

Н.С. Біла, Є.А. Тюрін, Н.С. Бредіхіна

АНАЛІЗ МЕТОДІВ БОРОТЬБИ З ЕНДОГЕННИМИ ПОЖЕЖАМИ ТА ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ПРОТИ-ПОЖЕЖНИХ ЗАХОДІВ В УМОВАХ ДП «ВУГІЛЬНА КОМПАНІЯ «КРАСНО-ЛИМАНСЬКА»

У даній статті розглянуті фактори, що впливають на схильність вугілля до самозаймання, а також основні причини виникнення пожеж. На підставі факторів, а також основних причин виникнення пожеж, розглянуті перспективні способи профілактики і гасіння пожеж шляхом застосування способу інертизації за допомогою азоту, а також шляхом нагнітання цементно-мінеральної суміші «Carbofill» через раніше пробурені свердловини. Наведені способи запобігання та локалізації ендегенних пожеж в умовах ДП «Вугільна компанія «Краснолиманська». Виконано розрахунок параметрів пінного способу боротьби з самонагріванням (самозайманням) вугілля, розглянуті профілактика і гасіння пожеж шляхом застосування фенольної смоли «Carbofill».

Ключові слова: самозаймання, прогнозування, ендегенні пожежі, гірський масив, вуглекислий газ, локалізація, концентрація кисню.

Щорічно в шахтах України реєструють кілька десятків ендегенних пожеж. У середньому вони становлять близько 30% від загальної кількості пожеж в шахтах Донецького басейну. До ознак ендегенної пожежі, котра розпочинається, відносять: підвищення температури повітря, води і порід, збільшення концентрації шкідливих газів, зростання вологості повітря. За величиною шкоди, яка завдається, ендегенні пожежі лідирують серед інших аварій [1, 11].

Ендегенні пожежі виникають внаслідок самозаймання корисних копалин (вугілля, сланців), а також органічних матеріалів, деревної тирси, мастильних матеріалів. До ознак ендегенної пожежі, яка починається, відносять: підвищення температури повітря, води і порід, збільшення концентрації шкідливих газів, зростання вологості повітря. Ці ознаки легко виявляються завдовго до інтенсивної стадії пожежі, тому гасіння її повинно починатися, як правило, своєчасно, поки вона не досягла великих розмірів. За величиною шкоди, що завдається, ендегенні пожежі лідирують серед інших аварій на вугледобувних підприємствах.

У зв'язку з цим зростає актуальність проблеми виявлення причин і необхідність розробки заходів щодо попередження самозаймання вугілля в підземних гірничих виробках. Особливо ефективним моментом в цьому відношенні є прогноз самозаймистості вугілля в період проведення геологорозвідувальних робіт. Своєчасне розпізнавання вугільних пластів або окремих ділянок пластів, на яких можливий розвиток самозаймання, дозволяє на стадії проектування нових гірничих виробок розробити найбільш дієвий комплекс технічних засобів і заходів по його попередженню.

Характерними місцями, в яких можливе виникнення ендегенних пожеж, є:

- вироблені простори діючих очисних вибоїв (25%);
- відпрацьовані ізолювані ділянки (30 ... 40%);
- відпрацьовані неізолювані ділянки (12 ... 37%);
- капітальні та підготовчі виробки (30 ... 40%).

Частота виникнення ендегенних пожеж в різних виробках залежить від гірничо-геологічних умов родовища, обсягу і якості проведених профілактичних заходів.

Фактори, що впливають на схильність вугілля до самозаймання, такі [1]:

- **Тектонічна порушеність гірського масиву**, яка може бути розділена на три категорії: сильна або дуже сильна, середня і слабка. На ділянках пластів із середньою і сильною тектонічною порушеністю ймовірність виникнення ендегенних пожеж вище, ніж на ділянках, що її не мають.

- **Потужність і умови залягання вугільних пластів**. Необхідно враховувати дані про будову пластів, так як на ділянках пластів складної будови ймовірність самозаймання вище, ніж на ділянках простої будови.

