конвеєрної виробки 11-ї західної лави пласта c_{13} .

На момент виникнення аварії в шахті знаходилося 611 людей, у виробках – 21 людина. Електроенергію на аварійній ділянці відключено, вентилятори головного провітрювання працювали в нормальному режимі. Газова обстановка невідома. Заходи плану ліквідації аварії виконували.

Надалі відбулося ускладнення ходу аварійних робіт, оскільки пожежа поширилася за рахунок горіння дерев'яних елементів кріплення: затяжок, кострів на брівці лави у виробленому просторі, дерев'яних клітей, що заповнюють вивали на сполученні лави з вентиляційною виробкою. Вигорання

дерева і розігрівання вуглефікованих сланців, що залягають в покрівлі пласта, привели до обвалення порід покрівлі в лаві, в частини конвеєрної виробки 11-ї західної лави, яку підтримували і погашали.

У 12год 25хв у виробленому просторі почалися хлопки палаючого метану. Лабораторний аналіз шахтного повітря в західному польовому вентиляційному штреку гор. 824м на 12год 58хв (CO 0,5%; CO_2 7,8%; CH_4 10%; O_2 9,6%; H_2 0,2%; $t = 24^\circ\text{C}$) показав (рис. XX.X2, точка 1), що склад газової суміші в районі вогнища горіння близький до піку вибуховості.

До 13год 35хв у виробленому просторі лави підсилювалися хлопки метану, тому аварійну ділянку ізолювали гіпсовими вибухостійкими перемичками (із проємами) у наступних виробках: повітряподаюча виробка 11-ї західної лави пласта c_{13} у 25м від бункеру; конвеєрна виробка 11-ї західної лави пласта c_{13} у 25м від бункеру; західний вентиляційний штрек гор. 824м.

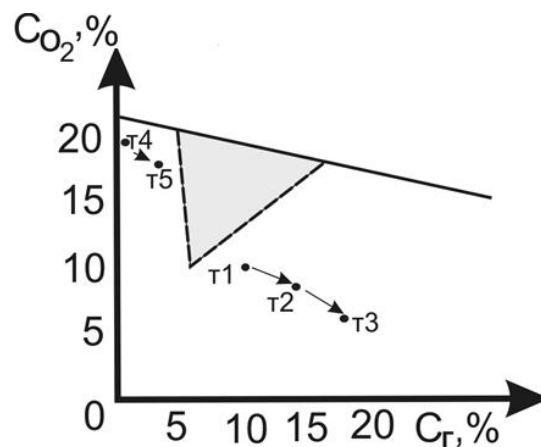


Рис. 3.20. Динаміка газової обстановки у виробках аварійної ділянки: західний польовий вентиляційний штрек гор. 824м (точки 1, 2, 3); конвеєрна виробка 11-ї західної лави пласта c_{13} (точки 4, 5); C_{O_2} і C_r – концентрації відповідно кисню і горючих газів; виділений усереднений трикутник вибуховості

Для зменшення швидкості розповсюдження пожежі провели заходи щодо скорочення витрати повітря в конвеєрній виробці 11-ї західної лави пласта c_{13} .

Для цього відкрили вентиляційні двері у квершлагоу на 9-у західну лаву пласта c_{13} . Витрата повітря у повітряподаючій виробці 11-ї західної лави $Q = 600 \text{ м}^3/\text{хв}$, у конвеєрній виробці 11-ї західної лави (вище лави) $Q = 450 \text{ м}^3/\text{хв}$.

О 19год 00хв змінено напрямок провітрювання конвеєрної виробки 11-ї західної лави пласта c_{13} . О 2год 20хв 03.06.2001 витрата повітря на аварійній ділянці у повітряподаючій виробці 11-ї західної лави пласта c_{13} складав $60 \text{ м}^3/\text{хв}$., в конвеєрній виробці 11-ї західної лави пласта c_{13} після перекидання струменю $40 \text{ м}^3/\text{хв}$.

Склад шахтного повітря у західному польовому вентиляційному штреку гор.824м у перемички став менш вибухонебезпечним (див рис 3.20, точка 2): CO_2 6,7%; CH_4 13%; O_2 7,8%; CO 0,6%; H_2 0,9%; $t = 30^\circ\text{C}$. При низькій витраті повітря і інтенсивному метановиділенні відбувалася автофлегматизація газоповітряної суміші в районі вогнища горіння, коли співвідношення горючих, інертизуючих і окислювальних компонентів визначало неможливість горіння.

Зниження витрати повітря на аварійній ділянці сталося через завали, які перекривали понад 70% перерізу і визначили збільшення аеродинамічного опору гірничих виробок, а також протидії тепловій депресії в аварійній виробці. Склалися умови, що дозволяли вести активне гасіння пожежі пінними засобами без загрози ускладнення обстановки вибухами. Однак нормативними документами не передбачено ведення аварійних робіт в такій газовій обстановці. Не було можливості автоматизувати процес збору та оперативної обробки інформації про газову обстановку в аварійних виробках. Тому 03.06.2001 о 11год 45хв прийняли рішення відновити колишній режим провітрювання при інертизації повітря в аварійній ділянці за допомогою генератора ГГ-4, який пропрацював розрахунковий час (4год).

Закачувати гіпсовий розчин вибухостійкої перемички №3 почали 04.06.2001. Газова обстановка в конвеєрній виробці 11-ї західної лави пласта c_{13} у парусної перемички: CO_2 1,1%; O_2 19,8%; CH_4 0,2%; CO 0,03%; H_2 0,0%; $t=56^\circ\text{C}$ (див.рис.3.20, точка 4). До 15год 55хв навісили вентиляційні труби до позначки 600м, у районі відмітки 620м виявили вогнища горіння пласта по лівій

стороні виробки протягом 25м. Гасити їх почали за допомогою пожежних пік.

Роботи по видаленню з виробки охолодженого вугілля і завалених порід були організовані незадовільно. Значну частину перерізу аварійної виробки захарастила кускова та маса, що ускладнювало ведення робіт та провітрювання робочої зони, сприяло рецидивним спалахам вугілля. У 16год 50хв 21.06.2001 через вихід з ладу ВМП сталося загазування виробки у місця ведення робіт(більше 2% метану). Вирішили інертизувати середовище на аварійній дільниці за допомогою генератора ГІГ-4.

Склад шахтного повітря:

- західний польовий вентиляційний штрек гор.824м із-за перемички №3 9год 40хв: CO₂ 8,2%; CH₄ 17,0%; O₂ 5,7%; CO 0,22%; H₂ 0,0% (див. рис. 3.20, точка 3);

- конвеєрна виробка 11-ї західної ави пласта c₁₃ (у місця робіт) 17год 10хв CO₂ 2,0%; CH₄ 2,3%; O₂ 17,2%; CO 0,15%; H₂ 0,0%; t=45°C (див. рис. 3.20, точка 5). При цьому погіршилася газова обстановка у конвеєрній виробці, склад газової суміші наближався до трикутника вибуховості.

У зв'язку з неможливістю забезпечення безпеки робіт в аварійній виробці було прийнято рішення інертизувати середовище на аварійній дільниці з наступною ізоляцією аварійної ділянки вибухостійкими перемичками. Подальше гасіння пожежі вели відповідно до проекту гасіння пожежі, суть якого полягала в прискореному охолодженні і гасінні вогнища горіння рециркуляцією пожежних газів в ізольованому обсязі. Позитивних результатів досягнуто не було.

Аналіз ходу ведення аварійних робіт на шахті «Південнодонбаська » №3 при локалізації та гасінні підземної пожежі у важкодоступному місці показав, що автофлегматизація газоповітряних сумішей могла б застосовуватися як самостійний тактичний прийом для забезпечення безпечних умов роботи рятувальників і гірників.

Неодмінна умова автофлегматизації – високий рівень підготовки та реалізації оперативних планів, тобто чітка робота командного пункту і

керівників ліквідації аварії; систематичний контроль і прогноз газової обстановки в аварійних гірничих виробках; надійний оперативний зв'язок з підземними базами, відділеннями ДВГРС та формуваннями ВГК; можливість автоматизації технологічних операцій з гасіння пожежі.

3.5. Висновки

- Розроблено методику для теоретичного визначення вибуховості трикомпонентних газових сумішей (пальне – окислювач – флегматизатор).

- Проведено лабораторні дослідження вибуховості газових сумішей, що складаються з метану, кисню і азоту.

- Порівняно результати теоретичних і лабораторних досліджень. Результати експерименту підтвердили справедливність запропонованої теоретичної методики визначення вибуховості газової суміші.

- Встановлено явище змінення значень верхньої межі займання метаноповітряної суміші у залежності від концентрації азоту. При збільшенні вмісту азоту в суміші на 1,5-2 %, значення межі знижується на 1%, що може служити підставою для створення експрес-методу розрахунку параметрів флегматизації аварійних ділянок.

- Розглянуто механізм формування газового середовища на аварійній ділянці при відкритих і закритих кришках у прорізах перемичок і представлено схему формування вибухонебезпечних газових скупчень на аварійній ділянці.

- Встановлено, що коефіцієнт флегматизації атмосфери в районі вогнища горіння після закриття прорізів у перемичках визначається відношенням теплоти, яка може виділитися при окислюванні пального, до кількості теплоти, яку здатен поглинути флегматизатор. Визначено мінімальне безпечне значення коефіцієнту флегматизації $K_{\phi}=0,22$ для метаноповітряних сумішей, яке слід враховувати для розрахунку часу розкриття пожежної ділянки і зниження якого приведе до вибуху та травмування гірничорятувальників.

- Результати теоретичних і лабораторних досліджень знайшли підтвердження при ретроспективному аналізуванні ходу ліквідації пожежі на прикладі аварії в шахті «Південнодонбаська №3». Доказано на практиці можливість автофлегматизації атмосфери в районі джерела горіння за рахунок забезпечення надлишку метану і досягнення при цьому вибухобезпечного стану метаноповітряної суміші.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОЇ ФЛЕГМАТИЗАЦІЇ ПОВІТРЯ У ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ МІСЦЯХ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕМБРАННИХ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ УСТАНОВОК

Одним з найбільш перспективних способів попередження, локалізації і гасіння складних пожеж у шахтах є інертизація атмосфери аварійної ділянки, під якою розуміють штучне зниження концентрації кисню в атмосфері гірничих виробок шляхом подачі до неї інертного газу. Інертизація за допомогою газоподібного азоту дозволяє вирішити наступні задачі в ході ліквідації підземної аварії: скоротити термін ліквідації аварії; запобігти вибухам газоповітряної суміші на аварійній ділянці; прискорити охолодження високотемпературної зони до безпечного рівня; скоротити до мінімуму або цілком припинити процес горіння.

Рекомендовано застосовувати газоподібний азот у наступних випадках:

- при ізоляції пожежних ділянок, а також при ізоляції в сполученні з різними способами прискорення процесу охолодження вогнища пожежі (рециркуляція, періодична зміна напрямку руху пожежних газів тощо) для попередження вибухів і припинення горіння;
- при ліквідації пожеж у горизонтальних тупикових виробках будь якої довжини, у випадку подачі азоту в тупикову частину по трубопроводу (можливий варіант подачі азоту через вентилятори місцевого провітрювання і вентиляційні трубопроводи);
- при веденні підливних робіт у гірничих виробках для створення інертного середовища в місці вибуху;
- для попередження ендегенних пожеж у скупченнях вугілля, що утворилися в результаті раптових викидів або з інших причин.

4.1. Обґрунтування безпечних тактичних прийомів по зниженню витоків повітря до ізолюваною аварійної ділянки.

Способи і засоби подачі азоту вибирають, виходячи з гірничотехнічних умов, наявності технічних засобів подачі азоту, прийнятої технологічної схеми подавання його у гірничі виробки аварійної ділянки і обраного способу ліквідації аварії. Для цього, як правило, використовують рідкий азот і установки для його газифікації. Застосування рідкого азоту стримують властиві цій технології недоліки: необхідність застосовувати складне дороге криогенне обладнання; складність, дорожнеча транспортування і збереження, значні втрати при цьому; витрати енергії на газифікацію тощо [77-79].

Більш прогресивним представляється спосіб одержання газоподібного азоту безпосередньо на шахті за допомогою пристроїв, що розділяють повітря на складові його компоненти – газорозподільних станцій. Українськими дослідницькими організаціями і виробничими підприємствами створена потужна пересувна установка, яка призначена для одержання з атмосферного повітря газоподібного азоту, що може використовуватись для попередження, локалізації і гасіння підземних пожеж у шахтах, забезпечення безпеки ведення гірничих робіт, а також для інших пожежовибухонебезпечних технологій у народному господарстві.

Азотно-компресорна (див. рис. 1.8) станція встановлюється на поверхні шахти і з'єднується спеціально прокладеним або технологічним шахтним трубопроводом з аварійною ділянкою.

У залежності від гірничотехнічних умов, наявних технічних засобів подачі азоту і прийнятої схеми випуску його в ізолюваний простір визначається відповідний порядок роботи азотно-компресорної станції і підготовчих операцій, зв'язаних з доставкою газоподібного азоту в аварійну ділянку.

Шахтний технологічний трубопровід спеціально готують для подачі газоподібного азоту. З цією метою усі відгалуження від основної магістралі

(трубопроводи, що йдуть на інші ділянки, відводи) перекривають і на кожному відводі встановлюють заглушки. Це робиться для запобігання витоків азоту і загазування їм інших експлуатаційних ділянок шахти.

Перед подачею азоту оглядають трубопровід і усувають виявлені недоліки. Після цього здійснюють пробний випуск азоту, виявляють місцеві витoki та усувають їх. По відповідних методиках розраховують параметри подавання азоту в аварійну ділянку. При цьому подавання азоту може здійснюватися з боку відкаточного або вентиляційного штреків, через прорізи в ізолюючих перемичках, а також по свердловинах, які пройдені з поверхні до ізолюваної пожежної дільниці.

Однак, досвід застосування газорозподільних установок при ліквідації підземних аварій на ОП «Шахта ім.О.Ф.Засядька» в Донецьку, ім.Ф.Е.Дзержинського ГП «Ровенькіантрацит» і інших показав, що домогтися ефективного придушення вогнищ горіння з їхньою допомогою та застосуванням існуючих технологічних прийомів не вдається.

Проблема полягає в тому, що в отриманому з працюючих в оптимальному режимі мембранних установок азоті міститься до п'яти відсотків кисню. Крім того, кисень в ізолюваний обсяг надходить у виді витоків повітря, що фільтрується через тіло перемички і тріщини в породах виробки (рис. 4.1). Концентрація кисню в ізолюваному перемичками обсязі зростає до 10% і більше, при цьому не забезпечується необхідний для придушення тліючого горіння склад газової суміші, у якій вміст кисню не повинний перевищувати 1...2%.

У зв'язку з цим виникла необхідність удосконалення існуючої технології інертизації гірничих виробок за допомогою мембранних газорозподільних станцій з метою зменшення кількості проникаючого до ізолюваного об'єму повітря.

Для досягнення даної мети були сформульовані наступні завдання:

- вивчити існуючі схеми подавання повітря та інертного газу до вогнищ горіння або самонагрівання та визначити шляхи зниження витоків кисню до ізолюваного обсягу;

- розробити технічні рішення щодо забезпечення ефективної ізоляції підземних пожеж.

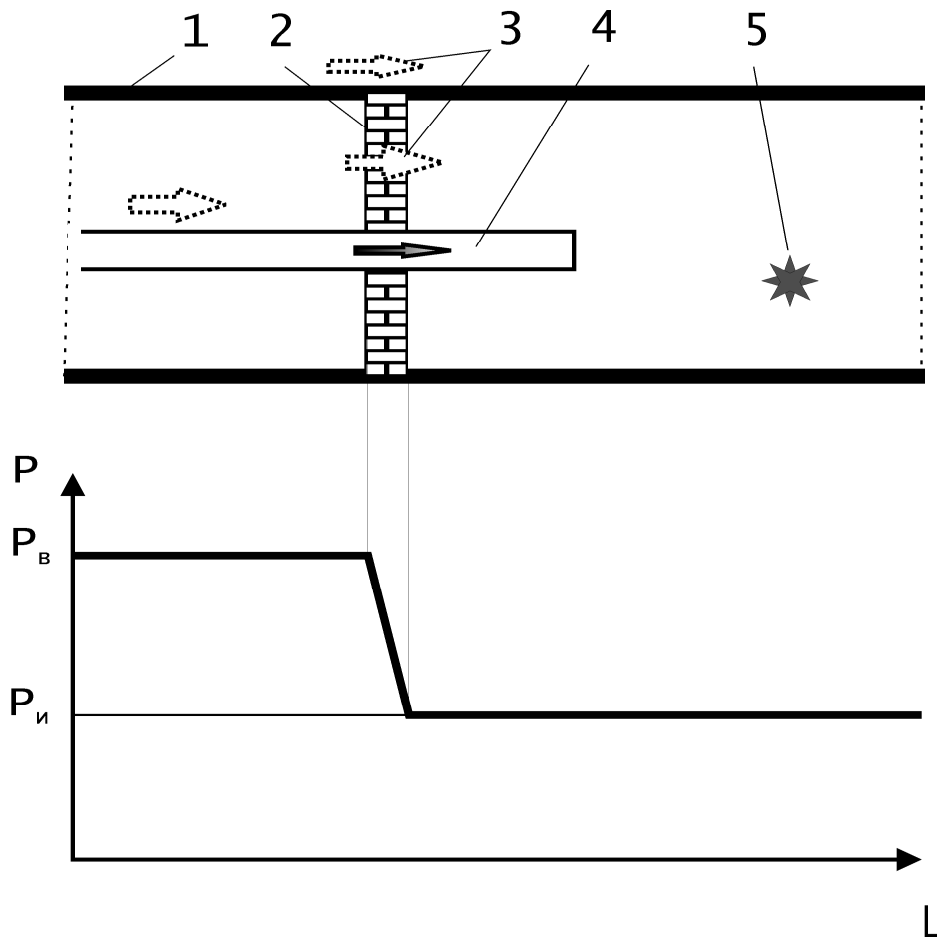


Рис. 4.1. Схема подавання інертного газу до вогнища горіння і графік розподілу тиску газу у виробці:

1 – виробка; 2 – ізолююча перемичка; 3 – витоки повітря крізь перемичку та гірничі породи; 4 – трубопровід для подавання інертного газу; 6 – вогнище горіння; P_B , P_H - відповідно тиск повітря до і за ізолюючою перемичкою

Як показали результати аналізу діючих нормативних документів та матеріалів, які пов'язані з ліквідацією пожеж, при інертизації видобувних

аварійних гірничих виробок встановлюють ізолюючи перемички збоку свіжого струменя повітря і збоку вихідного струменя, витоки повітря обумовлені перепадом (депресією) тиску вентиляційного струменю між ізолюючими перемичками.

Основними чинниками, що призводять до виникнення перепаду тиску, є робота вентиляційних установок головного та місцевого провітрювання, а також дія теплової депресії, що викликана геотермальним нагріванням повітря у виробках, або тепловіддачею вогнища горіння. Рівень депресії на аварійній ділянці не є стабільним, його коливання обумовлені змінами атмосферного тиску, які викликані зрушеннями порід у виробленому просторі, відкриттям шлюзів, вибуховими роботами та іншими чинниками перехідними процесами у шахтній вентиляційній мережі, розвитком або затуханням пожежі та ін. Для зниження депресії використовують так звані камери вирівнювання тиску (КВТ) у яких за рахунок використання енергії вентиляторів місцевого провітрювання нейтралізують перепад тиску між ізолюючими перемичками. Громіздкість цих споруд не дозволяє забезпечити точне і оперативне регулювання тиску, а також призводить до додаткових втрат енергії.

На нашу думку, більш надійним, компактним та ефективним засобом ізоляції може бути технологія, в якій джерелом протитиску є енергія потужних компресорів газорозділюючої станції. Її використання дозволяє перенести перепад тиску на ізолюючу перемичку яка розділює ділянки виробки заповнені азотом, це дозволяє замінити витоки повітря витоками азоту, що забезпечує якісно новий підхід до інертизації вогнищ горіння за допомогою мембранних установок (рис. 4.2).

Розглянемо деякі технічні рішення, що дозволяють реалізувати таку технологію.

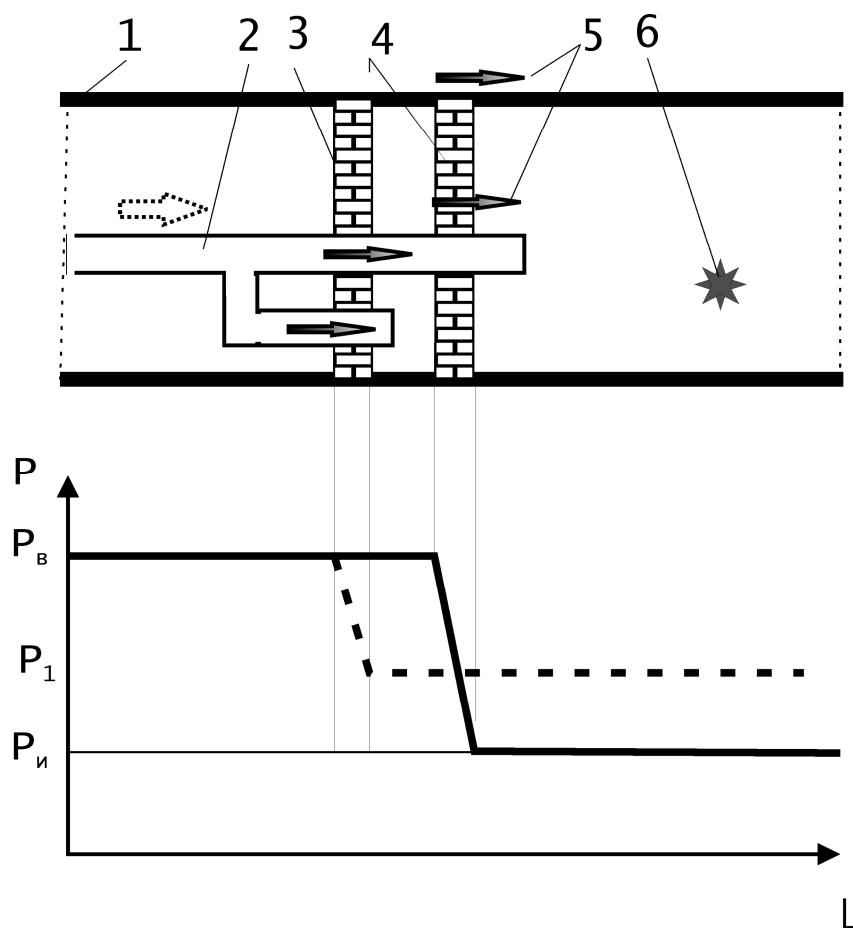


Рис. 4.2. Схема подавання інертного газу до вогнища горіння і графік розподілу тиску газу у виробці:

1 – виробка; 2 – трубопровід для подавання інертного газу; 3, 4 – основна та додаткова ізолюючі перемички; 5 – витоки азоту крізь перемичку та гірничі породи; 6 – вогнище горіння; P_B , P_H – відповідно тиск повітря до і за ізолюючою перемичкою; пунктир – розподіл тиску за відсутністю додаткової перемички

Запропоновано спосіб гасіння підземних пожеж за допомогою інертного газу, що передбачає зведення у виробці, зі свіжим струменем повітря основної ізолюючої перемички з умонтованою трубою, подачу через неї інертного газу від газифікаційної установки, створення в районі вогнищ горіння газової суміші з низьким змістом кисню, зведення між ізолюючою перемичкою і джерелом горіння додаткової ізолюючої перемички з трубою, що оснащена дистанційно керованим регулятором її прохідного перетину.