- **Вологість**. Дослідження вологості в осередках самозаймання дозволило визначити інтервал значень, при яких вугілля найбільш схильне до самозаймання. Цей інтервал відповідає 10-15% і встановлений в 90% точок спостереження. Ці дані свідчать про вплив W_a на процес окислення вугільної речовини.

- **Зольність**. В результаті проведених досліджень було встановлено, що найбільш поширене в осередках самозаймання середньозольне вугілля (Ad від 25 до 35%), але більш за все схильне до самозаймання вугілля багатозольне (Ad від 35 до 45%).

- **Круте залягання пластів** (Більше 45 °) є провокуючим фактором виникнення ендегенних пожеж.

- **Вміст тонкодисперсного піриту і марказиту** у вугільній масі також є додатковим фактором, що збільшує схильність до самозаймання.

- **Ступінь метаморфізму вугілля**. Встановлено, що максимальна кількість самозаймистого вугілля припадає на довгополум'яні різниці, дещо менше - на жирні, коксові, піснувато-спіклені, пісні і мінімальна кількість - в газовому та газово-жирному вугіллі. Ця закономірність була встановлена в результаті аналізу даних по самозайманню вугілля і показників метаморфізму: показника відображення вітриніту R^0 і виходу летких речовин V_{daf} .

За останні 15 років на шахтах України реєструються від 6 до 36 ендегенних пожеж в рік. Активним способом було погашено 36%, ізолювано 59%, комбінованим способом ліквідовано 5% пожеж. Вони стабільно залишаються на другому місці за чисельністю, після екзогенних пожеж і на першому за розмірами збитку. Збитки в цілому складають до 40% від витрат, отриманих в результаті аварій на шахтах України [1].

Ефективність боротьби з ендегенними пожежами, що виникають у виробленому просторі вугільних шахт, в значній мірі залежить від своєчасності виявлення та повноти інформації про процес самозаймання вугілля. В процесі розвитку

ендогенної пожежі виділяють стадію самонагрівання, ранню стадію самозаймання і стадію горіння вугілля.

Ендогенні пожежі на вугільних шахтах виникають в результаті довільного самозаймання вугілля і горючих матеріалів, що відбувається внаслідок окислення корисних копалин киснем і підвищення їх температури. Розвиваються такі пожежі повільно, поступово [4]. Здатність вугілля мимовільно займатися в результаті низькотемпературного окислення киснем повітря називається самозаймистістю. Хімічна активність порід, що видобуваються, і геологічні особливості їх залягання є природними факторами виникнення ендогенних пожеж. Відомості про підземні ендогенні пожежі на шахтах України зведені в таблицю 1.

Таблиця 1
Відомості про підземні ендогенних пожежах на шахтах України

Рік	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Всього
Діючих	9	4	9	8	7	3	3	3	6	4	2	3	3	3	2	1	2	72
Виробничих (виробничих)	2	3	4	5	2	3	1	-	3	2	1	2	2	-	1	-	-	30
Виробничих (не виробничих)	7	4	3	4	2	2	1	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	29
Горизонтальних	5	3	4	1	1	1	3	-	2	2	1	3	2	-	-	-	-	28
Нахилених	-	-	4	1	2	2	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	12
Вертикальних	-	2	4	3	1	3	-	2	-	1	-	-	-	2	1	-	1	20
Оверраунтних (цілих)	2	2	-	-	1	-	-	1	2	1	2	2	3	1	-	-	-	15
Інших місць	11	4	3	2	2	1	6	4	2	2	-	-	-	1	1	-	1	39
Всього пожеж, в т.ч. на ділянках	36	22	31	24	18	15	15	12	15	16	6	10	10	7	6	1	4	248

Динаміка абсолютної кількості ендогенних пожеж свідчить про їх зменшення протягом декількох років, так у 2001 р. їх було 15, у 2002 р. - 16, у 2003 р. - 6, у 2004 р. - 10, у 2005 р. - 10, у 2006 р. - 7, у 2007 р. - 6, у 2008 р. - 1, у 2009 р. - 6, у 2010 р. - 8, у 2011 р. - 9, у 2012 р. - 10, у 2013 р. - 6, у 2014 р. - 5, у 2015 р. - 8, у 2016 р. - 8, а у 2017 р. - 7, що пояснюється значним скороченням числа шахт в галузі, а також спадом видобутку вугілля на шахтах круглого падіння, що залишилися в дії. Зниження відносного показника (приватного від числа пожеж, віднесених на 1 млн. т. видобутку) не настільки стрімке, воно коливається в діапазоні 0,23 ... 0,16. Для зниження вплив перехідних процесів і забезпечення достовірності й надійності результатів аналізу, в даній роботі розглянуті статистичні вибірки за період з 2010 по 2017 рр., коли процес реструктуризації галузі не носив масового характеру.

Більше половини пожеж (55,5%) відбувалося через неякісну ізоляцію вироблених просторів діючих і відпрацьованих добувних ділянок.

несвоєчасному прийнятті, заходів щодо попередження ендогенних пожеж.

Причини виникнення значної частини пожеж (20,2%) не встановлені, така ж ситуація характерна для причин залишення пожежонебезпечних скупчень вугілля при веденні гірничих робіт (табл. 2). Приблизно для п'ятої частини пожеж (18,7%) не визначена причина залишення вугілля, що можна пояснити низькою технологічною дисципліною на шахтах [8]. Неповна виїмка вугілля була причиною основної частини (38,7%) пожеж, геологічні порушення - близько третини (27,7%), деформовані цілики - причина інших (15,7%).

Таблиця 2

Причини утворення пожежних скупчень вугілля

Причина	Кількість ендогенних пожеж								
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Всього
Залишення вугілля в охоронних і бар'єрних ціликах	3	7	6	5	4	-	1	-	26
Геологічні порушення	14	6	6	4	7	4	4	3	48
Виїмка вугілля не на повну потужність	18	6	16	13	4	5	1	4	67
Інші і невідомі причини	1	3	3	2	3	6	9	5	32

Як правило, ендогенні пожежі виникають у важкодоступних місцях, таких як вироблений простір, за кріпленням виробок, в товщі вугільного цілика (особливо в деформованій крайовій його частини), за ізоляційними перемичками. Придушення вогнищ горіння в таких умовах забруднено, чим обумовлена найвища тривалість ліквідації цього виду підземної аварії. При цьому активним способом загашено 36% пожеж, ізольовано -57%, комбінованим способом ліквідувати 5% від числа виниклих пожеж.

Самозайматися може практично все викопне вугілля і породи, що містять вуглисту речовину. Процес самозаймання вугілля повністю не вивчений, відомі лише фактори, що сприяють самозайманню або гальмують його, а також деякі закономірності самонагрівання і самозаймання вугілля.

Схильність вугілля до самозаймання визначається рядом його фізико-хімічних властивостей, в тому числі хімічною активністю, структурними і міцнісними характеристиками, природною вологістю, газоносністю тощо.

Найбільш характерними місцями виникнення ендогенних пожеж є вироблені простори (66,9%), а також підготовчі і розкриваючі виробки (24,6%).

Пожежі в підземних виробках представляють велику небезпеку тому, що продукти горіння, що містять отруйні та шкідливі гази, розносяться вентиляційним струменем виробками шахти і призводить до отруєння людей, котрі знаходяться в шахті. Крім небезпеки отруєння людей шкідливими газами, підземні пожежі в шахтах, небезпечних по газу або пилу, можуть супроводжуватися вибухами газу або пилу і робітники можуть бути травмовані вибуховою хвилею. Однак і при вибухах газу або пилу близько 70% нещасних випадків відбувається в результаті отруєння працюючих отруйними газами, головним чином окисом вуглецю. Підземні пожежі, окрім загибелі людей, приносять великі руйнування, виводячи з ладу дільниці, а іноді й цілі шахти [1].