4.2. Розробка технологічної схеми управління подаванням азоту до вогнища горіння

При запропонованій схемі подавання азоту до вогнища горіння додаткову перемичку розташовують від основної на відстані, яка не перевищує [81]:

$$L = \frac{0,004 \cdot P_i \cdot L_i \cdot D_i^2}{S_b}, \text{ м}, \quad (4.1)$$

де 0,004 - розрахунково-емпіричний коефіцієнт, Па^{-1} ;

P_i - тиск інертного газу в трубопроводі, Па;

L_i - довжина трубопроводу для подавання інертного газу, м;

D_i - діаметр трубопроводу, м;

S_b - площа поперечного перерізу гірничої виробки, м^2 .

Крім того, у виробці з боку свіжого струменя встановлюють манометр, який з'єднаний шлангом (пневмокабелем) з ділянкою повітряподаючої виробки, що розташована між основної і додатковою ізолюючими перемичками (рис. 4.3). При цьому, регулюючи величину прохідного перетину проємної труби,магаються по обидва боки основної ізолюючої перемички рівності тиску газів, що забезпечується при нульових показаннях манометра.

Гасіння пожежі роблять у такий спосіб [82]. Відкривають запірний вентиль газифікаційної установки 2 і подають інертний газ у трубопровід 4. Після встановлення номінальної витрати інертного газу $Q_{\text{инерт}}$, вимірюють за допомогою манометра 8 різниця тиску в камері між перемичками 3 і 5 та перед перемичкою 3. Дистанційно закриваючи регулятор Рмагаються вирівнювання тиску по обидва боки ізолюючої перемички 3.

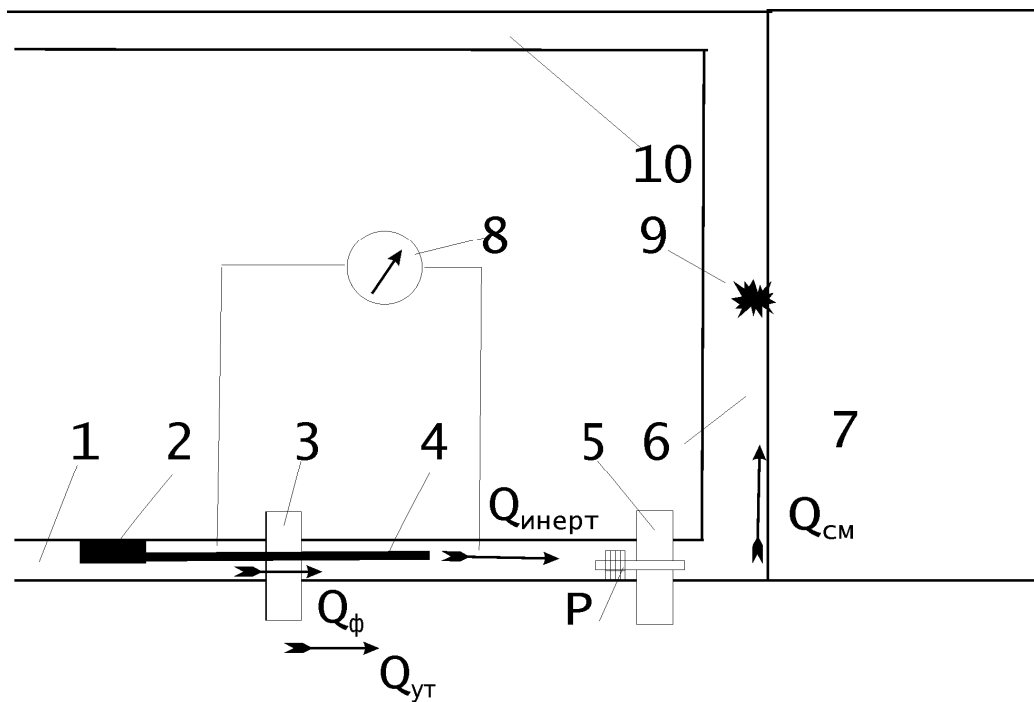


Рис. 4.3. Схема реалізації способу гасіння підземної пожежі:

1, 10 підготовчі виробки; 2 - газифікаційна установка; 3 – основна ізолююча перемичка; 4 - трубопровід; 5 - додаткова перемичка з трубою в прорізі і дистанційно керованим регулятором прохідного перетину; 6- очисна гірничча виробка; 7 - вироблений простір; 8 - манометр із пневмокабелями; 9 - вогнище пожежі; Р - дистанційно керований регулятор; Q_{ϕ} , $Q_{ут}$, - витрата повітря через тіло перемички і витоків через навколишні її гірничі породи; $Q_{инерт}$ - витрата інертного газу; $Q_{см} = Q_{\phi} + Q_{ут} + Q_{инерт}$ - витрати газоповітряної суміші через аварійну ділянку

Фізична сутність запропонованого способу складається в підвищенні газового тиску в камері між перемичками 3 і 5 за рахунок використання надлишкового тиску, що розвивається газифікаційною установкою. Це завжди можливо тому що тиск, який розвивається різними типами пристроїв для подачі інертного газу, досягає близько $10 \cdot 10^6$ Па, а перепад тисків на перемичці не перевищує декількох десятків Па. Після вирівнювання тисків у різних ділянках розділеної ізолюючою перемичкою виробки ліквідуються умови для фільтрації

повітря через неї і навколишні породи, таким чином, через проємну трубу в перемичці 5 до вогнища пожежі 9 буде надходити інертний газ без домішок повітря.

За рахунок використання такого конструктивного параметра як відстань між ізолюючими перемичками, і операції керування процесом надходження газу через додаткову перемичку забезпечується ефективне зниження надходження повітря через тіло ізолюючої перемички і навколишні гірничі породи, що дозволяє істотно знизити вміст кисню в газоповітряній суміші, що надходить до вогнища горіння, і, тим самим прискорити і здешевіти процес гасіння пожежі.

Інший спосіб [83] передбачає більш надійний варіант регулювання тиску в камері, яка створена між двома ізолюючими перемичками. В ньому органи управління потоками інертного газу знаходяться у ділянці виробки із свіжим повітрям. Це забезпечується за рахунок надання інертного газу по трубопроводу від газифікаційної установки газової суміші з низьким вмістом кисню поблизу вогнища горіння або самонагрівання та регулювання газового тиску в камері, яка створена шляхом зведення у виробці ізолюючої перемички із двома отворами та додаткової перемички із одним отвором з боку надходження до вогнища самонагрівання або горіння вугілля свіжого струменя повітря, в якому трубопровід для подавання інертного газу послідовно підключено до отворів у ізолюючій та додатковій перемичках. На ділянці між газифікаційною установкою та ізолюючою перемичкою він має патрубок який підключено до другого отвору у ізолюючій перемичці, частка труби для подавання інертного газу між патрубком і ізолюючою перемичкою та патрубок оснащені регуляторами витрати, при цьому на першому етапі подавання газової суміші зі вмістом кисню близько 5 % відкривають обидва регулятори за допомогою яких здійснюють вирівнювання тиску газів по обидва боки ізолюючої перемички, а після того як інертною газовою сумішшю буде заповнена ділянка виробки між додатковою перемичкою та джерелом горіння або самонагрівання, на другому етапі для подавання газової суміші зі вмістом

кисню близько 2% перекривають за допомогою регулятору витрати подачу азоту по частці труби між патрубком і ізолюючою перемичкою (рис. 4.4).

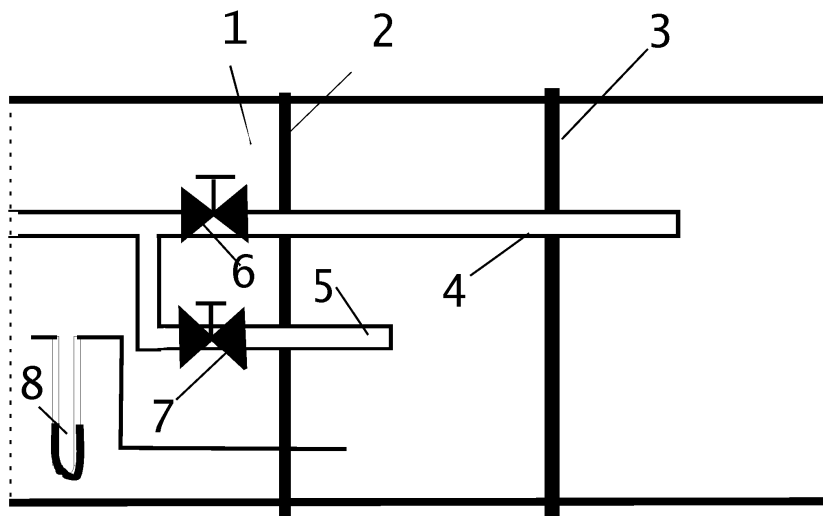


Рис. 4.4. Спосіб попередження та гасіння джерел самонагрівання або горіння:

1- виробка; 2 - ізолююча перемичка; 3 - додаткова ізолююча перемичка; 4 - трубопровід для подавання інертного газу від газифікаційної установки; 5 – патрубок для подавання інертного газу; 6. 7- регулятори витрати інертного газу; 8 - диференційний манометр та пневмокабель.

У вихідному стані, коли регулятори витрати інертного газу 6, 7 закриті, повітря під дією загальношахтної депресії фільтрується через тіла перемичок 2 і 3, та у виді витоків просочується через тріщини в гірничих породах, надходить до вогнища горіння або джерела самонагрівання вугілля. Манометр 8, з'єднаний пневмокабелем зі простором між перемичками 2 і 3, фіксує перепад тиску по обидва боки ізолюючої перемички 2. Гасіння пожежі чи профілактику самозаймання вугілля роблять у такий спосіб. На першому етапі відкривають регулятори витрати інертного газу 6,7, що встановлені у трубопроводі для подавання азоту від газифікаційної установки. При цьому регулятор 7, встановлений на патрубку 5 доцільно відкривати першим. Інертний газ, поступаючи крізь патрубок 5, заповнює камеру створену у виробці між двома перемичками 2 і 3, вміст кисню в камері поступово знижується практично до

нуля. Після встановлення номінальної витрати інертного газу, вимірюють за допомогою манометра 8 різницю тиску в камері між перемичками 2 та 3 і перед перемичкою 2. Керуючи витратами інертного газу за допомогою регуляторів витрати 6 та 7 домагаються вирівнювання тиску в обох гілках U-образного диференціального манометра 8. Після цього витoki через перемичку 2 та оточуючі її породи – відсутні. Інертний газ надходить до вогнища горіння або джерела самонагрівання вугілля поступаючи з трубопроводу 3, а також у виді витоків крізь тіло перемички 3 та оточуючі її тріщинуваті породи. При цьому якісний склад витоків через тіло перемички 3 такий, що в них відсутній кисень. Це досягається завдяки подаванню інертного газу (азоту) через патрубок 5 до камери між перемичками 2 і 3.

За рахунок заміни повітря, що заповнює камеру між ізолюючими перемичками, на інертний газ, який надають крізь патрубок за ізолюючу перемичку, знижується доступ кисню в ізольовану ділянку виробки до вогнища горіння або джерела самонагрівання вугілля. За допомогою регуляторів витрати інертного газу здійснюють керування процесом запобігання надходження повітря крізь ізолюючу перемичку, чим забезпечується стабільне, надійне та ефективне гасіння пожежі або профілактики самозаймання вугілля.

На другому етапі гасіння розрахунковим методом обчислюють тривалість заповнення ділянки виробки між джерелом окислювання вугілля та додатковою перемичкою інертним газом, який містить до 5% кисню. Після інертизації цієї частки виробки зачиняють регулятор витрат 6, який знаходиться на ділянці трубопроводу між ізолюючою перемичкою та патрубком. За рахунок цього суттєво скорочується потік азоту від газифікаційної установки, знижується тиск на мембранному газорозподільному вузлі за рахунок чого суттєво зменшується вміст кисню у складі надаваної від установки газової суміші.

Процес гасіння підземних пожеж часто ускладнюється загрозою вибуху газоповітряної суміші, що може призвести до руйнування ізолюючої перемички і зробити неможливим інертизацію аварійної виробки. До таких же наслідків

може призвести виникнення тріщин в тілі перемички під дією гірничого тиску. Тому запропоновано, при руйнуванні додаткової перемички для оновлення підвищеного тиску інертного газу використати еластичну оболонку, яку надувають дистанційно без порушення основної перемички, при цьому змінюючи тиск газу в оболонці ліквідують депресію на основній перемичці (рис. 4.5).

Спосіб [86] реалізують у разі повного руйнування перемички 3, а також у разі утворення тріщин 5 в тілі перемички 3 у наслідок вибуху або під дією гірничого тиску. Поява значних тріщин 5 призводить до різкого зростання витоків крізь тіло перемички 3 та падіння тиску інертного газу у камері між перемичками 1 і 3. Складається ситуація, у якій внаслідок різкого падіння аеродинамічного опору на перемичці 3 стає неможливим вирівнювання тиску в обох гілках U-образного диференційного манометра 8. Перекриття регулятора на патрубку 4 не дає позитивного ефекту. На основній перемичці з'являється депресія та починає просочуватись повітря з великим вмістом кисню, що веде до рецидиву окислювання вугілля у джерелі самонагрівання або горіння.

Гасіння пожежі роблять у такий спосіб. Відкривають кран на шлангу 9 і контролюючи тиск за допомогою манометру наповнюють еластичну оболонку 6 повітрям або інертним газом, за рахунок чого вона приймає форму 7, перекриваючи площину поперечного перетину гірничої виробки та суттєво зменшуючи об'єм камери між перемичками 1 і 3.

Керуючи розміром оболонки шляхом регулювання витрат газу у шлангу 9 міняють розмір щілин між стінками виробки та тканиною оболонки. Це призводить до зміни тиску у камері між основною перемичкою 1 та оболонкою 7 і дозволяє здійснювати регулювання газового тиску на перемичці 1, доводячи його до нульового рівня та контролюючи за допомогою диференційного манометра підключеного до пневмокабелю 8.

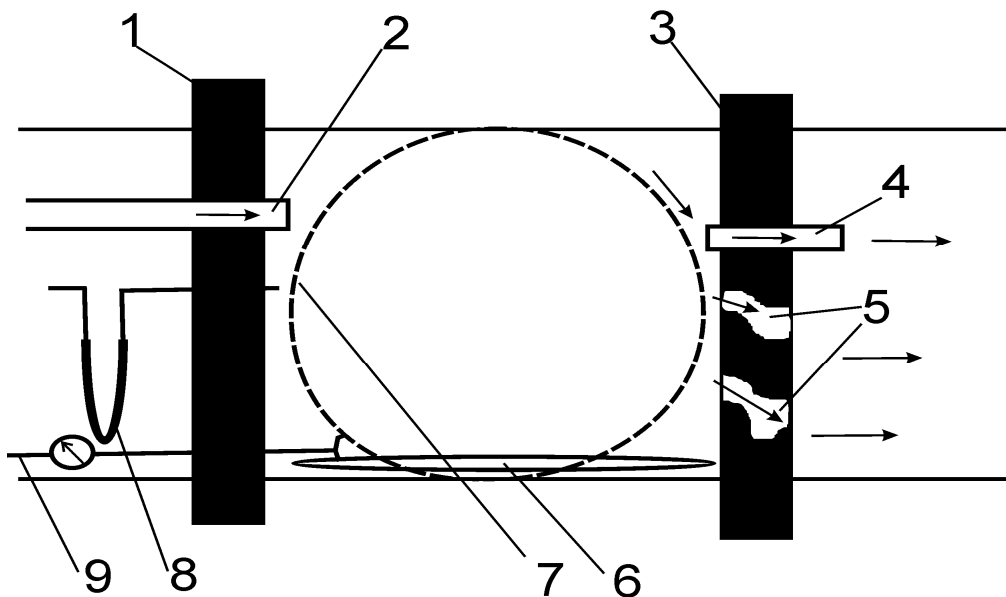


Рис. 4.5. Спосіб подавання інертного газу до вогнища горіння або самонагрівання вугілля:

1 - ізолююча основна перемичка; 2 - трубопровід для подавання інертного газу від газіфікаційної установки; 3 - додаткова ізолююча перемичка; 4 - патрубок із регулятором для подавання інертного газу; 5 – тріщини, що руйнують тіло перемички; 6 – положення оболонки з еластичного матеріалу в згорнутому стані, 7 – положення оболонки в надутому стані; 8 - диференційний манометр та пневмокабель; 9 – шланг та манометр для надування оболонки.

За рахунок використання операції дистанційного керування розмірами оболонки 7 за допомогою шланга із манометром 9 з'являється можливість відновити процес гасіння пожежі або попередження самонагрівання в разі руйнування допоміжної перемички 3, і тим самим зменшити витрати та прискорити термін ведення аварійних або профілактичних робіт.

4.3. Автоматизація процесу дистанційної флегматизації газових сумішей у вибухонебезпечні місця

Для дистанційної ліквідації складних підземних аварій було розроблено комплект засобів автоматизації відповідно до запропонованої технології із використанням газових засобів (рис. 4.6). Усі пристрої розроблені і випускаються Інститутом Інноваційних Технологій EMAG (Польща, Катовіце) [87].

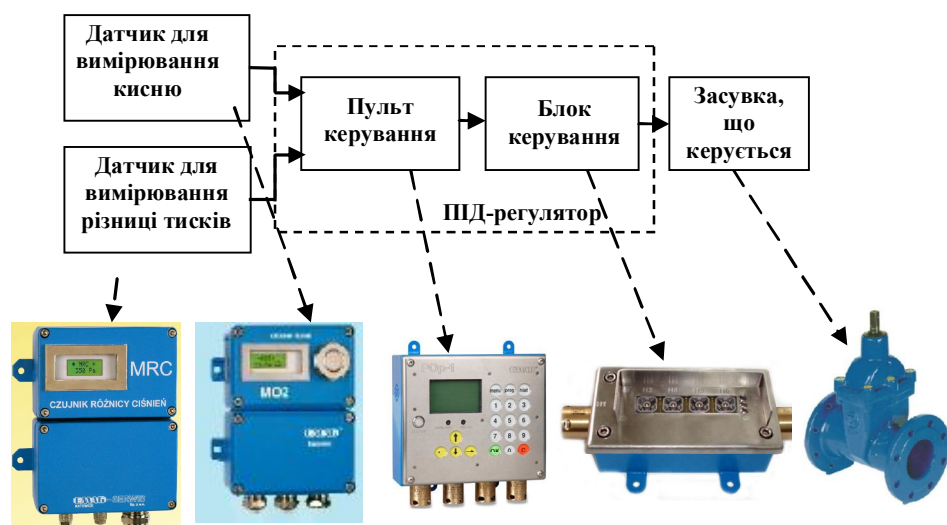


Рис. 4.6. Комплект засобів автоматизації для дистанційного гасіння пожеж у важкодоступних місцях

Використання комплекту засобів автоматизованого управління процесом гасіння ендегенних пожеж інертним газоподібним азотом дозволить звести до мінімуму участь людей у ліквідації аварії й ефективно завершити даний технологічний процес [88, 89].

Блок управління виконано на базі мікроконтролеру типу BSP-і, за допомогою якого будуть видаватися сигнали на відкриття і закриття засувки у залежності від двох контрольованих параметрів (концентрації кисню в зоні горіння і різниці тисків атмосфери з боку свіжого струменя і в ізолюючій камері між перемичками) [90]. Для вимірювання різниці тисків і концентрації кисню пропонується використовувати датчики типу MRC та MCO відповідно

Керувати процесом можна за допомогою пульта керування RPo-1. Все обладнання виконано у вибухозахищених корпусах.

На рисунку 4.7 зображена схема подавання інертного газу в зону гасіння пожежі, а також показані основні параметри, які характеризують об'єкт автоматизації.

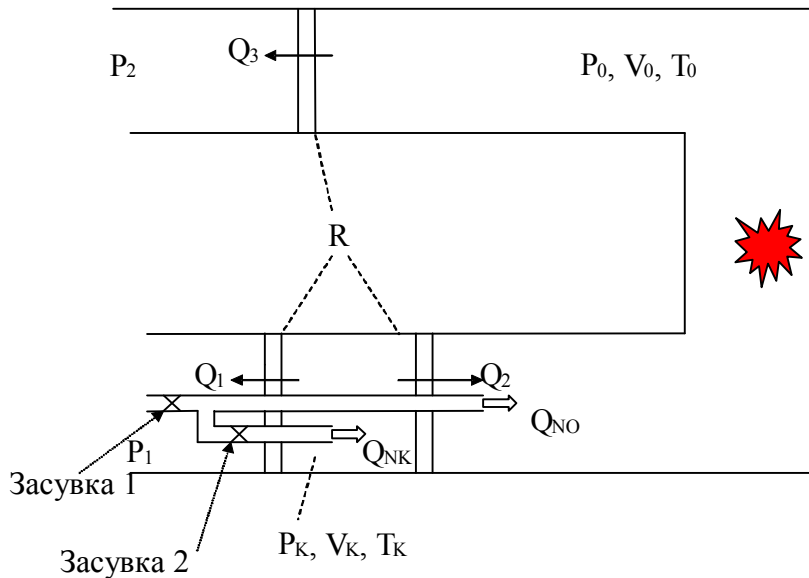


Рис. 4.7. Схема подавання азоту в зону гасіння пожежі і основні параметри об'єкту автоматизації

На рисунку 4.7 позначення мають наступні величини:

$R=247$ кц – величина аеродинамічного опору для перемичок, які зведені з бетонітів, для виробок перетином 15 м^2 ;

$Q_1 = Q_2 = Q_3 = 27 \text{ м}^3/\text{хв}$ – витрата газу через тіло перемички;

$Q_{NO} = 15 \text{ м}^3/\text{хв}$ – подача азоту в зону вогнища горіння;

Q_{NK} – подача азоту в ізолюючу камеру між перемичками;

$P_1 = 105 \text{ Па}$ – атмосферний тиск у виробці з боку свіжого струменя;

$P_2 = 90000 \text{ Па}$ – атмосферний тиск у виробці на вихідному струмені;

$P_0 = 92000 \text{ Па}$, $V_0 = 48000 \text{ м}^3$, $T_0 = 1500^\circ \text{C}$ - відповідно тиск, обсяг, температура у районі вогнища горіння;

$P_K = 95000 \text{ Па}$, $V_K = 75 \text{ м}^3$, $T_K = 25^\circ \text{C}$ - відповідно тиск, обсяг, температура в ізолюючій камері між перемичками;

Перепад тиску:

$$P_K - P_1 = RQ_1 \quad (4.2)$$

$$P_K - P_0 = RQ_2 \quad (4.3)$$

$$P_0 - P_2 = RQ_3 \quad (4.4)$$

Рівняння стану ідеального газу:

$$PV = \frac{m}{M} RT \quad (4.5)$$

$$\Delta PV = \frac{\Delta m}{M} RT = \frac{\rho Q \Delta t}{M} RT \quad (4.6)$$

$$\frac{(Q_{NK} - Q_1 - Q_2)\rho}{M} RT_K \Delta t = \Delta P_K V_K \quad (4.7)$$

$$\frac{(Q_{NO} + Q_2 - Q_3)\rho}{M} RT_O \Delta t = \Delta P_O V_O \quad (4.8)$$

Отримуємо, що

$$K_K = \frac{\rho RT_K}{MV_K} \quad (4.9)$$

$$K_O = \frac{\rho RT_O}{MV_O} \quad (4.10)$$

Похідні тиску:

$$\frac{dP_K}{dt} = K_K (Q_{NK} - Q_1 - Q_2) \quad (4.11)$$

$$\frac{dP_K}{dt} = -K_K \left(\frac{P_K - P_1}{R} \right) \quad (4.12)$$

$$\frac{dP_K}{dt} + \frac{K_K}{R} P_K = \frac{K_K}{R} P_1 \quad (4.13)$$

$$\frac{dP_K}{dt} \frac{R}{K_K} + P_K = P_1 \quad (4.14)$$

Передаточна функція має наступний вид:

$$W(p) = \frac{1}{\frac{R}{K_K} p + 1} \quad (4.15)$$

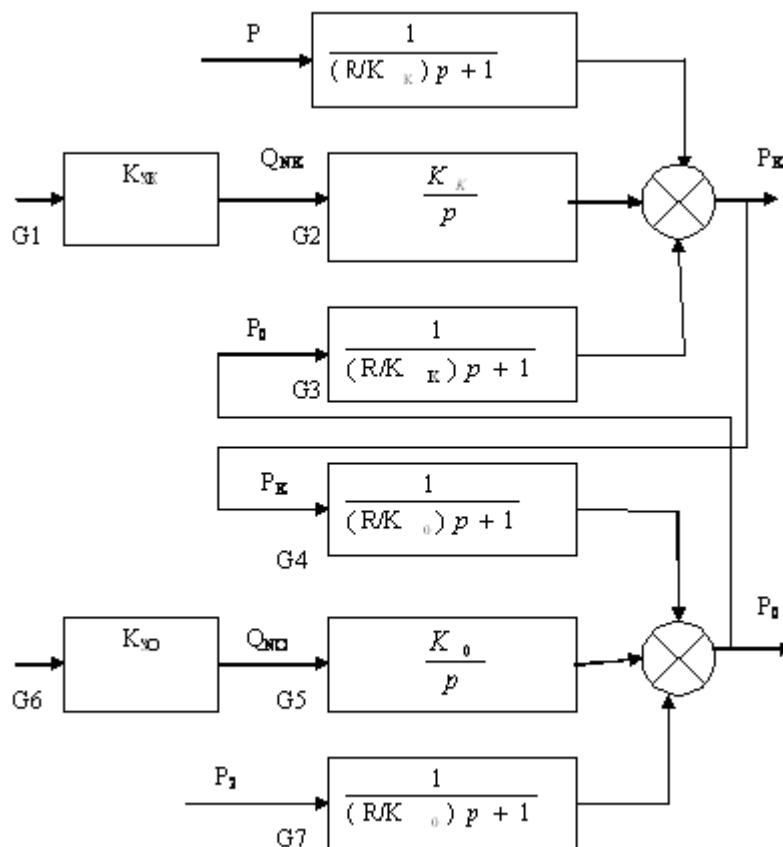


Рис. 4.8. Структурна схема для моделювання подавання інертного газу в зону гасіння пожежі

На рис. 4.8. $K_{зк}$ і $K_{зо}$ – коефіцієнти, що характеризують керовані засувки на трубопроводах, за допомогою яких подають інертний газ в ізолюючу камеру і у зону вогнища горіння відповідно; K_K і K_O – коефіцієнти, що характеризують основні параметри ізолюючої камери і області вогнища горіння відповідно; $K_K=43,848$; $K_O=0,408$.

Для забезпечення високої якості регулювання і для нейтралізації перехресних зв'язків в об'єкті прийняте рішення на додаток до основних регуляторів використовувати перехресні регулятори [92, 93].

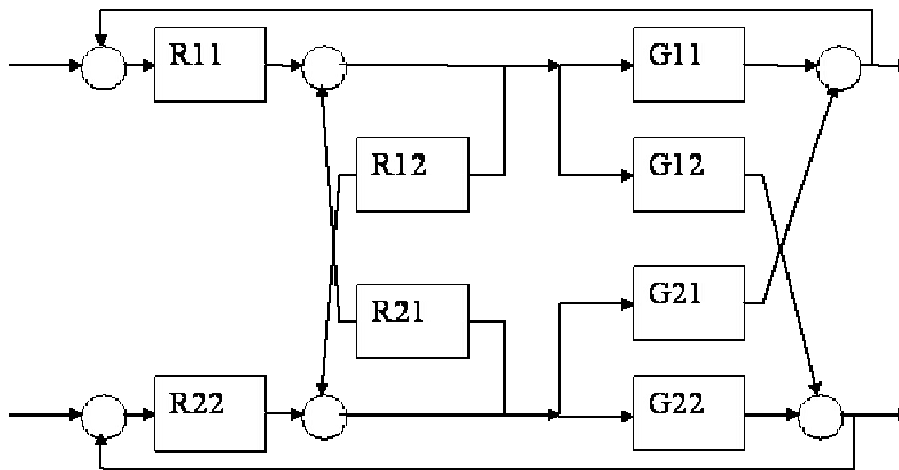


Рис. 4.9. Розв'язка Р-канонічного об'єкта за допомогою V-канонічних перехресних регуляторів, розташованих після головних

Для даної розв'язки:

$$\begin{cases} G11 = G1 \cdot G2 \\ G12 = -G1 \cdot G2 \cdot G4 \\ G22 = G6 \cdot G5 \\ G21 = G6 \cdot G5 \cdot G3 \end{cases} \quad (4.16)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} G_{11} = K_{3K} \left(\frac{\rho R T_K}{M V_K} \right) \frac{1}{p} \\ G_{12} = -K_{3K} \left(\frac{\rho R T_K}{M V_K} \right) \left(\frac{1}{\frac{M V_0}{\rho T_0} p + 1} \right) \frac{1}{p} \\ G_{22} = K_{30} \left(\frac{\rho R T_0}{M V_0} \right) \frac{1}{p} \\ G_{21} = K_{30} \left(\frac{\rho R T_0}{M V_0} \right) \left(\frac{1}{\frac{M V_K}{\rho T_K} * p + 1} \right) \end{array} \right. \quad (4.17)$$

Підставляємо значення відомих параметрів:

$$\left\{ \begin{array}{l} G_{11} = \frac{43.85 K_{3K}}{p} \\ G_{12} = -\frac{43.85 K_{3K}}{p(605.95 p + 1)} \\ G_{22} = \frac{0.408 K_{30}}{p} \\ G_{21} = \frac{0.408 K_{30}}{p(5.63 p + 1)} \end{array} \right. \quad (4.1)$$

$$R_{12} = -\frac{G_{12}}{G_{22}} = -\frac{107.48 K_{3K}}{K_{30} (605.85 p + 1)} \quad (4.19)$$

$$R_{21} = -\frac{G_{21}}{G_{11}} = -\frac{0.0093 K_{30}}{K_{3K} (5.63 p + 1)} \quad (4.20)$$

На рисунку 4.10 приведена структурна схема моделювання подачі азоту в аварійну виробку, а на рисунку 4.11 результати моделювання [90].

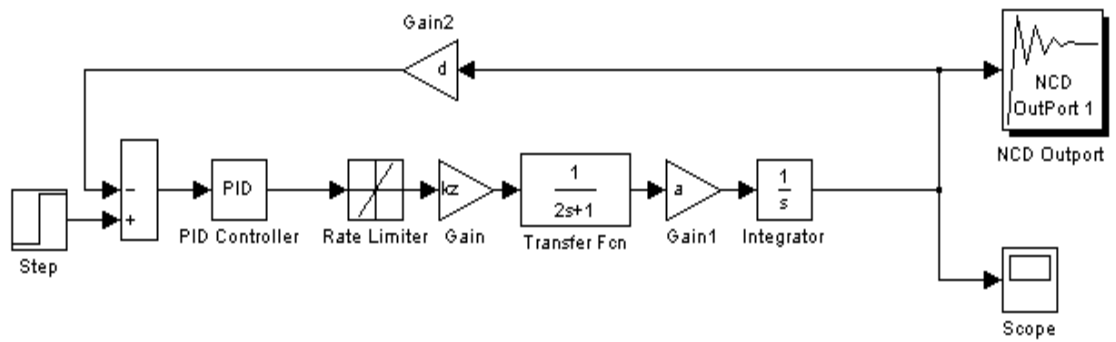


Рис. 4.10. Структурна схема моделювання зміни тиску в ізолюючій камері між перемичками

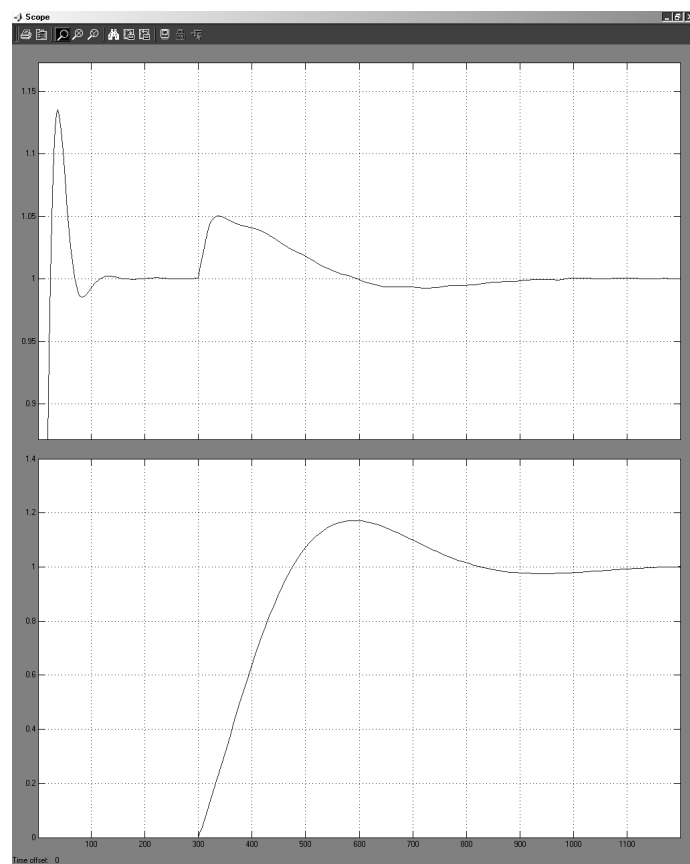


Рис. 4.11. Результати моделювання зміни тиску в ізолюючій камері між перемичками (знизу) та зі сторони свіжого струменя (зверху)

Результати віртуальної симуляції підтвердили, що обрані технічні засоби забезпечують необхідні чутливість, швидкодію і глибину регулювання параметрів атмосфери у ізолює мій дільниці аварійної виробки. Обґрунтована структура системи керування дозволяє перейти до практичної реалізації

комплекту автоматичних засобів для дистанційного гасіння підземних пожеж у важкодоступних місцях.

4.4. Висновки

- Результатом проведених досліджень було розроблено якісно нову технологію комбінованого гасіння складних підземних пожеж за допомогою газорозподільних мембранних установок, які передбачають створення додаткової ізолюючої перемички, заповнення створеної камери інертним газом, перенос депресії на ближчу до вогнища перемичку, що дозволяє підвищити безпеку виконання аварійних робіт та скоротити час гасіння пожежі.

- Запропоновано кілька технологічних варіантів подавання інертного газу до джерела пожежі. Вони відрізняються способами регулювання аеродинамічного опору перемичок та забезпечення стійкості засобу в цілому. Що дозволяє маневрувати силами й матеріальними засобами відповідно до обстановки яка існує на аварійній ділянці и шахті.

- Для реалізації цієї технології було розроблено комплект засобів автоматизації технологічних операцій по гасінню підземних пожеж способом ізоляції, що дозволяє видалити гірничорятувальників з зон враження і скоротити витрати на ліквідацію аварії.

- Результати віртуальної симуляції підтвердили, що обрані технічні засоби забезпечують необхідні чутливість, швидкодію і глибину регулювання параметрів атмосфери у ізолює мій ділянці аварійної виробки.

РОЗДІЛ 5. ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВЕДЕННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ В НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗА ГАЗОМ ШАХТАХ

5.1. Розрахунок економічної ефективності використання запропонованих технологій управління станом газового середовища в ізольованій ділянці мережі гірничих виробок

При розрахунку економічних показників використання запропонованих технологій ведення аварійно-рятувальних робіт у небезпечних по газу шахтах за допомогою газорозділюючих установок була використана методика НДІГС. Згідно з цією методикою розрахунок річного економічного ефекту від використання нової технології розраховується за формулою [26, 101]:

$$\mathcal{E}_r = \left[C_1 \frac{Y_2}{Y_1} K_{\mathcal{E}} - C_2 + \frac{(I_1 K_{\mathcal{E}} - I_2) + E_H (K'_1 - K'_2)}{P_2 + E_H} \right] \cdot A_2 \quad (5.1)$$

де C_1 і C_2 - оптові ціни базового і нового засобу гірничорятувальної техніки, грн;

Y_1 і Y_2 - питома витрата флегматизуючого засобу базового і нового варіантів в натуральних одиницях;

$K_{\mathcal{E}}$ - коефіцієнт еквівалентності, що характеризує рівень якості нового технічного рішення;

I_1 і I_2 - експлуатаційні витрати споживача при використанні одиниці базового і нового засобів, грн;

E_H - нормативний коефіцієнт ефективності;

K'_1 і K'_2 - супутні капітальні вкладення споживача при використанні одиниці базового і нового засобу, грн;

P_2 - доля відрахувань від балансової вартості на повне відновлення нового засобу;

A_2 - річний об'єм виробництва нового засобу гірничорятувальної техніки в розрахунковому році в натуральних одиницях.

У базовому варіанті розглянуто традиційний спосіб подавання інертного газу, при якому зводиться одна ізолююча перемичка на свіжому струмені, а друга на виходячому. Газоподібний азот отримуємо за допомогою криогенної азотної установки типу АГУ-2М (рис.1.7, табл.1.4). Оптова ціна установки АГУ-2М разом із газифікатором C_1 складає 6млн.грн.

При базовому варіанті роботи з ліквідації аварії тривають близько 90 діб ($N_{дб}$) [33], кожної доби на аварійній дільниці працює 9 відділень гірничорятувальників $N_{вдд}$. Заробітна платня $ЗП_{зм}$ гірничорятувальника за одну зміну складає 150грн. Згідно статистичним даним в Україні в середньому виникає 4 підземні пожежі у важкодоступних місцях на рік $N_{пож}$. Продуктивність криогенної азотної установки АГУ-2М $PP_{АГУ-2М}$ складає $230\text{м}^3/\text{год}$. Виробництво рідкого азоту на території України здійснюється на заводах у Запоріжжі та Дніпропетровську. Вартість кубометру рідкого азоту B_{N_2} складає $0,73\text{грн}/\text{м}^3$, вартість доставки до місця аварії дорівнює 20% від вартості продукту. Таким чином, експлуатаційні витрати споживача за рік у базовому варіанті складаються з витрат на заробітню платню гірничорятувальників $I_{зп}$ і витрат на рідкий азот та його транспорт до місця ліквідації I_{N_2} аварії:

$$I_1 = I_{зп} + I_{N_2} = N_{дб} \cdot N_{вдд} \cdot 6 \cdot ЗП_{зм} \cdot N_{пож} + PP_{АГУ-2М} \cdot N_{дб} \cdot 24 \cdot B_{N_2} \cdot 1,2 \quad (5.2)$$

$$I_1 = 90 \cdot 9 \cdot 6 \cdot 150 \cdot 4 + 230 \cdot 90 \cdot 24 \cdot 0,73 \cdot 1,2 = 3351197\text{грн}$$

Новий запропонований варіант ліквідації аварій у важкодоступних місцях полягає на використанні мембранної технології виробництва азоту за допомогою пересувної азотно-компресорної станції типу АМВП-15/0,7С (рис.1.8). Для підвищення ефективності гасіння і скорочення часу ліквідації

аварії прийнята запропонована автором технологія подачі інертного газу до аварійної ділянки, де збоку свіжого струменя зведено дві ізолюючі перемички для того, щоб уникнути підсосів повітря через тіло перемички та досягнути необхідної концентрації інертного газу у вогнегасячій суміші. Для підвищення безпеки гірничорятувальників аварія ліквідується за допомогою автоматичного пристрою для дистанційного гасіння. Оптова ціна установки АМВП-15/0,7С разом із автоматичним пристроєм $Ц_2$ складає 5млн.грн.

Новий варіант передбачає, що час ліквідації аварії скорочується до 20 діб, а кількість відділень, що працюють на добу зменшуються до 5. Експлуатаційні витрати за рік у новому варіанті складають:

$$I_2 = I_{3П} = N_{д\bar{в}} \cdot N_{в\bar{дд}} \cdot 6 \cdot 3П_{3м} \cdot N_{п\bar{ож}} \quad (5.3)$$

$$I_2 = 20 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 150 \cdot 4 = 360000 \text{ грн}$$

Питомі витрати флегматизуючого засобу базового і нового варіантів $У_1$ і $У_2$ пропорційні кількості діб, протягом яких триває подавання газоподібного азоту до аварійної ділянки, та складає 90 і 20 відповідно.

Коефіцієнт еквівалентності K_9 , що характеризує рівень якості нового технічного рішення, дорівнює співвідношенню продуктивностей нового і базового засобів техніки, та складає:

$$K_9 = \frac{900 \text{ м}^3 / \text{год}}{230 \text{ м}^3 / \text{год}} = 3,91$$

Нормативний коефіцієнт ефективності $E_H = 0,15$.

Супутні капітальні вкладення K'_1 і K'_2 при використанні базового і нового варіанту відсутні.

Доля відрахувань від балансової вартості на повне відновлення нового засобу $P_2 = 0,1$.

Річний об'єм виробництва нового варіанту гірничорятувальної техніки в розрахунковому році A_2 складає 0,1.

Усі необхідні дані для розрахунку економічного ефекту зведені в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1

Дані для розрахунку економічного ефекту

Показник	Означення	Одиниці виміру	Базовий варіант	Новий варіант
Оптові ціни засобу гірничорятувальної техніки	C	млн.грн	6	5
Питома витрата вогнегасячого засобу	U	од	90	20
Коефіцієнт еквівалентності	K_{Σ}	-	3,91	3,91
Витрати споживача	I	грн	3351197	360000
Нормативний коефіцієнт ефективності	E_H	-	0,15	0,15
Супутні капітальні вкладення споживача	K'	грн	0	0
Доля відрахувань від балансової вартості на повне відновлення нового засобу	P_2	-	-	0,1
Річний об'єм виробництва нового засобу гірничорятувальної техніки в розрахунковому році	A_2	од	0,1	0,1

Річний економічний ефект від запропонованих заходів складає:

$$\mathcal{E}_r = \left[6000000 \cdot \frac{20}{90} \cdot 3,91 - 5000000 + \frac{(3351197 \cdot 3,91 - 360000)}{0,1 + 0,15} \right] \cdot 0,1 = 1295651 \text{ грн}$$

Річний економічний ефект від використання нової установки для виробництва газоподібного азоту із атмосферного повітря, нової технології подачі вогнегасячої суміші та автоматичного пристрою для дистанційного гасіння складає 1295 тис.грн.

5.2. Оцінка екологічних наслідків використання результатів роботи

Нова запропонована технологія ведення аварійно-рятувальних робіт за допомогою азотно-компресорної станції типу АМВП-15/0,7С дозволила підвищити ефективність ліквідації аварій за рахунок зменшення витоків кисню до ізолюваного простору, скоротити термін аварійно-рятувальних робіт, а відповідно і зменшити викиди забруднюючих газів у атмосферу.

Витрата шкідливих газів, які потрапляють в атмосферу під час ліквідації підземних пожеж протягом року, $3P^P$ визначається за формулою:

$$3P^P = T \cdot Q \cdot N_{\text{пож}} \quad (5.4)$$

де T - час, протягом якого відбувається ліквідація аварії, хв;

Q - витрата газу, що виділяється в атмосферу під час ліквідації аварії, $\text{м}^3/\text{хв}$;

$N_{\text{пож}}$ - кількість пожеж, які відбулися протягом року.

Якщо розглядати випадок, коли гасіння пожежі відбувається за існуючою технологією, то час, необхідний на ліквідацію аварії, складає 90 днів, а витрата основних газів, що потрапляють у атмосферу складає $6\text{м}^3/\text{хв}$ і $200\text{м}^3/\text{хв}$ для метану і діоксиду вуглецю відповідно.

У розрахунках приймаємо величину $N_{\text{пож}}=4$ за статистикою МакНДІ.

Нова запропонована технологія дозволяє зменшити час ведення аварійних робіт до 20 днів.

Вихідні дані і результати розрахунків зведені в таблицю 5.2.

Зменшення викидів шкідливих забруднюючих газів складає:

- для метану:

$$\text{на } 3\,110\,400\,\text{м}^3 - 691\,200\,\text{м}^3 = 2\,419\,300\,\text{м}^3\,\text{CH}_4;$$

- для діоксиду вуглецю:

$$\text{на } 103\,680\,000\,\text{м}^3 - 23\,040\,000\,\text{м}^3 = 80\,640\,000\,\text{м}^3\,\text{CO}_2.$$

Таблиця 5.2

Дані для розрахунку екологічної ефективності

Показник	Означення	Одиниці виміру	Існуюча технологія	Запропонована технологія
Час ліквідації аварії	T	хв	129600	28800
Витрата метану	Q_{CH_4}	м ³ /хв	6	
Витрата діоксиду вуглецю	Q_{CO_2}	м ³ /хв	200	
Кількість пожеж на рік	$N_{пож}$	-	4	
Витрата забруднюючих газів, що потрапляють у атмосферу за рік	$3P_{CH_4}^P$	м ³	3110400	691200
	$3P_{CO_2}^P$	м ³	103680000	23040000

Таким чином, нова запропонована технологія гасіння підземних пожеж у важкодоступних місцях дозволяє досягнути екологічної ефективності за рахунок зниження викидів в атмосферу метану і діоксиду вуглецю на 77 %.