Виникнення ендогенних пожеж на дільницях визначається ступенем схильності вугілля до самозаймання, геологічними і гірничо-технічними умовами. Схильність вугілля до самозаймання характеризується його здатністю поглинати кисень.

Для попередження ендогенних пожеж стежать за тим, щоб при розробці пластів, схильних до самозаймання, у виробленому просторі не залишалися цілики вугілля, які можуть роздавлюватися. У разі вимушеного залишення ціликів, їх обробляють антипірогенами (речовинами, що перешкоджають самозайманню) або ізолюють.

Всі способи і тактичні прийоми гасіння пожеж зводяться до припинення доступу кисню до палаючих матеріалів і зниження їх температури, а при підземному пожежі – ще й до зниження температури навколишніх порід до меж, що виключають повторне загорання.

Для формування у виробленому просторі пінного потоку необхідної ширини на вентиляційному штреку зводяться піноупорні перетинки з пінопласту, брусів, інших матеріалів. Відстань між перетинками встановлюється за допомогою результатів локалізації осередків пожежі або визначається за наявними аерологічними і геологічними даними. Аналогічним шляхом визначається і відстань між перетинками по падінню, на яке необхідно подати піну.

Автоматична система управління пінного пожежогасіння виконується на базі мікропроцесорних засобів і забезпечує:

- безперервний контроль і управління системами гасіння пожеж в режимі очікування (до виникнення пожежі) і в режимі «Пожежа»;
- функціонування централізованої або розподіленої автоматизованої системи з можливістю розширення виконуваних функцій без зміни структури програмного забезпечення;
- роботу системи автоматизації автономно, в локальній мережі і в складі багаторівневої автоматизованої системи управління.

До складу системи автоматичної установки пожежогасіння входить заздалегідь приготовлений 6%-ий водний розчин піноутворювача, що зберігається в спеціальних підземних резервуарах. У період гасіння пожежі насосами пожежогасіння, розчин подається до піногенераторів.

Комплексна система автоматичного пожежогасіння передбачена на піну високої кратності.

Для локалізації аварій і гасіння пожеж в насосній, застосовується стаціонарна повітряно-пінна установка конструкції ОВПО-2 і два пожежних гідранта.

Вогнегасна речовина – повітряно-механічна піна, що має кратність близько 80 (вісімдесяти) і хорошу рухливість.

Піна утворюється в стаціонарних піногенераторах ГПС-600 при змішуванні 6%-ого розчину піноутворювача ПО-1 з повітрям. Має незначну електропровідність і тому застосовується для гасіння пожеж в електроустановках, що знаходяться під напругою.

Метод гасіння – комбінований, від площі до об'єму, це обумовлюється наявністю трубопроводів на висоті 1,85 м, оскільки осередок пожежі може виникнути в будь-якій точці по висоті трубопроводів обв'язки, а залишковий тиск в трубах буде сприяти утворенню форсунокового горіння, то при розрахунку на об'ємне гасіння висота приймається рівною 1,9 м.

Площа пожежогасіння складає 162 м².

Захищений обсяг, згідно з прийнятою висотою, буде дорівнює 308 м³.

Продуктивність прийнятого піногенератора по піні становить 0,6 м³/с або 36 м³/хв. Витрата розчину піноутворювача типу ПО-1 становить 0,006 м³/с або 0,36 м³/хв.

Визначення кількості піногенераторів здійснюватися за формулою, наведеною у «Тимчасових вказівках з гасіння пожеж в кабельних тунелях і приміщеннях високо кратною повітряно-механічною піною»:

$$n = 3,5 * \frac{V}{t * Q}; \quad (1)$$

де n – шукане число піногенераторів;

3,5 – коефіцієнт, що враховує руйнування піни;

V – захищений обсяг, м³;

T – розрахунковий час гасіння пожежі, хв.;

Q – продуктивність піногенераторів по піні, м³/хв.

Розрахунковий час гасіння пожежі $t = 10$ хв. Необхідна кількість піногенераторів складе:

$$n = 3,5 * \frac{308}{10 * 36} = 2,99$$

За розрахунками приймаємо три піногенератори. Для роботи трьох піногенераторів ГПС-600 необхідно забезпечити сумарну витрату піноутворювача 1,08 м³/хв.

Розрахунок бака-дозатора виконується з урахуванням триразового запасу піноутворювача за формулою:

$$V_{б.д.} = Q * n * t * 3 \quad (2)$$

де $V_{б.д.}$ – обсяг бака-дозатора, м³;

Q – витрата ПО-1 на один ГПС-600, м³/хв.;

n – число ГПС-600;

t – розрахунковий час гасіння пожежі, хв.;

3 – коефіцієнт, що враховує запас піноутворювача.

Розрахунковий обсяг бака-дозатора складе:

$$V_{б.д.} = 0,36 * 3 * 10 * 3 = 32,4 \text{ м}^3.$$

Приймаємо бак-дозатор об'ємом 32 м³, серії 5-904-43.

Розмір бака складає 4,24 * 5 * 1,508 м.

Діаметр трубопроводу для забезпечення подачі розчину піноутворювача в кількості 1,08 м³/хв. визначається за таблицями для гідравлічного розрахунку, в залежності від напору перед піногенератором, що визначається за формулою:

$$h_{zn} = h_{вод} - h_{мп} - h_{nc} - Z, \quad (3)$$

де h_{zn} – напір перед піногенератором, м;

$h_{вод}$ – напір в системі пожежно-виробничого водоводу, 80 м;

$h_{мп}$ – втрати напору в трубопроводі, м;

h_{nc} – трати напору на роботу пінозмішувача, м;

Z – висота установки піногенераторів, м.

Втрати напору в трубопроводі визначаються за формулою:

$$h_{мп} = i * L, \quad (4)$$

де i – гідравлічний ухил, 0,0103;

L – довжина розрахункової ділянки, 22 м.

Втрати напору на роботу пінозмішувача визначаються за формулою:

$$h_{nc} = (h_{вод} - h_{мп}) * 0,3, \quad (5)$$

де 0,3 – коефіцієнт, що враховує втрату напору на роботу пінозмішувача.

$$h_{zn} = 80 - 0,0103 * 22 - (80 - 0,0103 * 22) * 0,3 - 4,2 = 51,6 \text{ м.}$$

За результатами розрахунку видно, що напір перед піногенератором знаходиться в допустимих межах 40...60 м.

Діаметр трубопроводів, що підходять і відходять, приймається рівним 150 мм.

Активні способи гасіння пожежі пов'язані з безпосереднім впливом на осередок вогнегасних речовин, серед яких найбільшого поширення набули піна і розпорошена вода. При цьому використовують переносні вогнегасники, мобільні установки, а також стаціонарні автоматичні системи пожежогасіння.

В даний час у ряді країн розробляються імпульсні системи пожежогасіння [1, 2]. Більшість цих систем створюють розпорошені струмені. Так, розроблена система пожежогасіння NATISK.

В установках NATISK по рукавній лінії подається вже готова компресійна піна. Робота по гасінню пожежі може вестися з відстані до 30 м через ручні стволи.

Компресійна піна – це вогнегасна речовина, що отримується в установці пожежогасіння NATISK, шляхом примусового спінювання стисненим повітрям розчину, що складається з води і невеликої кількості піноутворювача. Може вироблятися сира (важка) піна кратністю від $K=5$ і суха (легка) піна кратністю до $K=20$.

За кордоном, в США, Європі і на Близькому Сході, часто застосовуються системи CAFS для гасіння пожеж, в яких використовуються дорогі піноутворювачі. Крім того, в системі NATISK реалізовані інші, відмінні від західних CAFS, установки і алгоритми їх роботи з низькою віддачею при відкритті ручного ствола і подачі гасячого агента. Так, в системі NATISK по рукавним лініям або сухотрубам компресійну піну можна подавати до 250 м при нормальному тиску.