Соціальна ефективність досягається за рахунок підвищення безпеки гірничорятувальників. У зв'язку з використанням нового способу подавання азоту знижуються витрати кисню до аварійної ділянки, що знижує ризик виникнення вибуху газоповітряної суміші, а відповідно і знижується ризик механічного, теплового і токсичного враження гірничорятувальників від продуктів вибуху і ударної хвилі. Використання комплексу засобів автоматизації дозволяє вивести гірничорятувальників на значну відстань від аварійної ділянки і керувати процесом гасіння дистанційно у безпечних умовах.

5.3. Висновки

- Розрахунки показали, що очікуваний річний економічний ефект від використання запропонованих заходів щодо забезпечення безпеки ведення аварійно-рятувальних робіт складає не менше 1295 тис.грн у масштабах вугільної галузі України.

- Екологічна ефективність полягає на тому, що при використанні запропонованих технологій: зменшується інтенсивність горіння вугілля, деревини, метану; майже на 77% зменшуються викиди у атмосферу токсичних і парникових газів, SO_2 , CO тощо; гірничорятувальники менше знаходяться під дією теплового і токсичного вражень від продуктів горіння та інших можливих видів вражень.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науковою роботою, в якій наведено теоретичне обґрунтування і практичне вирішення актуальної науково-технічної задачі, яка полягає в підвищенні безпеки і ефективності ведення гірничорятувальних робіт у газових шахтах на основі прогнозування та управління ризиками при виконанні аварійних робіт, використання закономірностей вибуховості трикомпонентних (горючий газ – окислювач – флегматизатор) газових сумішей та застосування розроблених способів управління складом атмосфери за допомогою мембранних газорозподільних установок. Виконані дослідження дозволили поширити уявлення про процеси, що відбуваються в ізольованих дільницях мережі гірничих виробок при придушенні пожеж, виявити ряд умов, які сприяють формуванню вибухонебезпечних газових середовищ.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Вперше встановлено, що ступінь ризику травматизму гірничорятувальників під час праці в умовах потенційного вибуху метаноповітряних сумішей прямо пропорційний протяжності аварійної зони і обернено пропорційний швидкості переміщення людей по цій зоні, що дозволяє розробити науково-обґрунтовані рекомендації з безпеки праці гірничорятувальників. При цьому для оперативних підрозділів ДВГРС, враховуючи сучасний рівень техніки та технологій виконання оперативних дій, були визначені чисельні значення ризиків травматизму, при перевищенні яких аварійні роботи мають бути припинені.

2. Встановлено явище змінення значень верхньої межі займання метаноповітряної суміші у залежності від концентрації азоту. При збільшенні вмісту азоту в суміші на 1,5-2%, значення межі знижується на 1%, що може служити підставою для створення експрес-методу розрахунку параметрів флегматизації аварійних дільниць.

3. Встановлено, що коефіцієнт флегматизації атмосфери в районі вогнища горіння після закриття прорізів у перемичках визначається відношенням

теплоти, яка може виділитися при окислюванні пального, до кількості теплоти, яку здатен поглинути флегматизатор. Визначено мінімальне безпечне значення коефіцієнту флегматизації $K_{\phi}=0,22$ для метаноповітряних сумішей, яке слід враховувати для розрахунку часу розкриття пожежної ділянки й зниження якого приведе до вибуху та травмування гірничорятувальників.

4. Розроблено якісно нову технологію комбінованого гасіння складних підземних пожеж за допомогою газорозподільної мембранної установки, яка передбачає створення додаткової ізолюючої перемички, заповнення створеної камери інертним газом, перенесення депресії на ближчу до вогнища перемичку, що дозволяє підвищити безпеку виконання аварійних робіт у газових шахтах та скоротити час гасіння пожежі. Також було розроблено комплект засобів автоматизації технологічних операцій з гасіння підземних пожеж способом ізоляції, що дозволяє видалити гірничорятувальників з зон враження і скоротити витрати на ліквідацію аварії.

5. Очікуваний річний економічний ефект від використання отриманих автором практичних результатів складає не менше 1295 тис. грн у масштабах вугільної галузі України.

6. Теоретичні положення і практичні результати роботи використані при складанні рекомендацій по розробці нових технологічних схем гасіння підземних пожеж, які передані НДІГС «Респіратор».

7. Результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі ДонНТУ в курсах «Рудничні пожежі», «Техногенна безпека» для студентів гірничого факультету і факультету екології та хімічної технології.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Брюханов А.М. Анализ взрывов метана и угольной пыли на угольных шахтах, вызвавших человеческие жертвы / А.М.Брюханов, В.П.Колосюк, Н.Б.Левкин // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : Материалы научно-практического семинара «Проблемы техногенной, производственной и экологической безопасности. Пути их решения». – Макеевка-Донбасс, ДРО МАНЭБ, 2002. – С.18-31.
2. Состояние и причины производственного травматизма на предприятиях Минуглепрома СССР за 1986-1990 годы (обзор) // Макеевка. МакНИИ. 1991. – 91 с.
3. Брюханов А.М. Научно-технические основы расследования и предотвращения аварий на угольных шахтах. – Донецк: Норд-пресс, 2004. – 347 с.
4. Анализ аварий и горноспасательных работ на предприятиях, обслуживаемых ГВГСС в угольной промышленности Украины за 2010 год // Донецк. 2011. – 135с.
5. Шевцов Н.Р. Взрывозащита горных выработок: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Донецк: «Норд-пресс», 2002. – 280с. ISBN 966-8085-140.
6. Балтайтис В.Я., Егоров В.А. О возникновении и периодичности взрывов при подземных пожарах. «Уголь Украины», 1966, №8
7. Парханьски Ю. Производственный травматизм на угольных шахтах Польши в период реструктуризации с учетом структуры занятости и возрастной структуры // Ю. Парханьски/ Горный информационно-аналитический бюл. Тематическое приложение «Безопасность». – М.: Изд-во МГГУ, 2007. – С. 32–48.

8. Roszkowski J. Wplyw czynnikow gorniczo-technicznych na powstani pozarow endogenicznych w swietle badan statystycznych // Arch.Gorn.-1963. -T.8, Nr.3. -S.320.
9. Линденау Н.И. Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров на угольных шахтах // Н.И.Линденау, В.М.Маевская, В.Ф.Крылов - М.: Недра, 1977.- 320 с.
10. Опыт ликвидации сложных аварий на угольных шахтах Украины/ Ю.А.Гладков, И.П.Белик, Н.И.Привалов, В.К.Костенко. В.И.Кузяпа – К.: Тэхніка, 1992. – 192с. ISBN 5-335-00767-2.
11. Брюханов А.М. Закономерности формирования взрывоопасной среды при внезапных выбросах породы, угля и газа в тупиковых выработках шахт / А.М. Брюханов // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. ЛДУБЖД. – Львів, 2007. – № 10. – С. 121-125.
12. Trenczek S.: Rys historyczny pożarów podziemnych w ostatnim 60-leciu polskiego górnictwa. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Seria: Studia i Materiały — nr 32, Wrocław 2006.
13. Пашковский П.С. Разработка способов прогноза и предотвращения эндогенных пожаров в глубоких шахтах : автореф. дис. на соиск. д-ра техн. наук : спец. 05.26.01 «Охрана труда» / П.С.Пашковский. - Донецк, 1992.- 40с.
14. Скочинский А.А. Рудничные пожары / А.А.Скочинский, В.М.Огиевский - М.: Углетехиздат,1954. –387 с.
15. Зборщик М.П. Горение пород угольных месторождений и их тушение / М.П.Зборщик, В.В.Осокин - Донецк, ДонГТУ, 2000. -180с.
16. Булгаков Ю.Ф. Решение проблемы тушения подземных пожаров и сохранения топливно-ресурсного и энергетического потенциала Донецкой области // Изв. Донецкого горного института. – 1999. - № 2. С. 31-45.

17. Аварийно-спасательные работы при пожарах в длинных тупиковых выработках/ Холодов В.П., Чарков В.П., Булгаков Ю.Ф., Черных А.В. - Уголь Украины.- 1996.-№ 5-6.- С.52-55.

18. Булгаков Ю.Ф. Технический уровень современных средств и способов тушения пожаров в шахтах, опасных по газу и пыли // Уголь Украины. 2000.- № 2. - С.57-58.

19. Предупреждение взрывов пылегазовоздушной смеси при пожаре в выработанном пространстве / И.Е. Болбат, В.С. Сергеев, В.С. Рыжков, Ю.Ф. Булгаков // Совершенствование способов борьбы с эндогенными пожарами: Сб. науч. трудов НИИГД.- Донецк, 1987.-С.116-117.

20. Совершенствование способа тушения пожаров в тупиковых горных выработках / Ю.Ф. Булгаков, И.Ф. Дикенштейн, Д.В. Докукин // Горноспасательное дело: Сб. науч. тр. НИИГД.- Донецк, 1998.- С.51-56.

21. Морев А.И. Изучить возможности использования полимерных мембран для обеспечения безопасного транспортирования и утилизации метановоздушных смесей. / А.И.Морев, Ю.В.Кудинов / Отчет МакНИИ. – Макеевка, 1985. – 40с.

22. Кудинов Ю.В. Разработать научные основы создания мембранных газоразделительных установок для формирования инертной среды в зоне фрикционного искрения при механическом разрушении горных пород // Ю.В.Кудинов // Тех.отчет МакНИИ. – Макеевка, 1988. – 27 с.

23. Sułkowski, J. Ryzyko w akcjach ratowniczych prowadzonych w polach metanowych po powstaniu wybuchów lub pożarów. WUG : bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie 2008r, nr 3, s. 3-11.

24. Тренчек С. Некоторые аспекты безопасной дестимуляции пожарной опасности при помощи инертизации азотом и двуокисью углерода // Тренчек С. / Горный информационно-аналитический бюл.

Тематическое приложение «Безопасность». – М.: Изд-во МГГУ, 2007. – С. 210–224.

25. Пучков Л.А. Динамика метана в выработанных пространствах угольных шахт / Л.А.Пучков, Н.О.Каледина. – М.: Издательство МГГУ, 1995. – 314с.

26. Булгаков Ю.Ф. Тушение пожаров в угольных шахтах. Донецк. НИИГД, 2001. -280 с. ISBN 966-7559-42-4.

27. А.с. №1190061. СССР. Способ проверивания горных выработок / Морев А.М., Кудинов Ю.В., Клишкань А.Ф., Талакин О.Г. (СССР). – 2с; Оpubл. 1985, Бюл. №41.

28. Костенко В.К. Геомеханические и технологические способы предупреждения и ликвидации возгораний угля// Горноспасательное дело: Сб. науч. тр.// НИИГД. – Донецк, 1998.- С.69- 75

29. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело. 2-е изд. / Ушаков К.З., Каледина Н.О., Кирин Б.Ф и др. - М.: Изд-во Московского Государственного Горного Университета. – 487с. ISBN:978-5-7418-0545-9.

30. Предупреждение и локализация взрывов в подземных условиях. / Умнов А.Е, Голик А.С., Палеев Д.Ю., Шевцов Н.Р. - М.: Недра, 1990.

31. ДНАОП 1.1.30 - 4.01.97. Статут ДВГРС по організації і веденню гірничорятувальних робіт. – Київ, 1997 – 454с.

32. Смоланов С.Н. Основы горноспасательного дела (учебное пособие для студентов высших учебных заведений). / С.Н.Смоланов, В.И.Голинко, Б.А.Грядущий – Днепропетровск: Издательство НГУ – 2001. – 274с. ISBN 966-7976-89-8.

33. Орлов Н.В. Пособие по горноспасательному делу. / Орлов Н.В., Судиловский М.Н. - М.: «Недра», 1976. – 222с.

34. Осипов С.Н. Борьба со взрывами газа в горных выработках. – М.: Недра, 1972. – 160с.

35. Trenczek S., Buchwald P.: Urządzenia do wytwarzania azotu z powietrza. Ratownictwo Górnicze nr 4, Bytom 1998 r.
36. Trenczek S., Buchwald P., Nalepa R.: Azotowanie zrobów ściany zawałowej przy wariantowo różnych przepływach powietrza i różnicach potencjału aerodynamicznego. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 5/99.
37. Trenczek S., Buchwald P.: Gaz inertny i urządzenia. Ratownictwo Górnicze nr 1, Bytom 1999 r.
38. Stanisław Trenczek. Bezpieczeństwo destymulacji zagrożenia pożarowego przy pomocy inertyzacji azotem i dwutlenkiem węgla. / Вісті Донецького національного технічного університету: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю – Донецьк, ДонНТУ, 2007. – С.111-119
39. Управление свойствами и состоянием угольных пластов с целью борьбы с основными опасностями в шахтах/В.В.Ржевский, Б.Ф.Братченко, А.С.Бурчаков, Н.В.Ножкин. Под общей ред. В.В.Ржевского.-М.: Недра, 1984.- 327 с.
40. Определение параметров мембранной газоразделительной установки для инертизации атмосферы пожарных участков / Булгаков Ю.Ф., Жирный Ю.А., Толмачева А.Л., Бутко А. Н. // Горноспасательное дело: Сб. науч. трудов НИИГД.- Донецк, 1989.- С. 84-87.
41. Газоразделительные мембранные модули для инертизации атмосферы пожарных участков / Булгаков Ю.Ф., Жирный Ю.А., Сердюк Г.А., Толмачева А.Л. // Горноспасательная техника и противопожарная защита шахт: Сб. науч. трудов НИИГД.- Донецк, 1988.- С.74-77.
42. Применение мембранных модулей для инертизации атмосферы пожарных участков /Сергеев В.С., Жирный Ю.А., Булгаков Ю.Ф.// Профилактика и тушение пожаров на объектах народного хозяйства : Тез. докл. Респ. науч. техн.семинара.- НИИ аналитического приборостроения, Севастополь, 1988. - С.71-72.

43. Осипов С.Н. Применение инертных газов при ликвидации подземных пожаров. – Киев: «Техника», 1973. – 170с.
44. Шапошник В.А. Мембранные методы разделения смесей веществ/ Соросовский образовательный журнал.-№9, 1999.- С.26- 32.
45. Голинько В.И. Контроль взрывоопасности горных выработок шахт. / В.И.Голинько, А.К.Котляров, В.В.Белоножко. – Д.: Наука и образование, 2004. – 207 с.
46. Справочник горноспасателя /Ю.А. Гладков, А.И.Козлюк, Н.И.Привалов, А.Е.Ильин. – Донецк: Донбасс, 1988. – 247с. ISBN 5-7740-0059-1.
47. Долженков А.Ф. Развитие научных основ создания высокоэффективных средств индивидуальной защиты шахтеров : автореф. дис. да соиск. ученой степени канд.техн. наук : спец.05.26.01 «Охрана труда» / А.Ф.Долженков. – Макеевка, 2009. – 36с.
48. Долженков А.Ф. Установление тренировок к защитным свойствам шахтерской спецодежды / А.Ф.Доженков, Р.А.Садымака // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб.научн. тр. – 1998. – С.196-199.
49. КД 12.01.402-2000. Керівництво із запобігання і гасіння ендегенних пожеж на вугільних шахтах України. Затв. Мінпаленерго України 18.12.2000 нак.№38. –216 с.
50. Печук И.М. Эндогенные пожары в Донецком бассейне. / И.М.Печук, В.М.Маевская - М.: Углетехиздат, 1954. -276 с.
51. Веселовский В.С. Руководство для обоснования противопожарных профилактических мероприятий.- М. ИГД им. А.А. Скочинского, 1967. -50 с.
52. Семенов Н. Н. Тепловая теория горения и взрывов. В кн.: Теория горения и взрыва. М.: Наука, 1981.-С. 33—140.
53. Руководство по изоляции пожаров в шахтах, опасных по газу. М., изд-во «Недра», 1971, 216с.

54. Кошелев К.В. Поддержание горных выработок / К.В. Кошелев, Н.В. Игнатович, В.И. Полтавец – К.: Техника, 1991. – 176 с.

55. Костенко В.К. Забезпечення безпеки гірничорятувальників при ліквідації підземних пожеж у важкодоступних місцях/ В.К.Костенко, Ю.Ф.Булгаков, Т.В.Костенко// Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. - Донецьк, ДВНЗ „ДонНТУ”, 2008. - №2. –С. 47-53.

56. Ручкин Д.В. Методические положения определения профессионального риска горнорабочих при сооружении горных выработок / Ручкин Д.В // Горный информационно-аналитический бюл. Тематическое приложение «Безопасность». – М.: Изд-во МГГУ, 2007. – С. 280–286.

57. Соколов Э.М., Ветров В.В., Захаров Е.И., Панферова И.В. Совершенствование системы охраны труда на основе концепции профессионального риска. Изд-во Тул. гос. университет, г. Тула, 1999, 108с.

58. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. РД03-418-01 (утв. постановлением Госгортехнадзора Р.Ф. от 10 июля 201г. №3).

59. Подображин А.С. Методы и средства пылевзрывозащиты горных выработок и угольных шахт и пылевого контроля / Подображин А.С. // Горный информационно-аналитический бюл. Тематическое приложение «Безопасность». – М.: Изд-во МГГУ, 2007. – С. 287–299.

60. Воробьева О.В. Анализ методов оценки производственного риска подземной угледобычи / Воробьева О.В. // Горный информационно-аналитический бюл. Тематическое приложение «Безопасность». – М.: Изд-во МГГУ, 2007. – С. 253–265.

61. Артемьев В.Б., Подображин С.Н. Состояние промышленной безопасности, аварийности и травматизма на предприятиях угольной отрасли//Современные проблемы безопасной разработки угольных

месторождений. Координационное совещание. 22-24 ноября 2005г.: Сб.докладов – СПб.:ВНИМИ, 2006.

62. Водяник А.О. Дослідження впливу профілактичних заходів на ризику травмування на виробництві //Вісник національного технічного університету України «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ». – 2004. – Вип.11. – с.50-58.

63. Водяник А.О., Ткачук К.Н. Оцінка ризику травмування на виробництві з урахуванням імовірності нещасного випадку та тяжкості його наслідків // Проблеми охорони праці в Україні. Зб.наук.праць. – К.: ННДІОП, 2006. – Вип.11. – С.12-20.

64. Водяник А.О. Методологічні основи врахування фактора ризику в профілактиці виробничого травматизму : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.26.01 «Охорона праці» / А.О. Водяник. – Київ, 2008. – 35с.

65. Костенко Т.В. Обеспечение безопасности горноспасателей при тушении подземных пожаров в труднодоступных местах/Т.В.Костенко//Международный форум-конкурс молодых ученых «Проблемы недропользования»: Сборник научных трудов. – Санкт-Петербург, 2010. – С. 113-115.

66. Ушаков К.З. и др. Аэрология горных предприятий. – М.: «Недра». – 1987. – 421с.

67. Взрывогасящая эффективность газообразных флегматизаторов при тушении пожаров / Сергеев В.С., Булгаков Ю.Ф., Рыжков В.С., Бутко А.Н.// Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб.- Киев, 1990.- "Тэхніка".- №86 .- С. 99-103.

68. Костенко В.К., Суслов Г.М., Чистюхин В.В., Дмитров С.О. // Совершенствование системы управления ликвидацией аварий на шахтах// Уголь Украины, 1994- №10.- С. 28-30.

69. Краснянский М.Е. Огнетушащие и взрывоподавляющие порошки. – Донецк: Донбасс, 1990. – 110с.
70. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Недра, 1970. – 904с.
71. Математическая теория горения и взрыва. / Зельдович Я.Б, Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.М. – М.: Наука, 1980. – 478с.
72. Костенко В.К. Предупреждение и тушение подземных эндогенных пожаров в труднодоступных местах: монография / В.К.Костенко, Ю.Ф.Булгаков, С.В.Подкопаев, Н.В.Малеев, В.А.Коломиец, Е.Л.Завьялова, Т.В.Костенко// Донецк: Изд-во «Ноулидж» (донецкое отделение), 2010. – 253с.
73. Сиденко В.М. Основы научных исследований./ В.М. Сиденко, И.М. Глушко - Харьков: Высшая школа, 1978. – 199с.
74. Чкалова О.М.. Основы научных исследований. – Киев: Высшая школа, 1978. – 118 с.
75. Костенко В.К. Оценка взрываемости флегматизированных смесей воздуха и горючих газов/ В.К.Костенко, Ю.Ф.Булгаков, Т.В.Костенко, Л.Штрох, Л.Мокош, М.Флейшингер//IX Міжнародна науково-технічна конференція «Пожежна безпека-2009»: Збірник тез доповідей. – Львів, 2009. – С. 262-264.
76. Костенко В.К. Автофлегматизация газовоздушных смесей при тушении подземных пожаров/ В.К.Костенко, Ю.Ф.Булгаков, Т.В.Костенко, Е.Л.Завьялова// «Горноспасательное дело»: Сборник научных трудов. - Донецк, 2010. – С.57-62.
77. Костенко В.К. Совершенствование технологии инертизации воздуха в горных выработках / В.К.Костенко, Т.В.Костенко // Горный информационно-аналитический бюл. Тематическое приложение «Безопасность». – М.: Изд-во МГГУ, 2005. – С. 197–204.

78. Костенко В.К. Совершенствование технологии тушения азотом подземных пожаров в труднодоступных местах /В.К.Костенко, Ю.Ф.Булгаков, Т.В.Костенко, Ю.Сулковски // Горный информационно-аналитический бюл. Тематическое приложение «Безопасность». – М.: Изд-во МГГУ, 2006. – С. 254–261.

79. Костенко В.К. Гасіння пожеж у важкодоступних місцях за допомогою мембранних газорозділюючих установок / В.К.Костенко, Ю.Ф.Булгаков, Т.В.Костенко// Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика: матеріали V наук.-практ. конф.– Харків: ХНАДУ, 2006. – С.126-127.

80. Костенко В.К. Повышение надежности профилактики самонагревания угля в зонах геологических нарушений/ В.К.Костенко, Т.В.Костенко, Ю.Сулковски, М.Колярчик// «Górnictwo zrównoważonego rozwoju´ 2006»: konferencja naukowa, 22 list. 2006.- Seria: Górnictwo z.273 T.2. – Гливице, 2006– С. 147 – 157.

81. Патент на винахід № 77132. Спосіб подачі інертного газу до джерела горіння або саморозігрівання вугілля /В.К.Костенко, Т.В.Костенко; заявник і власник ДонНТУ. Опубл. 16.10.2006, Бюл. №10.

82. Деклараційний пат. на корисну модель № 5775. Спосіб гасіння підземних пожеж /В.К.Костенко, Т.В.Костенко; заявник і власник ДонНТУ. Опубл. 15.03.2005, Бюл. №3.

83. Патент на винахід № 79818. Спосіб попередження та гасіння джерел самонагрівання або горіння /В.К.Костенко, Т.В.Костенко; заявник і власник ДонНТУ. Опубл. 25.07.2007, Бюл. №11.

84. Деклараційний пат. на корисну модель № 11376. Спосіб подавання інертного газу до джерела самонагрівання або горіння/В.К.Костенко, Т.В.Костенко; заявник і власник ДонНТУ. Опубл. 15.12.2005, Бюл. №12.

85. Деклараційний пат. на корисну модель № 10260. Спосіб попередження та гасіння джерел самонагрівання або горіння

/В.К.Костенко, Т.В.Костенко; заявник і власник ДонНТУ. Оpubл. 15.11.2005, Бюл. №11.

86. Патент на винахід № 77132. Спосіб подачі інертного газу до джерела горіння або само розігрівання вугілля /В.К.Костенко, Т.В.Костенко; заявник і власник ДонНТУ. Оpubл. 25.07.2007, Бюл. №11/

87. Wasilewski S.: Obserwacja ciśnienia powietrza I potencjału aerodynamicznego w kopalni. Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa 2003, nr 3-4(387).

88. Костенко В.К. Удосконалення технології гасіння підземних пожеж у важкодоступних місцях за допомогою мембранних установок/В.К.Костенко, Т.В.Костенко// Матеріали VII всеукр. конф. „Пожежна безпека -2005”, Київ, МНС України, 2005, С. 202-203.

89. Костенко В.К. Совершенствование технологии тушения подземных пожаров с помощью мембранных газоразделительных установок / В.К.Костенко, О.К.Мороз, Ю.Ф.Булгаков, Т.В.Костенко, Ю.Сулковски// Bezpecnost v prumyslu (pozar-vybuch-havarie): 6. mezinarodni konference akciove spolecnosti, VVUU, 12-13.04.2007: sbornik prednasek. – Ostrava, 2007. –S. 119 – 126.

90. Костенко Т.В. Разработка системы управления подачей азота в зону подземного пожара/Т.В.Костенко, Б.В.Гавриленко//V Міжнародна науково-технічна конференція аспірантів та студентів «Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих»: Збірник наукових праць. – Донецьк, 2005. – С. 223-227.

91. Костенко Т.В. Моделирование режима автоматической подачи азота в зону подземного пожара/Т.В.Костенко, Б.В.Гавриленко//VI Міжнародна науково-технічна конференція аспірантів та студентів «Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих»: Збірник наукових праць. – Донецьк, 2006. – С. 82-85.

92. Р.Изерман, Цифровые системы управления, - М.: «Мир», - 1984.- 541с.

93. Батицкий В.А. Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП в горной промышленности: Учеб. для техникумов. / В.А.Батицкий, В.И.Куроедов, А.А.Рыжков – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1991. – 303 с.: ил.

94. Груба В.И. Технические средства автоматизации в горной промышленности/ В.И. Груба, Э.К. Никулин, А.С. Оголобченко.-К.: ИСМО, 1998.-373

95. Курносов В.Г. Научные основы автоматизации в угольной промышленности: опыт и перспективы развития : монография / В.Г.Курносов, В.И.Силаев; междунар. ин-т независимых педагогических исследований МИНПИ-ЮНЕСКО, ОАО «Автоматгормаш им. В.А.Антипова». – Донецк : изд-во «Вебер» (Донецкое отделение), 2009. – 422с. ISBN 978-966-335-316-6.

96. Красик Я.Л. Автоматизированные средства и системы управления технологическими процессами для повышения безопасности / Я.Л.Красик, В.В.Синенко, Г.В.Курсов и др. //Уголь Украины, 2006. - №9. – С.32-34.

97. Щербань А.Н., Фурман Н.И. Методы и средства контроля рудничного газа. – К.: Наук. думка, 1965. - 411 с.

98. Методика визначення соціально-економічної ефективності заходів щодо поліпшення умов і охорони праці / К.Н.Ткачук, М.О.Лисюк, І.А.Лучко, А.О.Водяник, С.П.Ткачук, Г.Г.Лесенко, В.І.Гордань. – К.:Основа, 1999. – 95с.

99. Посібник з оцінки економічної ефективності заходів щодо поліпшення умов і охорони праці / А.Водяник, О.Амоша, О.Мартякова, Д.Томанек, Н.Данько, М.Калініченко, К.Штегеман, В.Крюгер, Р.Тігофф. – К.:ТАСIS, 2000. – 48с.

100. И.Г. Манец, А.Н. Коваль, Украинско-русский горнотехнический словарь. - Донецк, Донбасс, 2001.- т.1- 463 с., т.2 - 544с.

101. Методика оценки положительного экономического эффекта от внедрения в ГВГСС и на шахтах отрасли средств новой горноспасательной техники и нормативно- технической документации.- Донецк: ВНИИГД, 1986.- 46 с.

ДОДАТОК А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД

«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Затверджено
Проректор ДонНТУ
Директор Інституту
гірництва і геології
д.т.н., проф.

_____ Ю.Ф.Булгаков

Погоджено
Перший зам.директора
НДІГС «Респіратор»
д.т.н., проф.

_____ П.С.Пашковський

РЕКОМЕНДАЦІЇ

ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ГІРНИЧОРЯТУВАЛЬНИКІВ ПРИ

ВИКОНАННІ АВАРІЙНИХ РОБІТ У НЕБЕЗПЕЧНИХ ПО ГАЗУ

ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ

ДОНЕЦЬК – 2010

Вступ

1. Загальні положення
2. Гасіння підземних пожеж
3. Особливості гасіння пожеж в залежності від місця їх виникнення
4. Методика оцінювання ризиків вражень гірничорятувальників при виконанні аварійно-рятувальних робіт
5. Методика оцінки вибуховості трьохкомпонентної газової суміші
6. Спосіб подавання інертної газової суміші. Тактичні прийоми по зниженню витоків повітря до ізолюваною аварійної ділянки

Додаток 1

Додаток 2

Додаток 3

Бібліографічний список

Вступ

Не зважаючи на інтенсивний розвиток в останній час засобів і способів гасіння підземних пожеж, актуальною залишається проблема удосконалення арсеналу технологій боротьби з вогнищами горіння, які зароджуються або мігрують у важкодоступні місця, такі як вироблений простір, деформовані вугільні цілики, завали за кріпленням підготовчих виробок тощо. На шахтах України щорічно трапляється не менш чотирьох вибухів метаноповітряних сумішей, які призводять до жертв, нерідко численних. Іноді вибухи є наслідками ускладнень таких видів аварій як загазування виробок, пожежі, особливо ендемічні, раптові викиди вугілля, газу, пісковиків.

Проблема ліквідації складних пожеж ускладнена високими ризиками травмування гірничорятувальників вражаючими факторами вибухів газоповітряних сумішей, токсичними продуктами горіння, дією високих температур, породами, що обрешуються в гірничі виробки.

Розробка українськими вченими і освоєння промисловістю випуску мобільних мембранних газорозділюючих установок відкриває перспективи високоефективного і безпечного для гірничорятувальників гасіння важких підземних пожеж. Однак, відсутність відповідних сучасним засобам технологій стримує прогрес у питаннях протипожежного захисту вугільних шахт. Крім того, інтенсифікація системи технологій пожежогасіння не повинна супроводжуватися погіршенням безпеки гірничорятувальників.

Рекомендації складені на підставі узагальнення досліджень, які були виконані в ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», в науково-дослідницькому інституті гірничорятувальної справи і протипожежного захисту «Респіратор».

1. Загальні положення

1.1. Ці Рекомендації містять вказівки щодо підвищення безпеки гірничорятувальників при веденні аварійно-рятувальних робіт за рахунок використання методики оцінювання ризиків враження гірничорятувальників при веденні аварійних робіт, методики оцінювання вибуховості газоповітряної суміші, способу подавання інертного газу до вогнища горіння, тактичних прийомів щодо зменшення витоків повітря в ізольовану дільницю.

1.2. У гірничій промисловості Україні в даний час діє «Статут ДВГРС по організації і веденню гірничорятувальних робіт», розроблений НДІГС «Респіратор», згідно якому виконуються усі аварійно-рятувальні роботи.

1.3. Підвищення безпеки гірничорятувальників може бути досягнуто за рахунок оцінки ризиків і розробки основних напрямків щодо управління цими ризиками.

1.4. Зниження ризиків враження гірничорятувальників вибухами при веденні основних видів аварійно-рятувальних робіт можна досягнути за допомогою методики оцінки вибуховості трьохкомпонентної газової суміші.

1.5. Запропоновано спосіб подавання інертного газового засобу пожежогасіння, який передбачає значне скорочення витоків повітря до аварійної дільниці.

2. Гасіння підземних пожеж

2.1. Гасіння підземних пожеж здійснюється основними способами:

- дією на осередок (зону) горіння вогнегасячими речовинами безпосередньо або дистанційно (безпосереднє або дистанційне гасіння);
- ізоляцією пожежної ділянки (виробки) від доступу свіжого повітря;
- комбінованими способами, які полягають на одночасному або послідовному застосуванні викладених вище способів.

Складовою частиною гасіння є локалізація пожеж, яка здійснюється за рахунок:

- скорочення подачі свіжого повітря до осередку горіння;
- створення перепон на шляху розповсюдження пожежі (закриття пожежних дверей, зведення перемичок);
- місцевого реверсування вентиляційного струменя;
- установлення охолоджуючих завіс (водяних, пінних) на шляху розповсюдження пожежі;
- вилучення горючого матеріалу із зони горіння або на шляху розповсюдження пожежі;
- поєднування викладених вище способів локалізації.

2.2. При виборі способу гасіння необхідно враховувати місце виникнення пожежі, вид горючого матеріалу, стадію та швидкість розвитку (розповсюдження) горіння, наявність необхідних засобів гасіння та локалізації, режим провітрювання аварійних виробок, стадію розвитку пожежі.

2.3. Технологія і організація робіт з гасіння пожеж в гірничих виробках повинні забезпечувати перевищення параметрів гасіння пожежі над параметрами її розвитку.

2.4. При наявності доступу до осередку горіння гасіння пожежі здійснюється безпосередньою дією на осередок з боку свіжого струменя повітря. Одночасно вживаються заходи щодо локалізації пожежі з боку вихідного струменя.

Допускається гасіння пожежі безпосередньою дією з боку вихідного струменя повітря при умові розміщення зони горіння поблизу виробок зі свіжим струменем та можливості ведення таких робіт за температурним фактором.

2.5. Під час безпосереднього гасіння, локалізації або ізоляції пожежі необхідно вживати заходів щодо запобігання вибухів вугільного пилу (обробка порошком, осланцювання, змивання вугільного пилу водою та ін.), висипань розжарених мас, обвалень гірничих порід, а також недопущення виникнення перешкод, які можуть перетнути вихід відділень з місця роботи.

2.6. Під час гасіння пожежі з випуском вугілля і породи здійснюються заходи попередження займання горючих матеріалів (кріплення та ін.) в місці ведення робіт, зосередження вогнегасних засобів, контролю складу рудникової атмосфери. Випуск розжарених мас (переважно у вагони) здійснюється з обов'язковим zalиванням їх водою.

2.7. Для запобігання опіків під час безпосереднього гасіння пожежі забороняється виключатися із респіратора та знімати одяг.

Для запобігання опіків або теплового ураження працюючих через пароутворення під час гасіння пожеж водою забороняється:

- знаходження людей у виробках з вихідним струменем повітря, які прилягають до зони горіння при активному гасінні водою осередку пожежі;
- подача компактного водяного струменя в центральну частину осередку горіння під час гасіння пожеж в тупикових вибоях, камерах та інших слабопрівітрюваних виробках.

2.8. Якщо на час прибуття підрозділів ДВГРС на аварійну дільницю пожежа набула таких розмірів, що наявними засобами погасити її неможливо, в першу чергу необхідно вжити заходів щодо зменшення швидкості поширення пожежі (зменшення кількості повітря, створення пожежних розривів та ін.) або її локалізації.

2.9. Після виявлення осередку пожежі незалежно від його розмірів та характеру розвитку відповідальному керівнику робіт з ліквідації аварії

необхідно вжити заходів щодо забезпечення безперервного подавання води до місця гасіння пожежі або її локалізації.

2.10. Незалежно від розмірів та характеру розвитку пожежі командний пункт повинен вжити заходів щодо зосередження на шахті більш продуктивних засобів безпосереднього або дистанційного пожежогасіння.

2.11. Якщо на шляху розповсюдження пожежі є пересічення з виробкою, по якій додатково подається свіже повітря (підсвіження), то для запобігання виникненню вторинних осередків пожежі в цьому місці провадиться охолодження газоподібних продуктів горіння або ліквідується підсвіження.

2.12. Якщо пожежу неможливо загасити безпосередньою або дистанційною дією на осередок вогнегасними речовинами або осередок недосяжний, то аварійну дільницю (виробку) ізолюють.

2.13. На протязі всього часу робіт по гасінню підземної пожежі здійснюється контроль складу атмосфери у вихідному струмені повітря. Крім того, контролюється вміст метану в свіжому струмені повітря, який надходить до осередку пожежі, провадяться виміри температури та кількості повітря у виробках. Місця і порядок контрольних вимірів та набору проб, в тому числі і дистанційним способом, встановлюються відповідальним керівником робіт з ліквідації аварії та керівником гірничорятувальних робіт.

2.14. Розкриття ізольованої дільниці з метою проведення розвідки, скорочення обсягу ізольованого простору або виконання інших робіт здійснюється згідно з проектом, який повинен передбачати заходи щодо недопущення проникнення в ізольований простір свіжого повітря, запобігання розвитку пожежі та вибуху газоповітряної суміші (шлюзування, подача інертних газів, вирівнювання тиску повітря та ін.).

2.14. Роботи по гасінню пожежі вважаються закінченими, коли в місці її виникнення та в прилягаючих гірничих виробках відсутні осередки горіння, задимленість, оксид вуглецю та інші ознаки пожежі, відновлено нормальний режим провітрювання, а температура повітря не перевищує звичайної для цих виробок.

Особливості гасіння пожеж у шахтах, небезпечних за газом та пилом.

2.15. У тих випадках, коли під час гасіння пожежі виникає загроза накопичення метану (горючих газів) в зоні горіння або зростає його вміст в свіжому струмені повітря, який надходить до осередку пожежі, вживають заходів щодо зниження вмісту метану (посилення провітрювання виробки, дегазація, зміна схеми подачі повітря до осередку пожежі та ін.).

2.16. Якщо після вжитих заходів вміст метану продовжує наростати, то після досягнення ним 2% необхідно вивести людей із небезпечної зони та вжити заходів щодо запобігання вибуху (посилення провітрювання дільниці, інертизація атмосфери та ін.).

2.17. В разі непередбаченої зміни режиму провітрювання аварійної дільниці люди, які виконують роботи по гасінню або локалізації пожежі, виводяться в безпечні місця.

2.18. Під час гасіння пожеж у шахтах, на яких використовується дегазація, необхідно оцінити її вплив на безпеку робіт на пожежній дільниці та визначити порядок її використання.

2.19. Роботи у виробках ізольованої дільниці виконуються тільки після створення в ізольованому просторі вибухобезпечної атмосфери і при умові, що процес підтримання інертного середовища є керованим.

2.20. Під час гасіння метану у виробленому просторі застосовується дегазація джерел виділення метану, дистанційна подача по свердловинах, які пробурені в зону горіння, вогнегасних речовин (піна, спінені суспензії, інертні гази та ін.) і води для охолодження порід. В разі неефективності такого гасіння аварійну дільницю ізолюють із здійсненням заходів щодо запобігання вибуху метаноповітряної суміші.

2.21. Перелік та послідовність робіт з підготовки дільниці до ізоляції, типи і конструкції ізоляційних перемичок вибираються згідно з «Основними вимогами до ведення робіт з ізоляції пожеж та відроблених дільниць».

2.22. У випадку ускладнення пожежі вибухом роботи на аварійній ділянці негайно зупиняються, а люди виводяться в безпечне місце. Поновлення робіт допускається тільки після здійснення заходів, які виключають повторні вибухи (посилення дегазації і провітрювання, інертизація та ін.). Якщо ці заходи не дають позитивних наслідків і вибухи повторюються, ділянка ізолюється на безпечних відстанях або затоплюється водою.

3. Особливості гасіння пожеж в залежності від місця їх виникнення

Пожежі в тупикових виробках

3.1. Під час гасіння пожежі в тупиковій виробці першочергові дії гірничорятувальних відділень, поряд з виводом людей і гасінням пожежі, повинні спрямовуватися на отримання достовірної інформації про газову обстановку та розвиток пожежі. Ці дії виконуються згідно з «Посібником по гасінню пожеж в тупикових виробках».

3.2. Безпосереднє гасіння пожежі або інші роботи в тупиковій виробці шахти, небезпечної за газом, не допускається, якщо:

- вміст метану у вибої досяг 2% і продовжує збільшуватися;
- порушилося нормальне провітрювання виробки (зупинка вентилятора, пошкодження вентиляційних труб та ін.);
- виробка не провітрюється і відсутня достовірна інформація про вміст метану в ній.

3.3. В шахтах, небезпечних за газом, незалежно від характеру робіт по гасінню пожежі в тупиковій виробці необхідно вжити заходів щодо підготовки виробки (дільниці) до інертизації та ізоляції.

3.4. У висхідних тупикових виробках з кутом нахилу більше 20 градусів забороняється гасіння пожежі безпосередньою дією.

Забороняється гасіння пожежі з боку вибою тупикової виробки незалежно від кута її нахилу.

3.5. Дистанційну подачу вогнегасних речовин по вентиляційному трубопроводу можливо здійснювати в тих випадках, коли такий спосіб гасіння не приводить до зменшення кількості повітря, яке подається до виробки.

3.6. Під час роботи поблизу від устя вертикальних та похилих (під кутом більше 35 градусів) тупикових виробок необхідно враховувати можливість вигорання кріплення та обвалу устя з утворенням воронки.

3.7. Якщо гірничорятувальники вимушені залишити тупикову виробку через різке ускладнення обстановки, перед виходом вони повинні залишити

відкритим найближчий до зони горіння пожежний кран або приєднати до нього і встановити водорозбризкувач, відібрати пробу повітря.

Пожежі в похилих виробках

3.8. Гасіння пожеж у похилих виробках з кутом нахилу більше 20 градусів незалежно від напрямку повітряного струменя здійснюється зверху шляхом дистанційної дії на осередок пожежі вогнегасними речовинами. При цьому треба вибирати найкоротші шляхи підходу до осередку пожежі (з паралельних виробок, збіжок та ін.).

3.9. Гасіння безпосередньою дією на осередок горіння зверху здійснюється тільки в разі відсутності небезпеки перевертання вентиляційного струменя під дією теплової депресії.

3.10. Гасіння безпосередньою дією на осередок горіння знизу допускається при умові наявності у виробці висхідного провітрювання та здійснення заходів запобігання травмуванню гірничорятувальників через падіння розжарених предметів, порід та ін.

3.11. Якщо в похилій виробці є канатна відкатка, підйомні посудини повинні бути закріплені на верхньому та нижньому приймальних майданчиках.

3.12. Під час пожеж у лавах на пластах крутого падіння підходити до осередку пожежі для її гасіння треба тільки з боку вибою або виробленого простору з використанням запобіжних перекриттів.

3.13. Під час пожеж у виробках, обладнаних стрічковими конвеєрами, поряд з безпосереднім гасінням здійснюються заходи щодо локалізації осередку пожежі, скорочення кількості повітря, яке надходить в аварійну виробку, збільшення подачі води до місця гасіння (з урахуванням її витрат установками автоматичного пожежогасіння) та запобігання скочування вантажної вітки стрічки у випадках її розриву.

Пожежі у надшахтних будовах, стволах та інших вертикальних виробках

3.14. При виникненні пожеж у надшахтних будовах, стволах та інших вертикальних виробках в першу чергу необхідно включити водяну завісу в усті виробки та закрити пожежні ляди. У стволах, обладнаних багатоканатними підйомними установками, для запобігання розповсюдження газоподібних продуктів горіння необхідно герметизувати отвори внутрішньої шахти копра та включити підпірні вентилятори.

3.15. Посилка відділень ДВГРС у вертикальні виробки для гасіння пожежі забороняється, за винятком випадків, коли є повна впевненість у безпечності цих робіт для їх виконавців.

3.16. Під час пожежі у надшахтних будовах, стволах та інших вертикальних виробках необхідно вживати заходів проти обриву канатів та падіння підйомних посудин.

4. Методика оцінювання ризиків вражень гірничорятувальників при виконанні аварійно-рятувальних робіт.

4.1. Ризик травмування на виробництві – це частота або статистична ймовірність настання нещасного випадку.

4.2. Класична схема аналізу ризиків (див. рис. 1) передбачає виконання дій, результатом яких має бути обґрунтоване рішення щодо способу впливу на ризик. Методи досліджень мають вписуватися в наведену на рис.1 схему й повинні забезпечити: отримання інформації про причини травмування (явні і приховані), отримання кількісних оцінок ризику травмування за цими причинами, трансформування результатів досліджень у профілактичні заходи.



Рис. 1. Схема обґрунтування профілактичних заходів для мінімізації ризику

4.3. Загальний ризик травмування R дорівнює сумі ризиків за причинами, що призвели до травмування:

$$R = \sum_{i=1}^n P(\Pi_i) \quad (1)$$

де Π_i - показник, що характеризує заходи і засоби профілактики травматизму,

$$P = N_{зм} \cdot \frac{L_{зони}}{360 \cdot v_{відділення}} \quad (2)$$

де $N_{зм}$ - кількість змін, протягом яких відбуваються роботи,

$L_{зони}$ - протяжність зони ризику,

$v_{\text{відділення}}$ - швидкість переміщення відділення гірничорятувальників по зоні ризику (Додаток 2),

360 хв – час, протягом якого триває зміна.