Як видно, політ пінного струменя майже прямолінійний. При цьому головна частина струменя розширюється в міру наближення до вогнища горіння, що необхідно враховувати при розрахунках площі горіння.

Піни представляють собою дисперсні системи, що складаються з бульбашок газу, оточених плівками рідини, і що характеризуються відносною агрегатною і термодинамічною нестійкістю. Багато фахівців пояснюють механізм придушення вогнищ пожежі інгібуєчими властивостями піни, перерозподілом фільтраційних потоків і зниженням вмісту кисню в замкнених просторах, а також охолодженням нагрітих стін і огорожувальних конструкцій, а при використанні рециркуляції газів – до додаткової інертизації замкнутого обсягу при руйнуванні піни.

На сучасних об'єктах електроенергетики використовуються стаціонарні автоматичні установки пінного пожежогасіння. При спрацюванні пожежної сигналізації включаються в роботу піногенератори, а піна по системі трубопроводів надходить до осередку пожежі і потрапляє в канал через спринклерні головки.

При моделюванні розвитку і гасіння пожежі необхідно враховувати вплив піни на горючу поверхню твердого матеріалу, збиваючи полум'я, призводячи до зволоження поверхні і припинення піролізу на деякій її частині.

Як відомо [3, 4] тепловміщення вологого повітря знаходиться за формулою:

$$h = (c_r + c_n Ux)T + Ux, \quad (6)$$

де h – повне тепловміщення вологого повітря, Дж/кг;

T – температура, К;

c_r і c_n – питомі теплоємності відповідно газу і пари, Дж/(кг·К);

U – питомий вміст вологи в повітрі, кг/кг;

r – тепло та паротворення, Дж/кг;

χ – частка рідини, що випаровується в осередку пожежі, 1.

Формулу (7) приведемо до вигляду:

$$h = c_r T + (c_n T + r) Ux. \quad (7)$$

З формули (7) випливає, що при відсутності руйнування піни і випаровування крапель рідини в осередку пожежі $h = \text{СТ}$. Тоді, враховуючи повне тепловміщення вологого повітря, отримаємо:

$$\rho \left(\frac{\delta h}{\delta \tau} + u \frac{h - h_0}{l} \right) = \frac{\alpha S_c}{V} (T_0 - T) + q. \quad (8)$$

Припустимо, нам відома максимальна температура в осередку пожежі до подачі води або піни, яка буде визначатися за формулою:

$$T_m = T_0 + \frac{1300g}{7+g}, \quad (9)$$

де T_0 – температура при нормальних умовах, К;

g – пожежне навантаження, кг/м².

Тоді при подачі піни очікувану максимальну температуру в осередку пожежі T_1 , К, можна визначити за формулою:

$$T_1 = T_0 + \frac{T_m - T_0}{1 + \alpha G[(\tau - \tau_1) + |\tau - \tau_1|]/2Sg}, \quad (10)$$

де G – витрата води або рідини в піні, кг/с;

τ – час з початку виникнення пожежі, с;

τ_1 – час з початку гасіння пожежі, с;

S – площа осередку пожежі, м²;

g – пожежне навантаження, кг/м²;

α – емпірична константа.

Витрату рідини в піні можна визначити за формулою:

$$G = \rho Q / K, \quad (11)$$

де ρ – щільність води, 1000 кг/м³;

Q – витрата піни, м³/с;

K – кратність піни.