4.4. На кожному з етапів ведення оперативних дій можна виділити найбільш істотні види небезпек, що підстерігають гірничорятувальників:

4.4.1. Пожежа:

- теплою вогнища горіння;
- токсичними продуктами пожежі;

4.4.2. Вибух пилогазоповітряної суміші:

- ударною хвилею від вибуху;
- теплою продуктів вибуху;
- токсичними продуктами вибуху;

4.4.3. Обвалення порід

4.4.4. Ядуха

4.5. Сумарний ризик вражень гірничорятувальників можна розглянути як:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \Pi_j = P_1 \cdot \Pi_{11} + P_1 \cdot \Pi_{12} + P_2 \cdot \Pi_{21} + P_2 \cdot \Pi_{22} + P_2 \cdot \Pi_{23} + P_2 \cdot \Pi_{24} + \\ + P_3 \cdot \Pi_{31} + P_3 \cdot \Pi_{32} + P_3 \cdot \Pi_{33} + P_3 \cdot \Pi_{34} + P_4 \cdot \Pi_{41} + P_4 \cdot \Pi_{42} + P_4 \cdot \Pi_{43} + P_4 \cdot \Pi_{44} + \\ + P_5 \cdot \Pi_{51} + P_5 \cdot \Pi_{52} + P_5 \cdot \Pi_{53} + P_5 \cdot \Pi_{54} + P_6 \cdot \Pi_{61} + P_6 \cdot \Pi_{62} + P_6 \cdot \Pi_{63} + P_6 \cdot \Pi_{64} + P_6 \cdot \Pi_{65} + \\ + P_7 \cdot \Pi_{71} + P_7 \cdot \Pi_{72} \quad (3)$$

де ризику вражень:

$P_1 \cdot \Pi_{11}$ – ударною хвилею від вибуху ГПС без використання КПШ (комплексу противибуховий швидкозводимий);

$P_1 \cdot \Pi_{12}$ – ударною хвилею від вибуху ГПС з використанням КПШ (комплексу противибуховий швидкозводимий);

$P_2 \cdot \Pi_{21}$ – високою температурою від вибуху ГПС без використання засобів протитеплого захисту;

$P_2 \cdot \Pi_{22}$ – високою температурою від вибуху ГПС з використанням охолоджуючого елементу в респіраторі;

$P_2 \cdot P_{23}$ – високою температурою від вибуху ГПС з використанням протитеплової куртки;

$P_2 \cdot P_{24}$ – високою температурою від вибуху ГПС з використанням протитеплого костюму;

$P_3 \cdot P_{31}$ – токсичними продуктами вибуху без використання засобів захисту;

$P_3 \cdot P_{32}$ – токсичними продуктами вибуху з використанням саморятівника (час захисної дії $t_{зд}=50\text{хв}$);

$P_3 \cdot P_{33}$ – токсичними продуктами вибуху з використанням допоміжного респіатора Р-34 ($t_{зд}=120\text{хв}$);

$P_3 \cdot P_{34}$ – токсичними продуктами вибуху з використанням основного респіатора Р-30 або РХ-4Е ($t_{зд}=240\text{хв}$);

$P_4 \cdot P_{41}$ – токсичними продуктами пожежних газів без використання засобів захисту;

$P_4 \cdot P_{42}$ – токсичними продуктами пожежних газів з використанням саморятівника ($t_{зд}=50\text{хв}$);

$P_4 \cdot P_{43}$ – токсичними продуктами пожежних газів з використанням допоміжного респіатора Р-34 ($t_{зд}=120\text{хв}$);

$P_4 \cdot P_{44}$ – токсичними продуктами пожежних газів з використанням основного респіатора Р-30 або РХ-4Е ($t_{зд}=240\text{хв}$);

$P_5 \cdot P_{51}$ – високою температурою від пожежних газів без використання засобів протитеплого захисту;

$P_5 \cdot P_{52}$ – високою температурою від пожежних газів з використанням охолоджуючого елементу в респіраторі;

$P_5 \cdot P_{53}$ – високою температурою від пожежних газів з використанням протитеплової куртки;

$P_5 \cdot P_{54}$ – високою температурою від пожежних газів з використанням протитеплого костюму;

- $P_6 \cdot P_{61}$ – ядухою без використання засобів захисту;
- $P_6 \cdot P_{62}$ – ядухою з використанням саморятівника ($t_{зд}=50\text{хв}$);
- $P_6 \cdot P_{63}$ – ядухою з використанням допоміжного респіратора Р-34 ($t_{зд}=120\text{хв}$);
- $P_6 \cdot P_{64}$ – ядухою з використанням основного респіратора Р-30 або РХ-4Е ($t_{зд}=240\text{хв}$);
- $P_6 \cdot P_{65}$ – ядухою з провітрюванням тупикової виробки;
- $P_6 \cdot P_{66}$ – ядухою без провітрювання тупикової виробки;
- $P_7 \cdot P_{71}$ - обваленням в районі зведення перемички без засобів профілактики;
- $P_7 \cdot P_{72}$ - обваленням в районі зведення перемички з використанням механізованого зведення перемички та безврубової перемички.

4.6. Проведення аналізу розрахованих ризиків дає можливість обрати основні напрямки управління ризиками (Додаток 3).

5. Методика оцінки вибуховості трьохкомпонентної газової суміші

5.1. Необхідно при ведені аварійних робіт оцінювати вибухонебезпечність флегматизованих газових сумішей.

5.2. Зручно розглядати газову суміш, що утворюється поблизу вогнища горіння, як трьохкомпонентну систему, яка складається із: окислювача, горючого, флегматизатору. Окислювачем, як правило, є кисень. Горючим – метан, оксид вуглецю, водень, їх комбіновані суміші, а також добавки інших горючих газів. Флегматизатори – азот, діоксид вуглецю, водяна пара і їх суміші. При цьому компоненти системи знаходяться у взаємодії:

$$C_o + C_z + C_\phi = 100, \%, \quad (4)$$

де C_o, C_z, C_ϕ - відповідно сумарні концентрації окислювача, горючих і флегматизуючих газів, %.

5.3. Геометрично таку газову трьохкомпонентну систему можна представити в декартовій системі координат «окислювач-горюче-флегматизатор» як площину, що перетинає координатні осі у точках 100% (рис.2). Кожному поєднанню компонентів газової суміші відповідає точка на цій площині. Область вибухових сумішей знаходиться всередині трикутника L_{ni}, L_{gi}, E_{II} , де величини L_{ni} і L_{gi} відповідно верхня і нижня межа вибуховості суміші горючого і кисню, E_{II} – пік спалаху. Ці значення відомі за результатами лабораторних досліджень сумішей горючих газів.

5.4. Якщо до газоповітряної суміші додавати флегматизатор, то величина трикутника буде зменшуватися. Так для сумішей із вмістом флегматизатору 79% (повітря) і 90% будуть отримані трикутники L_{n79}, L_{g79}, E_{II} (азначено кольором) і L_{n90}, L_{g90}, E_{II} . Динаміка сумішей окислювача і флегматизатору при розчиненні їх горючим може бути охарактеризована

лініями $C_{o79} - L_{n79}$, $L_{e79} - C_{z100}$ і $C_{o90} - L_{n90}$, $L_{e90} - C_{z100}$ (див. рис. 2). При цьому в інтервалі $L_{ni} - L_{ei}$ газова суміш є вибуховою.

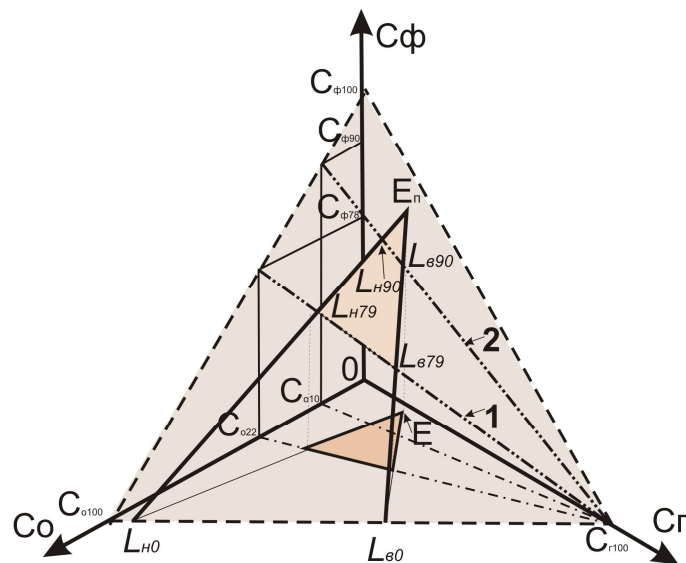


Рис. 2. Схема визначення вибуховості трьохкомпонентних газових сумішей:

C_{oi} , C_{zi} , C_{fi} - концентрації у складі суміші відповідно окислювача, флегматизатора, горючого; L_{ni} і L_{ei} - відповідно нижня і верхня межа вибуховості газової суміші, де i - процентний вміст флегматизатору у складі суміші; $E_{п}$ - пік спалаху суміші за киснем; 1,2 - лінії, що характеризують газові середовища з вмістом кисню відповідно 79 і 90%.

5.5. Традиційний трикутник вибуховості є проекцією побудованого нами $\Delta L_{ni}, L_{ei}, E_{п}$ на горизонтальну площину, координати її осей - «окислювач-горюче» (рис. 3). Зі збільшенням частки інертних газів у складі суміші інтервал вибуховості значно скорочується. При цьому нижня межа вибуховості змінюється повільно, динаміка обумовлена зміною верхньої межі.

5.6. Динаміка зміни складів газових сумішей, що подаються до вогнища горіння (зображені на рис. 3 пунктирними лініями), при виконанні умови (4) у загальному вигляді можуть бути представлені наступним рівнянням:

$$\frac{C_z}{100} + \frac{C_o}{100 - C_{uf}} = 1, \quad (5)$$

де C_z, C_o, C_{uf} – вміст відповідно горючого, окислювача и флегматизатору у складі газової суміші, що поступає до вогнища горіння.

5.7. Для обґрунтування розрахункового алгоритму слід розглянути фрагмент $\Delta L_{ni}, L_{vi}, E_{II}$, що представлений на рис.4, який примикає до вершини E_{II} .

5.7.1. Сторони трикутника $\Delta L_{ni}, L_{vi}, E_{II}$ можна описати математичними залежностями прямих ліній, що проходять через дві крапки. Разом із залежністю (4) вони створюють систему із алгебраїчних рівнянь з трьома невідомими. Рішення такої системи не викликає суттєвих ускладнень.

$$\begin{cases} \frac{C_z - C_{zn1}}{C_{zn2} - C_{zn1}} = \frac{C_o - C_{on1}}{C_{on2} - C_{on1}} = \frac{C_\phi - C_{\phi n1}}{C_{\phi n2} - C_{\phi n1}} \\ \frac{C_z - C_{z\phi1}}{C_{z\phi2} - C_{z\phi1}} = \frac{C_o - C_{o\phi1}}{C_{o\phi2} - C_{o\phi1}} = \frac{C_\phi - C_{\phi\phi1}}{C_{\phi\phi2} - C_{\phi\phi1}} \\ \frac{C_z}{100} + \frac{C_o}{100} + \frac{C_\phi}{100} = 1 \end{cases} \quad (6)$$

5.7.2. В свою чергу, кожне рівняння прямої, що проходить через дві крапки, можна перетворити на систему двох лінійних рівнянь. Перша залежність системи (6) може бути перетворена наступним чином:

$$\begin{aligned} \frac{C_z - C_{zn1}}{C_{zn2} - C_{zn1}} = \frac{C_o - C_{on1}}{C_{on2} - C_{on1}} = \frac{C_\phi - C_{\phi n1}}{C_{\phi n2} - C_{\phi n1}} = \\ = \begin{cases} (C_z - C_{zn1})(C_{on2} - C_{on1}) = (C_{zn2} - C_{zn1})(C_o - C_{on1}) \\ (C_z - C_{zn1})(C_{\phi n2} - C_{\phi n1}) = (C_{zn2} - C_{zn1})(C_\phi - C_{\phi n1}) \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

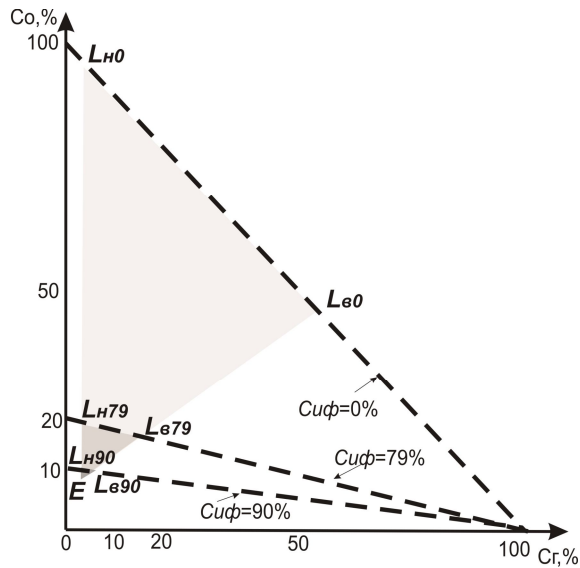


Рис. 3. Діаграма формування вибухових газових сумішей при подаванні флегматизаторів до аварійних гірничих виробок:

$C_{и\phi}$ – вміст флегматизуючих газів у складі повітря, що подається до виробки; інші позначення як на рис. 2.

Аналогічно трансформується друга залежність:

$$\begin{aligned} \frac{C_z - C_{z\phi 1}}{C_{z\phi 2} - C_{z\phi 1}} &= \frac{C_o - C_{o\phi 1}}{C_{o\phi 2} - C_{o\phi 1}} = \frac{C_\phi - C_{\phi 1}}{C_{\phi 2} - C_{\phi 1}} = \\ &= \begin{cases} (C_z - C_{z\phi 1})(C_{o\phi 2} - C_{o\phi 1}) = (C_{z\phi 2} - C_{z\phi 1})(C_o - C_{o\phi 1}) \\ (C_z - C_{z\phi 1})(C_{\phi 2} - C_{\phi 1}) = (C_{z\phi 2} - C_{z\phi 1})(C_\phi - C_{\phi 1}) \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

5.7.3. Рішення задачі вибухонебезпечних властивостей метаноповітряної суміші зведено до визначення координат кінців і довжини відрізків 1 чи 2 (див. рис. 4), що знаходяться поміж лініями (7) і (8).

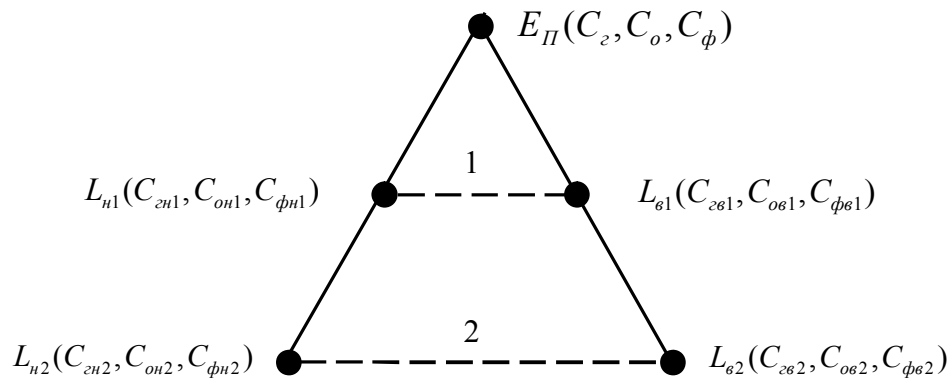


Рис. 4. Фрагмент $\Delta L_{ni}, L_{\phi i}, E_{\Pi}$:

1,2 – відрізки, які характеризують діапазони вибуховості газових сумішей, що мають нижні L_{n1} , L_{n2} і верхні $L_{\phi1}$, $L_{\phi2}$ межі вибуховості із відповідними значеннями концентрацій горючого - C_{zi} , окислювача - C_{oi} , флегматизатору - $C_{\phi i}$.

6. Спосіб подавання інертної газової суміші. Тактичні прийоми по зниженню витоків повітря до ізолюваною аварійної ділянки

6.1. Способи і засоби подачі азоту вибирають, виходячи з гірничотехнічних умов, наявності технічних засобів подачі азоту, прийнятої технологічної схеми подавання його у гірничі виробки аварійної ділянки й обраного способу ліквідації аварії. Більш прогресивним представляється спосіб одержання газоподібного азоту безпосередньо на шахті за допомогою пристроїв, що розділяють повітря на складові його компоненти – газорозділюючих станцій.

6.2. Українськими дослідницькими організаціями і виробничими підприємствами створена потужна пересувна установка, яка призначена для одержання з атмосферного повітря газоподібного азоту, що може використовуватись для попередження, локалізації і гасіння підземних пожеж у шахтах, забезпечення безпеки ведення гірничих робіт, а також для інших пожежовибухонебезпечних технологій у народному господарстві.

6.2.1. Основні технічні дані установки типу АМГП-15/0,7СУ1:

- продуктивність станції по азоту на виході з мембранного модуля при концентрації азоту 95 %, м³/хв. 15 ± 2
- концентрація азоту на виході зі станції, % 95,5
- тиск азоту на виході, номінальне, МПа (кгс/см²) 0,8 (8)

6.2.2. Азотно-компресорна станція встановлюється на поверхні шахти і з'єднується спеціально прокладеним або технологічним шахтним трубопроводом з аварійною ділянкою.

6.2.3. У залежності від гірничотехнічних умов, наявних технічних засобів подачі азоту і прийнятої схеми випуску його в ізолюваний простір визначається відповідний порядок роботи азотно-компресорної станції і підготовчих операцій, зв'язаних з доставкою газоподібного азоту в аварійну ділянку.

6.2.4. Шахтний технологічний трубопровід спеціально готують для подачі газоподібного азоту. З цією метою усі відгалуження від основної магістралі (трубопроводи, що йдуть на інші ділянки, відводи) перекривають і на кожному відводі встановлюють заглушки. Це робиться для запобігання витоків азоту і загазування їм інших експлуатаційних ділянок шахти.

6.2.5. Перед подачею азоту оглядають трубопровід і усувають виявлені недоліки. Після цього здійснюють пробний випуск азоту, виявляють місцеві витoki й усувають них. По відповідних методиках розраховують параметри подавання азоту в аварійну ділянку. При цьому подавання азоту може здійснюватися з боку відкаточного або вентиляційного штреків, через прорізи в ізолюючих перемичках, а також по свердловинах, які пройдені з поверхні в ізолювану пожежну ділянку.

6.3. При інертизації видобувних аварійних гірничих виробок встановлюють ізолюючі перемички збоку свіжого струменя повітря і збоку висхідного струменя, витoki повітря обумовлені перепадом (депресією) тиску вентиляційного струменю між ізолюючими перемичками.

6.3.1. Основні чинники, що призводять до виникнення перепаду тиску, це робота вентиляційних установок головного та місцевого провітрювання, а також дія теплової депресії, що викликана геотермальним нагріванням повітря у виробках, або наявністю вогнища горіння. Рівень депресії на аварійній ділянці не є стабільним, його коливання обумовлені змінами атмосферного тиску, які викликані зрушеннями порід у виробленому просторі, відкриттям шлюзів, вибуховими роботами та іншими чинниками перехідними процесами у шахтній вентиляційній мережі, розвитком або затуханням пожежі та ін.

6.3.2. Для зниження депресії використовують так звані камери вирівнювання тиску (КВТ) у яких за рахунок використання енергії вентиляторів місцевого провітрювання (ВМП) нейтралізують перепад тиску між ізолюючими перемичками. Громіздкість цих споруд не дозволяє забезпечити точне і оперативне регулювання тиску, а також призводить до додаткових втрат енергії.

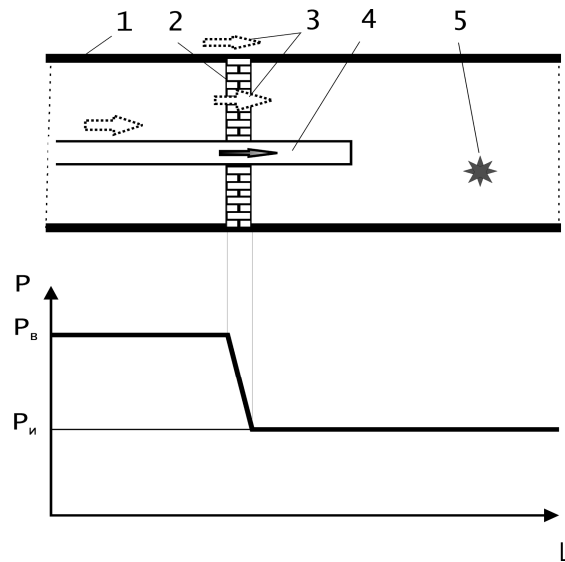


Рис. 5. Схема подавання інертного газу до вогнища горіння і графік розподілу тиску газу у виробці:

1 – виробка; 2 – ізолююча перемичка; 3 – витоки повітря крізь перемичку та гірничі породи; 4 – трубопровід для подавання інертного газу; 5 – вогнище горіння; P_v , P_i - відповідно тиск повітря до і за ізолюючою перемичкою

6.3.3. Більш надійним, компактним та ефективним засобом ізоляції може бути технологія, в якій джерелом протитиску є енергія потужних компресорів газорозділюючої станції. Її використання дозволяє перенести перепад тиску на ізолюючу перемичку яка розділює ділянки виробки заповнені азотом, це дозволяє замінити втіки повітря втіками азоту, що забезпечує якісно новий підхід до інертизації вогнищ горіння за допомогою мембранних установок (рис.6).

6.4. Запропоновано спосіб гасіння підземних пожеж за допомогою інертного газу, що передбачає зведення у виробці, зі свіжим струменем повітря основної ізолюючої перемички з умонтованою трубою, подачу через неї інертного газу від газифікаційної установки, створення в районі вогнищ горіння газової суміші з низьким змістом кисню, зведення між ізолюючою перемичкою і вогнищем горіння додаткової ізолюючої перемички з проємною

трубою, що оснащена дистанційно керованим регулятором її прохідного перетину.

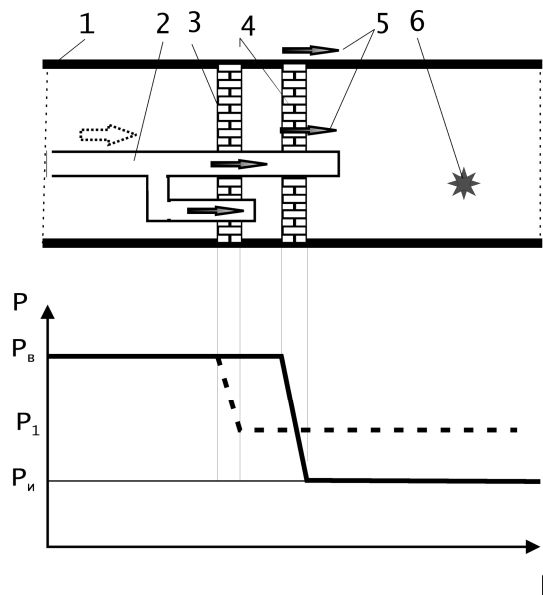


Рис. 6. Схема подавання інертного газу до вогнища горіння і графік розподілу тиску газу у виробці:

1 – виробка; 2 – трубопровід для подавання інертного газу; 3, 4 – основна та додаткова ізолюючі перемички; 5 – витоки азоту крізь перемичку та гірничі породи; 6 – вогнище горіння; P_v , P_n – відповідно тиск повітря до і за ізолюючою перемичкою; пунктир – розподіл тиску за відсутністю додаткової перемички

6.4.1. Органи управління потоками інертного газу знаходяться у ділянці виробки із свіжим повітрям. Це забезпечено за рахунок надання інертного газу по трубопроводу від газифікаційної установки газової суміші з низьким вмістом кисню поблизу вогнища горіння або самонагрівання та регулювання газового тиску в камері, яка створена шляхом зведення у виробці ізолюючої перемички із двома отворами та додаткової перемички із одним отвором з боку надходження до вогнища самонагрівання або горіння вугілля свіжого струменя повітря, в якому трубопровід для подавання інертного газу послідовно підключено до отворів у ізолюючої та додаткової перемичках. На ділянці між газифікаційною установкою та ізолюючою перемичкою він має патрубок який

підключено до другого отвору у ізолюючої перемичці, частка труби для подавання інертного газу між патрубком і ізолюючою перемичкою та патрубок оснащені регуляторами витрати.

6.4.3. На першому етапі подавання газової суміші з вмістом кисню близько 5% відкривають обидва регулятори за допомогою яких здійснюють вирівнювання тиску газів по обидва боки ізолюючої перемички, а після того як інертною газовою сумішшю буде заповнена ділянка виробки між додатковою перемичкою та джерелом горіння або самонагрівання, на другому етапі для подавання газової суміші зі змістом кисню близько 2% перекривають за допомогою регулятора витрати подачу азоту по частці труби між патрубком і ізолюючою перемичкою (рис. 7).

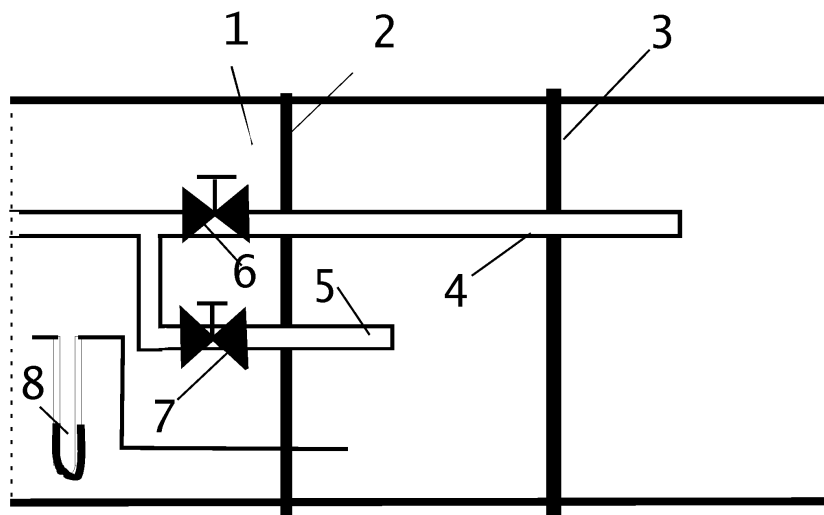


Рис. 7 - Спосіб попередження та гасіння джерел самонагрівання або горіння:

1- виробка; 2 - ізолююча перемичка; 3 - додаткова ізолююча перемичка; 4 - трубопровід для подавання інертного газу від газифікаційної установки; 5 – патрубок для подавання інертного газу; 6. 7- регулятори витрати інертного газу; 8 - диференційний манометр та пневмокабель.

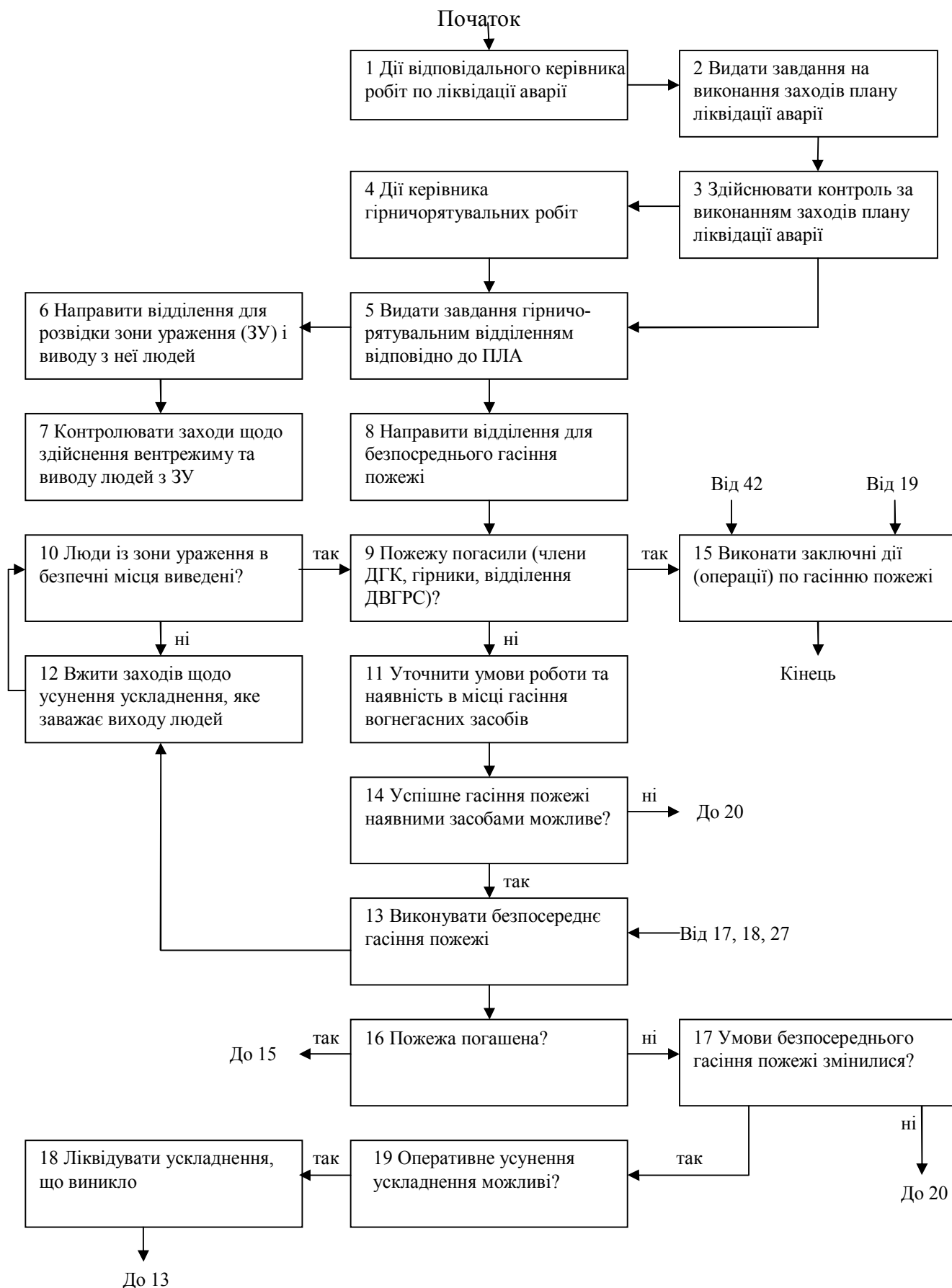
6.4.4. У вихідному стані, коли регулятори витрати інертного газу 6. 7 закриті, повітря під дією загальношахтної депресії фільтрується через тіла перемичок 2 і 3, та у виді витоків просочується через тріщини в гірничих

породах, надходить до вогнища горіння або джерела самонагрівання вугілля. Манометр 8, з'єднаний пневмокабелем зі простором між перемичками 2 і 3, фіксує перепад тиску по обидва боки ізолюючої перемички 2. Гасіння пожежі чи профілактику самозаймання вугілля роблять у такий спосіб. На першому етапі відкривають регулятори витрати інертного газу 6,7 встановлені у трубопроводі для подавання азоту від газифікаційної установки. При цьому регулятор 7, встановлений на патрубку 5 доцільно відкривати першим. Інертний газ, поступаючи крізь патрубок 5, заповнює камеру створену у виробці між двома перемичками 2 і 3, зміст кисню в камері поступово знижується практично до нуля. Після встановлення номінальної витрати інертного газу, вимірюють за допомогою манометра 8 різницю тиску в камері між перемичками 2 та 3 і перед перемичкою 2. Керуючи витратами інертного газу за допомогою регуляторів витрати 6 та 7 домагаються вирівнювання тиску в обох гілках U-образного диференціального манометра 8. Після цього витoki через перемичку 2 та оточуючий її породи – відсутні. Інертний газ надходить до вогнища горіння або джерела самонагрівання вугілля поступаючи з трубопроводу 3, а також у виді втік крізь тіло перемички 3 та оточуючи її тріщинуваті породи. При цьому якісний склад виток через тіло перемички 3 такий, що в них відсутній кисень. Це що досягається завдяки поданню інертного газу (азоту) через патрубок 5 до камери між перемичками 2 і 3.

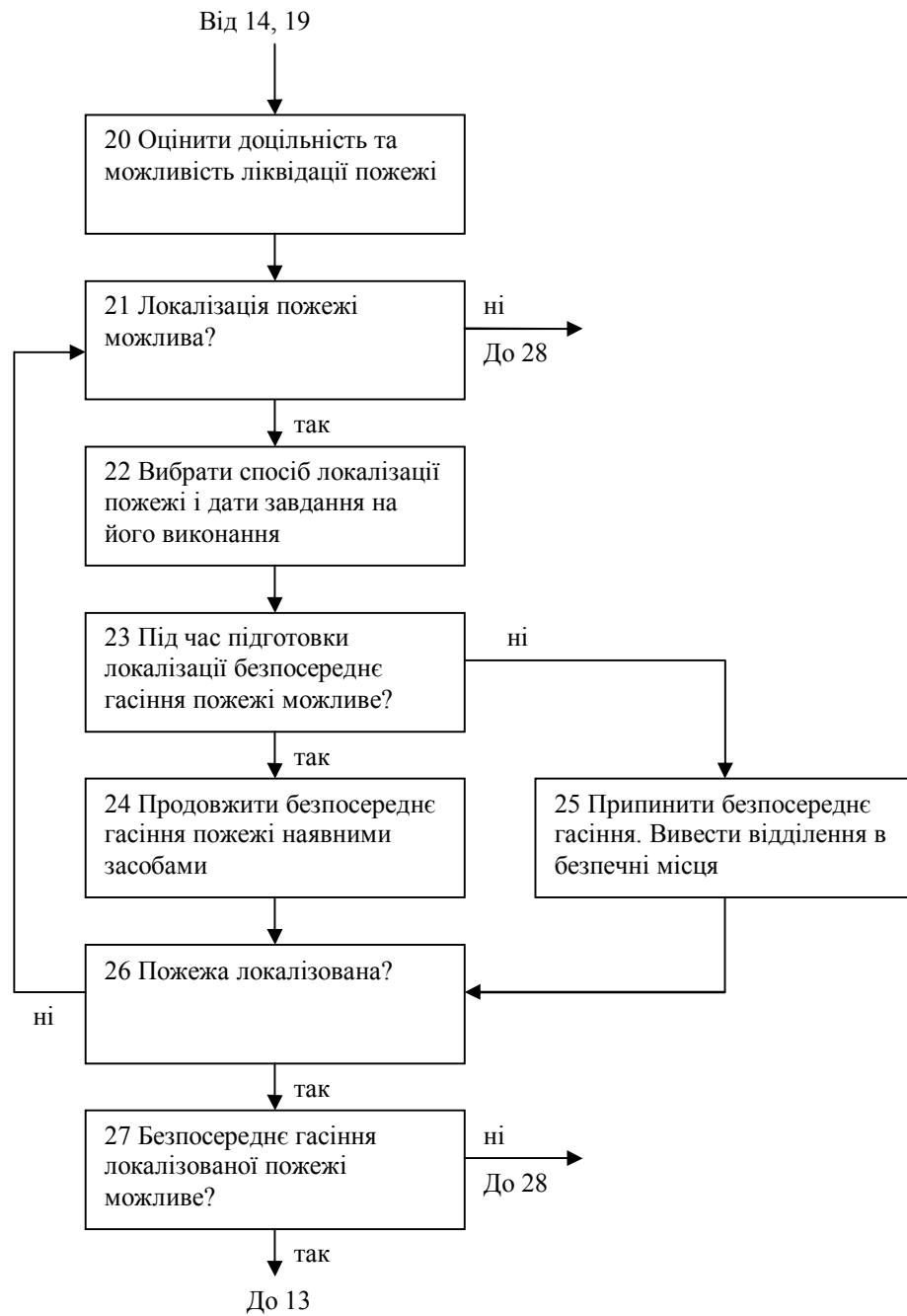
6.4.5. За рахунок заміни повітря, що заповнює камеру між ізолюючими перемичками, на інертний газ, який надають крізь патрубок за ізолюючу перемичку знижається доступ кисню в ізольовану ділянку виробки до вогнища горіння або джерела самонагрівання вугілля, за допомогою регуляторів витрати інертного газу здійснюють керування процесом запобігання надходження повітря крізь ізолюючу перемичку, чим забезпечується стабільне, надійне та ефективне гасіння пожежі або профілактики самозаймання вугілля.

6.4.6. На другому етапі гасіння розрахунковим методом обчислюють тривалість заповнення інертним газом, який містить до 5%, кисню ділянки

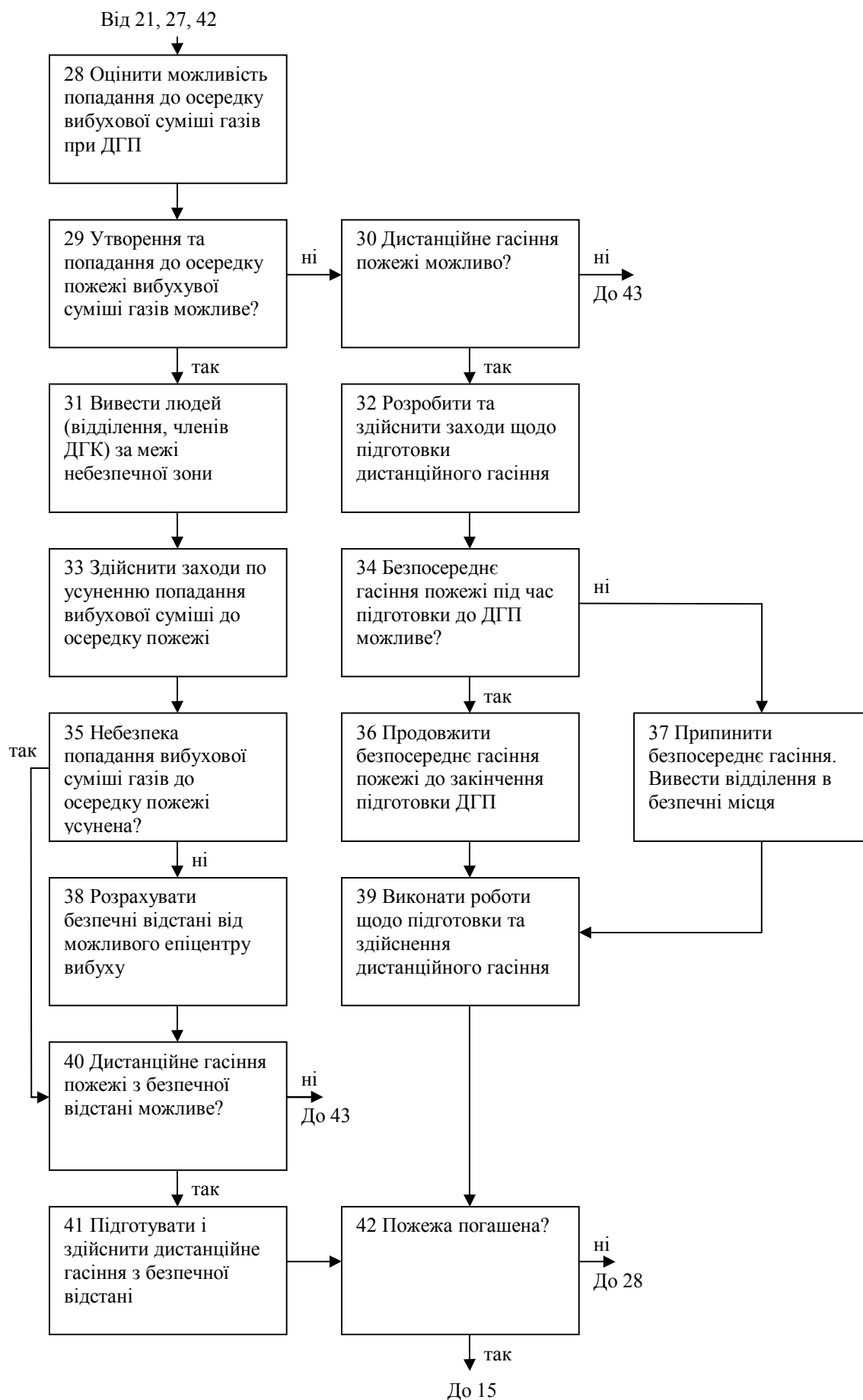
виробки між джерелом окислювання вугілля та додатковою перемичкою. Після інертизації цієї частки виробки зачиняють регулятор витрат 6, який знаходиться на ділянці трубопроводу між ізолюючою перемичкою та патрубком. За рахунок цього суттєво скорочується потік азоту від газифікаційної установки знижується тиск на мембранному газорозділюючому вузлі за рахунок чого суттєво зменшується зміст кисню у складі надаваної від установки газової суміші.



Локалізація пожежі



Дистанційне гасіння пожежі



Ізоляція пожежі



Швидкість пересування відділень ДВГРС у не придатній для дихання атмосфері при повній видимості, м/хв.

Робота, яка виконується	Висота виробки, м	Кут нахилу виробки, град						
		0	10	15	20	30	40	70
Слідування униз при розвідці	0,6	8,4	6,3	5,4	4,7	3,5	2,7	1,2
	0,8	13,6	10,2	8,8	7,6	5,7	4,3	2,0
	1,0	18,9	14,1	12,2	10,6	8,0	6,0	2,7
	1,2	24,1	18,1	15,6	13,5	10,2	7,7	3,5
	1,4	29,3	22,0	19,0	16,4	12,4	9,3	4,2
	1,7	37,2	27,9	24,1	20,8	15,7	11,8	5,4
	2,0	45,0	33,3	29,1	25,2	19,0	14,3	6,5
Слідування вверх при розвідці	0,6	8,4	5,8	4,8	4,0	2,9	2,1	1,0
	0,8	13,6	9,4	7,8	6,6	4,6	3,4	1,6
	1,0	18,9	13,0	10,8	9,1	6,4	4,6	2,3
	1,2	24,1	16,6	13,9	11,6	8,2	5,9	2,9
	1,4	29,3	20,2	16,9	14,1	10,0	7,2	3,5
	1,7	37,2	25,7	21,4	17,9	12,7	9,2	4,5
	2,0	45,0	31,1	25,9	21,7	15,3	11,1	5,4
Слідування униз при ліквідації аварії	0,6	6,3	4,7	4,1	3,5	2,7	2,0	0,9
	0,8	10,2	7,6	6,6	5,7	4,3	3,2	1,5
	1,0	14,1	10,6	9,2	7,9	6,0	4,5	2,0
	1,2	18,1	13,5	11,7	10,1	7,6	5,8	2,6
	1,4	22,0	16,4	14,2	12,4	9,3	7,0	3,2
	1,7	27,9	20,8	18,0	15,6	11,8	8,9	4,0
	2,0	33,3	25,2	21,9	18,9	14,2	10,7	4,9
Слідування вверх при ліквідації аварії	0,6	6,3	4,3	3,6	3,0	2,1	1,5	0,8
	0,8	10,2	7,1	5,9	4,9	3,5	2,5	1,2
	1,0	14,1	9,8	8,1	6,8	4,8	3,5	1,7
	1,2	18,1	12,5	10,4	8,7	6,1	4,5	2,2
	1,4	22,0	15,2	12,6	10,6	7,5	5,4	2,6
	1,7	27,9	19,2	16,0	13,4	9,5	6,9	3,3
	2,0	33,3	23,3	19,4	16,2	11,5	8,3	4,0
Транспортування потерпілого униз	0,6	3,9	3,1	2,7	2,5	2,1	1,8	1,3
	0,8	6,6	5,0	4,4	3,9	3,0	2,4	1,5
	1,0	9,2	6,9	6,0	5,2	4,0	3,1	1,8
	1,2	11,9	8,8	7,6	6,5	4,9	3,8	2,0
	1,4	14,6	10,7	9,2	7,9	5,9	4,5	2,3
	1,7	18,6	13,5	11,6	9,9	7,4	5,5	2,6
	2,0	22,6	16,4	14,0	12,0	8,8	6,6	3,0
Транспортування потерпілого вверх	0,6	3,9	2,7	2,3	1,9	1,4	1,1	0,7
	0,8	6,6	4,4	3,6	3,0	2,1	1,6	0,8
	1,0	9,2	6,1	5,0	4,1	2,8	2,0	0,9
	1,2	11,9	7,8	6,3	5,2	3,5	2,4	1,1
	1,4	14,6	9,5	7,7	6,3	4,2	2,9	1,2
	1,7	18,6	12,1	9,7	7,9	5,2	3,5	1,3
	2,0	22,6	14,6	11,8	9,5	6,3	4,2	1,5

Із збільшенням пройденої відстані та навантаження на одного респіраторника приведена у таблицях швидкість пересування зменшується з урахуванням поправочних коефіцієнтів (табл. 3).

Таблиця 2

Поправочні коефіцієнти

Середнє навантаження на респираторника, кг/чел.	Пройдена відстань, км									
	До 0,5	0,5 1,0	1,0 1,5	1,5 2,0	2,0 2,5	2,5 3,0	3,0 3,5	3,5 4,0	4,0 4,5	4,5 5,0
До 15	1,00	0,97	0,94	0,90	0,87	0,84	0,81	0,77	0,74	0,71
15-20	0,94	0,91	0,87	0,84	0,81	0,78	0,74	0,71	0,68	0,65
20-25	0,88	0,84	0,81	0,78	0,75	0,71	0,68	0,65	0,62	0,58
25-30	0,81	0,78	0,75	0,71	0,68	0,65	0,62	0,58	0,55	0,52
30-35	0,75	0,72	0,68	0,65	0,62	0,59	0,55	0,52	0,49	0,46
35-40	0,69	0,65	0,62	0,59	0,56	0,52	0,49	0,46	0,43	0,40
40-45	0,62	0,59	0,56	0,53	0,49	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33
45-50	0,56	0,53	0,50	0,46	0,43	0,40	0,37	0,33	0,30	0,27

Із збільшенням температури повітря та задимленості атмосфери швидкість пересування гірничорятувальних відділень зменшується у відповідності із поправочними коефіцієнтами (табл. 4).