З формули (10) випливає, що, задавши час τ_2 в кінці гасіння пожежі, можна визначити очікувану максимальну температуру:

$$\frac{T_2 - T_0}{T_m - T_0} = \frac{1}{1 + \alpha G(\tau_2 - \tau_1)/Sg}. \quad (12)$$

З формули (12) випливає, що чим більше час $(\tau_2 - \tau_1)$ гасіння пожежі, тим менше максимальна температура в зоні горіння. Вирішуючи формулу (12) щодо часу гасіння пожежі, отримаємо:

$$\tau_2 - \tau_1 = \left(\frac{T_m - T_0}{T_2 - T_0} - 1 \right) Sg/aG. \quad (13)$$

Очевидно, що площа зрошення водою повинна бути рівною або більше площі горіння. При цьому площа зрошення залежить від відстані до осередку пожежі і визначається за формулою 7.

З отриманої залежності (13) випливає, що чим більше витрата піни і більше час з початку гасіння пожежі, тим менше буде температура. У той же час, навпаки, чим більше площа осередку горіння і більше пожежне навантаження, тим повільніше буде знижуватися температура.

При дослідженні деформації і розпаду головної частини струменя піни встановлено, що при великих швидкостях руху струменя виникає різниця тисків в лобовій і кормовій частинах, струмені прагнуть її деформувати і сплюснути. У цьому випадку площа поперечного перерізу головної частини струменя з плином часу буде збільшуватися, в результаті чого виникають незгасаючі коливання струменя, що призводять до його розпаду на дрібні частини.

При повній деформації струменя і його великих вібраціях відбувається остаточний його розпад. Будемо вважати, що розпад струменя відбувається тоді, коли площа його поперечного перерізу досягає максимально можливого значення.

Для визначення максимальної площі поперечного перерізу струменя використовується формула:

$$S_m = (aw_0V)^{0,8}, \quad (14)$$

де S_m - максимальна площа поперечного перерізу струменя піни, м²;

a - емпірична константа, с/м^{1,5};

w_0 - початкова швидкість витікання струменя, м/с;

V - об'єм піни, м³.

Максимальній площі поперечного перерізу струменя повинен відповідати певний час розпаду струменя і його швидкість. Так, час розпаду струменя t_m , визначається за формулою

$$\tau_m = \frac{1}{A_0} \ln \frac{S_m - B}{S_0 - B}, \quad (15)$$

де B - емпірична константа, м²;

A_0 - емпірична константа, 1/с.

Для розрахунку дальності польоту суцільної частини струменя піни використовується формула:

$$x_m = \frac{d}{C} \ln \left(1 + \frac{Cw_0\tau_m}{d} \right), \quad (16)$$

де d - діаметр сопла, м;

C - емпірична константа, м.

Виникнення ендегенних пожеж дільниць визначається ступенем схильності вугілля до самозаймання, геологічними і гірничотехнічними умовами. Схильність вугілля до самозаймання характеризується його здатністю поглинати кисень. Самозаймання найчастіше виникає в роздавлених, неізолюваних від доступу повітря ціликах, поблизу скидів, при виклинуванні пласта і інших геологічних порушеннях, а також у виробленому просторі при

залишенні там вугілля в запобіжних пачках. Для попередження ендегенних пожеж стежать за тим, щоб при розробці пластів, схильних до самозаймання, у виробленому просторі не залишалися цілики вугілля, які можуть роздавлюватися. У разі вимушеного залишення ціликів, їх обробляють антипірогенами (речовинами, котрі перешкоджають самозайманню) або ізолюють (у нашому випадку використовують фенольну смолу «Carbofill»).

Фенольна смола «Carbofill» (рис. 1) складається з двох рідких компонентів (смола і каталізатор), які в об'ємному співвідношенні 4:1 за допомогою спеціального насоса прокачуються окремо по шлангах, перемішуються в змішувачі і подаються в заповнену порожнечу.



Рисунок 1 - Фенольна смола «Carbofill»

Після виходу зі змішувача компоненти негайно реагують зі збільшенням обсягу і створюють пінну масу.

Основними перевагами застосування фенольної смоли «Carbofill» є:

- висока швидкість реакції спінування;
- відсутність потреби у зведенні герметичної опалубки при заповненні пустот;
- висока кратність спінування полімерного складу після реакції компонентів, котра дозволяє при низькій витраті матеріалу заповнювати значні обсяги пустот.