Таблиця 3

Поправочні коефіцієнти

Температура повітря у виробках, С	Видимість у виробці, м									
	До 2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	Більше 10
До 27	0,17	0,26	0,36	0,45	0,54	0,63	0,72	0,82	0,91	1,00
27-31	0,16	0,25	0,35	0,44	0,53	0,62	0,71	0,81	0,90	0,99
32-36	0,15	0,24	0,33	0,43	0,52	0,61	0,70	0,79	0,89	0,98
37 та більше	0,14	0,23	0,32	0,41	0,50	0,60	0,69	0,78	0,87	0,96

Основі напрямки управління ризиками

Види ризиків враження	Засоби зменшення ризиків
Ударною хвилею від вибуху ГПС	комплекс противибуховий швидкозводимий типу КПШІ
Високою температурою від вибуху ГПС	1) охолоджуючий елемент в респіраторі 2) протитеплова куртка 3) протитепловий костюм
Токсичними продуктами вибуху ГПС	1) саморятівник (tзд*=50хв) 2) допоміжний респіратор Р-34 (tзд=120хв) 3) основний респіратор типу Р-30 або РХ-4Е (tзд=240хв)
Токсичними продуктами пожежних газів	1) саморятівник (tзд*=50хв) 2) допоміжний респіратор Р-34 (tзд=120хв) 3) основний респіратор типу Р-30 або РХ-4Е (tзд=240хв)
Високою температурою від пожежних газів	1) охолоджуючий елемент в респіраторі 2) протитеплова куртка 3) протитепловий костюм
Ядуха	1) саморятівник (tзд*=50хв) 2) допоміжний респіратор Р-34 (tзд=120хв) 3) основний респіратор типу Р-30 або РХ-4Е (tзд=240хв) 4) провітрювання тупикової виробки 5) апаратура автоматизації для дистанційного гасіння пожеж
Обвалення порід в районі зведення перемички	1) механізоване зведення перемички 2) зведення безврубової перемички
* tзд – час захисної дії саморятівника або респіратору, хв	

Бібліографічний список

1. ДНАОП 1.1.30 - 4.01.97. Статут ДВГРС по організації і веденню гірничорятувальних робіт. – Київ: Вид. „Основа”, 1997. – 453 с.
2. Булгаков Ю.Ф. Тушение пожаров в угольных шахтах/ Ю.Ф.Булгаков. – Донецк: НИИГД, 2001. -280 с.
3. Патент на винахід № 77132. Спосіб подачі інертного газу до джерела горіння або саморозігрівання вугілля /В.К.Костенко, Т.В.Костенко; заявник і власник ДонНТУ. Опубл. 16.10.2006, Бюл. №10.
4. Деклараційний пат. на корисну модель № 11376. Спосіб подавання інертного газу до джерела самонагрівання або горіння/В.К.Костенко, Т.В.Костенко; заявник і власник ДонНТУ. Опубл. 15.12.2005, Бюл. №12.

У складанні рекомендацій приймали участь Булгаков Юрій Федорович і Костенко Тетяна Вікторівна (кафедра «Охорона праці та аерологія» ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»)

ДОДАТОК Б



АО «ВВУУ», Острава – Радванице

Название рабочего места: Испытательная лаборатория взрывчатости и испытательная станция анализаторов

адрес: Пикартска 1337/7, 716 07. Острава - Радванице

тел.: 596 252 232, 270

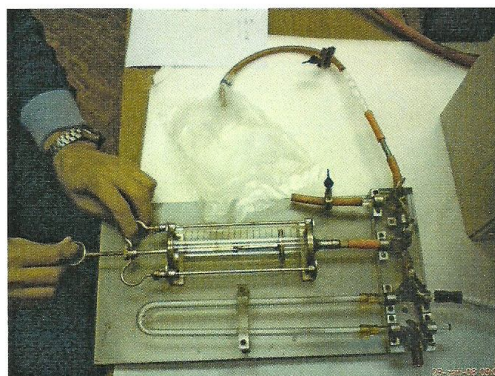
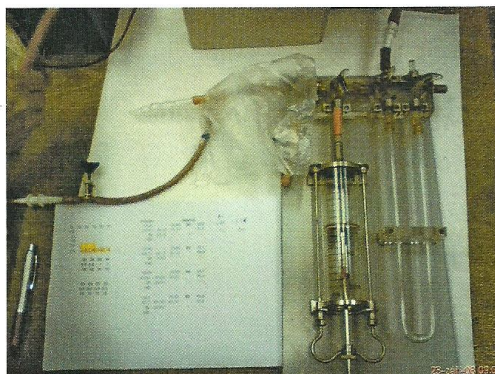
факс: 596252 149

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЯ ВЗРЫВЧАТОЙ СМЕСИ ГАЗОВ

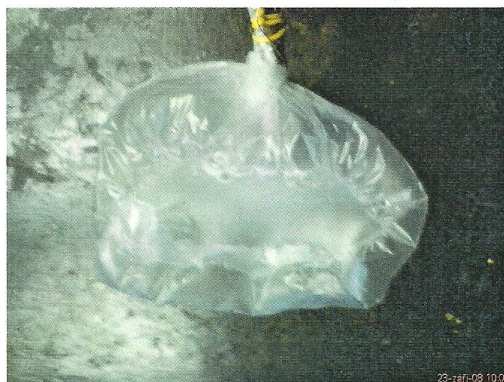


ОПИСАНИЕ ИСПЫТАНИЙ

1. Были приготовлены смеси газов в предварительно установленных пропорциях, затем эти смеси были инициированы при помощи пламени. Общий объем испытываемой смеси газов составлял 1000 мл. В течение всех испытаний не удалось инициировать смеси в первоначально приготовленных пропорциях.
2. Повторно приготовленные смеси снова были инициированы при помощи электрического детонатора, который был помещен в центре газовой смеси. Результаты отдельных испытаний описаны под соответствующими рисунками и обобщены в заключении к протоколу.
3. Соответствующие значения пропорций газовых смесей были введены в программное обеспечение, называемое программный симулятор. Результаты, выданные ПО, находятся в приложении к данному протоколу.



Отдельные газы для каждого испытания смешивались в данном оборудовании в установленных пропорциях.



Один из полиэтиленовых мешков, в котором не произошло инициирование.



Новый способ: Иницирование при помощи пламени заменено на инициирование электрическим детонатором.

Результат деформации полиэтиленового пакета, содержащего 5% метана, 15% кислорода и 80% азота. Не произошло выгорания содержимого.



АО «ВВУУ», Острава – Радванице



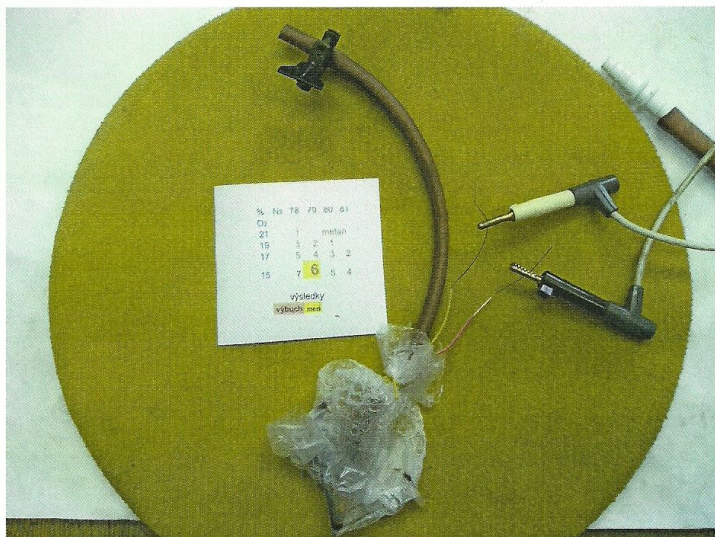
Один из полиэтиленовых мешков, в котором не произошло инициирование.



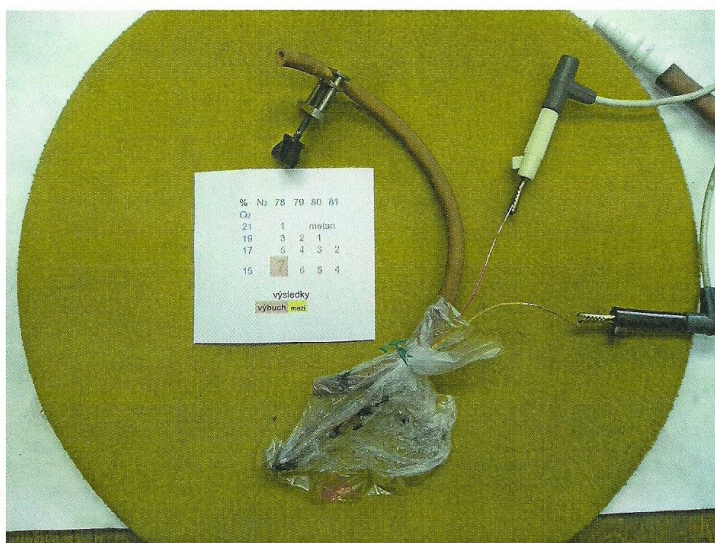
Иницирование пламенем.



Иницирование пламенем.



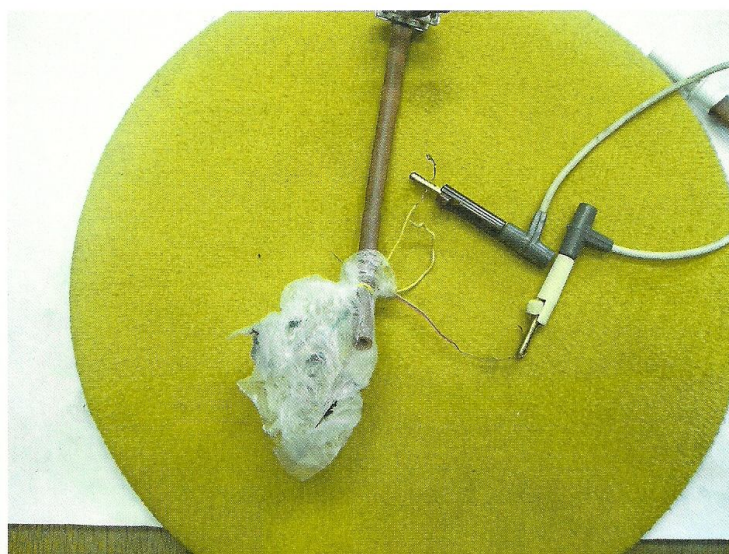
Результат деформации полиэтиленового пакета, содержащего 6% метана, 15% кислорода и 79% азота. Произошло медленное выгорание содержимого.



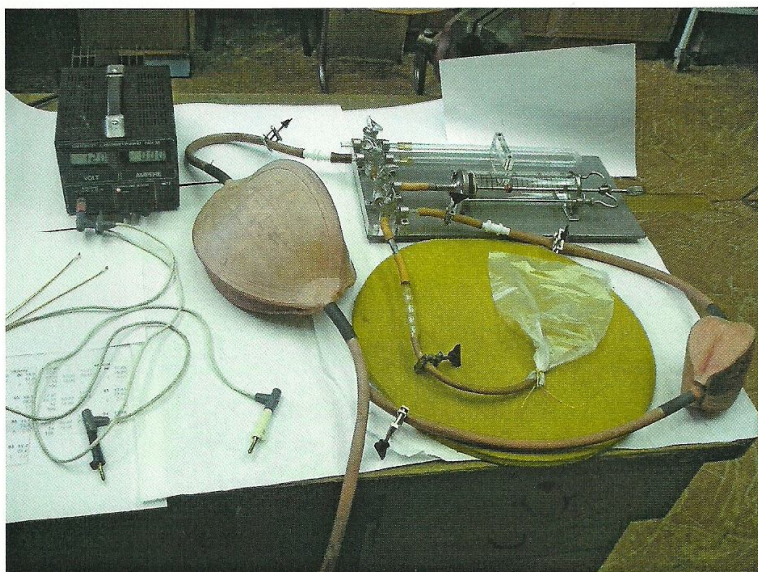
Результат деформации полиэтиленового пакета, содержащего 7% метана, 15% кислорода и 78% азота. Произошло быстрое выгорание содержимого.



Результат деформации полиэтиленового пакета, содержащего воздух.



Результат деформации полиэтиленового пакета, содержащего 6% метана, остальное содержимое составлял воздух.
Произошло быстрое выгорание содержимого.



Простое испытательное оборудование.

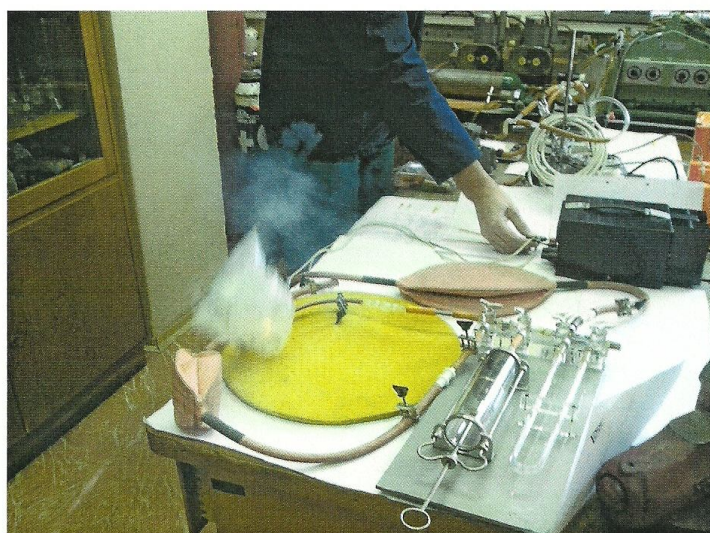




Процесс смешивания заданных концентраций.



Процесс смешивания заданных концентраций и наполнения полиэтиленовых мешков.



Иницирование источником электрического напряжения (12V=)



Результат деформации полиэтиленового пакета, содержащего 5% метана, 17% кислорода и 78% азота. Не произошло выгорание содержимого.



АО «ВВУУ», Острава – Радванице

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: В результате проведения вышеуказанных испытаний следует, что экспериментальное измерение с инициированием при помощи детонатора подтвердило полное соответствие (за исключением 1 случая) результатам испытаний, полученных при помощи программного обеспечения (программного симулятора).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОГРАММНЫЙ СИМУЛЯТОР

Состав исходной смеси

78% N₂, 17% O₂, 5% CH₄

Смесь не является взрывчатой, но может взорваться, если произойдет снижение концентрации кислорода и / или повышение концентрации топлива.

%	N ₂	78	79	80	81
O ₂					
21		1		метан	
19		3	2	1	
17		5	4	3	2
15		7	6	5	4

результаты

взрыв между

Состав исходной смеси

79% N₂, 17% O₂, 4% CH₄

Смесь не является взрывчатой, но может взорваться, если произойдет снижение концентрации кислорода и / или повышение концентрации топлива.

%	N ₂	78	79	80	81
O ₂					
21		1		метан	
19		3	2	1	
17		5	4	3	2
15		7	6	5	4

результаты

взрыв между



АО «ВВУУ», Острава – Радванице

Состав исходной смеси

78% N₂, 15% O₂, 7% CH₄

Смесь является взрывчатой.

%	N ₂	78	79	80	81
O ₂					
21		1		метан	
19		3	2	1	
17		5	4	3	2
15		7	6	5	4

результаты

взрыв между

Состав исходной смеси

79% N₂, 15% O₂, 6% CH₄,

Смесь является взрывчатой.

%	N ₂	78	79	80	81
O ₂					
21		1		метан	
19		3	2	1	
17		5	4	3	2
15		7	6	5	4

результаты

взрыв между



АО «ВВУУ», Острава – Радванице

Состав исходной смеси

80% N₂, 15% O₂, 5% CH₄

Смесь не является взрывчатой, но может взорваться, если произойдет снижение концентрации кислорода и / или повышение концентрации топлива.

%	N ₂	78	79	80	81
O ₂					
21		1		метан	
19		3	2	1	
17		5	4	3	2
15		7	6	5	4

результаты

взрыв между

Состав исходной смеси

81% N₂, 15% O₂, 4% CH₄

Смесь инертизирована, поэтому не является взрывчатой.

Не измерялась экспериментальным путем по причине негативного результата при предыдущем испытании

Треугольник взрыва

Данные	
Место отбора	1
Дата отбора	23.9.2008, 12:33:02

Состав входной смеси					
Азот	Кислород	Метан	Окись углерода	Двуокись углерода	Водород
78,00 %	17,00 %	5,00 %	0 ppm	0,00 %	0,0000 %

Взрывчатость смеси

Смесь не является взрывчатой, но может взорваться, если произойдет снижение концентрации кислорода и / или повышение концентрации топлива.

Термодинамические свойства	
Литровый объем СО	0,01.мин ⁻¹
Температура горения	1797 ⁰ С
Избыточное давление	6,2 бар
Высвобожденная теплота (Н ₂ О)	1744кДж.кг ⁻¹
Специфический объем поб.продукта	742дм ³ .кг ⁻¹
Кислородный баланс	7,93 %
Концентрация горючих продуктов	0,0000 объем. %
Соотношение специфических теплот	1,2692
Скорость звука в поб.продуктах	851 м.с ⁻¹

Продукты горения (объем %)						
СО ₂	Н ₂	СО	Н ₂ О	Н ₂	О ₂	НСl
5,402	0,000	0,000	10,805	83,793	0,000	0,000

Концентрация топлива (объем %)

Общая	5,000		
Из того:	CH ₄	CO	H ₂
	100,000	0,000	0,000

Рисунок: Концентрация кислорода (объем %)
Концентрация топлива (объем %)

Треугольник взрыва

Данные	
Место отбора	1
Дата отбора	23.9.2008, 12:33:02

Состав входной смеси					
Азот	Кислород	Метан	Окись углерода	Двуокись углерода	Водород
79,00 %	17,00 %	4,00 %	0 ppm	0,00 %	0,0000 %

Взрывчатость смеси

Смесь не является взрывчатой, но может взорваться, если произойдет снижение концентрации кислорода и / или повышение концентрации топлива.

Термодинамические свойства	
Литровый объем СО	0,01.мин ⁻¹
Температура горения	1563 ⁰ С
Избыточное давление	5,2 бар
Высвобожденная теплота (Н ₂ О)	1420кДж.кг ⁻¹
Специфический объем поб.продукта	723дм ³ .кг ⁻¹
Кислородный баланс	10,18 %
Концентрация горючих продуктов	0,000 объем. %
Соотношение специфических теплот	1,2794
Скорость звука в поб.продуктах	794 м.с ⁻¹

Продукты горения (объем %)						
СО ₂	Н ₂	СО	Н ₂ О	Н ₂	О ₂	НСl
4,418	0,000	0,000	8,835	86,747	0,000	0,000

Концентрация топлива (объем %)

Общая	4,000		
Из того:	СН ₄	СО	Н ₂
	100,000	0,000	0,000

Рисунок: Концентрация кислорода (объем %)
 Концентрация топлива (объем %)

Треугольник взрыва

Данные	
Место отбора	1
Дата отбора	23.9.2008, 12:33:02

Состав входной смеси					
Азот	Кислород	Метан	Окись углерода	Двуокись углерода	Водород
78,00 %	15,00 %	7,00 %	0 ppm	0,00 %	0,0000 %

Взрывчатость смеси

Смесь не является взрывчатой, но может взорваться, если произойдет снижение концентрации кислорода и / или повышение концентрации топлива.

Термодинамические свойства	
Литровый объем СО	0,01.мин ⁻¹
Температура горения	2172 ⁰ С
Избыточное давление	8,0 бар
Высвобожденная теплота (Н ₂ О)	2408кДж.кг ⁻¹
Специфический объем поб.продукта	800дм ³ .кг ⁻¹
Кислородный баланс	1,08 %
Концентрация горючих продуктов	0,000 объем. %
Соотношение специфических теплот	1,2548
Скорость звука в поб.продуктах	954 м.с ⁻¹

Продукты горения (объем %)						
СО ₂	Н ₂	СО	Н ₂ О	Н ₂	О ₂	НСl
7,103	0,000	0,000	14,206	78,692	0,000	0,000

Концентрация топлива (объем %)

Общая	7,000		
Из того:	СН ₄	СО	Н ₂
	100,000	0,000	0,000

Граница взрывчатости (объем %)	
Ось топлива (нижняя-верхняя)	5,4 – 8,3
Ось кислорода (нижняя-верхняя)	13,9 – 16,4

Рисунок: **Концентрация кислорода (объем %)**
 Концентрация топлива (объем %)

Треугольник взрыва

Данные	
Место отбора	1
Дата отбора	23.9.2008, 12:33:02

Состав входной смеси					
Азот	Кислород	Метан	Окись углерода	Двуокись углерода	Водород
79,00 %	15,00 %	6,00 %	0 ppm	0,00 %	0,0000 %

Взрывчатость смеси

Смесь является взрывчатой.

Термодинамические свойства	
Литровый объем СО	0,01.мин ⁻¹
Температура горения	1980 ⁰ С
Избыточное давление	7,1 бар
Высвобожденная теплота (Н ₂ О)	2078кДж.кг ⁻¹
Специфический объем поб.продукта	780дм ³ .кг ⁻¹
Кислородный баланс	3,39 %
Концентрация горючих продуктов	0,000 объем. %
Соотношение специфических теплот	1,2619
Скорость звука в поб.продуктах	907 м.с ⁻¹

Продукты горения (объем %)						
СО ₂	Н ₂	СО	Н ₂ О	Н ₂	О ₂	НСl
6,215	0,000	0,000	12,429	81,356	0,000	0,000

Концентрация топлива (объем %)

Общая	6,000		
Из того:	CH ₄	СО	Н ₂
	100,000	0,000	0,000

Граница взрывчатости (объем %)

Ось топлива (нижняя-верхняя)	5,5 – 7,6
Ось кислорода (нижняя-верхняя)	13,4 – 15,5

Рисунок: Концентрация кислорода (объем %)
 Концентрация топлива (объем %)

Треугольник взрыва

Данные	
Место отбора	1
Дата отбора	23.9.2008, 12:33:02

Состав входной смеси					
Азот	Кислород	Метан	Окись углерода	Двуокись углерода	Водород
80,00 %	15,00 %	5,00 %	0 ppm	0,00 %	0,0000 %

Взрывчатость смеси

Смесь не является взрывчатой, но может взорваться, если произойдет снижение концентрации кислорода и / или повышение концентрации топлива.

Термодинамические свойства	
Литровый объем СО	0,01.мин ⁻¹
Температура горения	1769 ⁰ С
Избыточное давление	6,2 бар
Высвобожденная теплота (Н ₂ О)	1751кДж.кг ⁻¹
Специфический объем поб.продукта	761дм ³ .кг ⁻¹
Кислородный баланс	5,67 %
Концентрация горючих продуктов	0,000 объем. %
Соотношение специфических теплот	1,2703
Скорость звука в поб.продуктах	855 м.с ⁻¹

Продукты горения (объем %)						
СО ₂	Н ₂	СО	Н ₂ О	Н ₂	О ₂	НСl
5,289	0,000	0,000	10,577	84,134	0,000	0,000

Концентрация топлива (объем %)

Общая	5,000		
Из того:	CH ₄	СО	Н ₂
	100,000	0,000	0,000

Рисунок: Концентрация кислорода (объем %)
 Концентрация топлива (объем %)