Область застосування фенольної смоли «Carbofill»:

- заповнення пустот;
- заповнення тріщин в порушеному масиві;
- зміцнення сильно порушених гірських порід;
- заповнення і ущільнення вентиляційних перемичок.

В результаті застосування фенольної смоли «Carbofill» відбувається зниження хімічної активності схильності до самозаймання через свердловини шляхом нагнітання їх розчинів.

Аналізуючи досвід ліквідації пожеж в привибійному і виробленому просторах виїмкових дільниць, а також роботи в умовах високих температур, можна зробити наступні висновки.

1. Найбільш ефективно пожежі були ліквідовані активним способом за допомогою дистанційного застосування порошково-пінних та інших вогнегасних засобів у поєднанні з дегазацією і посуванням ліній очисного вибою лави.

2. Тонкодисперсний порошок, вода і піна, що подаються безпосередньо в осередок пожежі або дистанційно по свердловинах, являються ефективними засобами локалізації і гасіння пожежі у важкодоступному місці.

3. Ведення гірничорятувальних робіт, не передбачених оперативним планом ліквідації аварії, відсутність або недотримання технології їх виконання, особливо в виробках зі складними гірничотехнічними умовами (загазована атмосфера, висока температура, відсутність провітрювання), як правило, призводить до непередбачуваних ускладнень, які супроводжуються травмуванням гірничорятувальників.

4. Застосування гірничорятувальних бокс-баз для створення проміжних пунктів відпочинку в загазованій середі з високою температурою і вологістю повітря відкриває широку перспективу по боротьбі з аваріями активним і комбінованим способами. При проведенні робіт в екстремальних умовах в якості першочергових заходів необхідно брати створення стійкого функціонування проміжних пунктів відпочинку з зосередженням на них необхідного резерву сил і засобів для ефективного ведення гірничорятувальних робіт.

наук: спец. 05.26.01 «Пожарная безопасность» / П.С. Пашковский. – Донецк, 1992. – 40 с.

12. Руководство по определению параметров подземного пожара и выбору эффективных средств его тушения: Утв. Всесоюзным управлением ВГСЧ 9.09.85 / ВНИИГД. – Донецк, 1985. – 96 с.
13. Руководство по применению инертных газов при ликвидации пожаров в шахтах: Утв. Начальником Центрального штаба ВГСЧ Минуглепрома СССР 19.07.89 / ВНИИГД. – Донецк, 1989. – 190 с.
14. Руководство по изоляции пожаров в шахтах, опасных по газу. – К., 1995. – 290 с.
15. Руководство по изоляции отработанных участков, временно остановленных и неиспользуемых горных выработок в шахтах (Сборник инструкций и других нормативных документов по технике безопасности для угольной промышленности / [сост.: И.А. Бабокин, В.В. Вильчицкий, А.П. Костарев, А.Т. Тимошенко и др.]. - М. : Недра, 1978. - 744 с.).

Список літератури:

1. Пашковский П.С. Эндогенные пожары в угольных шахтах [Текст]: [монография] / П. С. Пашковский. - Донецк: Ноулидж, Донец. отд-ние, 2013. - 791 с.: рис., табл. - Библиогр.: с. [784]-791. - ISBN 978-617-579-833-1.
2. Дистанционные объемные методы порошково-пенного пожаротушения / Ю.Ф. Булгаков, В.П. Чарков, А.А. Король // Пути развития горноспасательного дела: Труды научно-практ. конф. НПО «Респиратор». - Донецк, 1997. – 210 с.
3. Булгаков Ю.Ф. Тушение пожаров в угольных шахтах. Монография. – Донецк: НИИГД, 2001. - 280 с.
4. Костенко В.К., Булгаков Ю.Ф., Подкопаев С.В. и др. Предупреждение и тушение подземных эндогенных пожаров в труднодоступных местах / [Костенко В.К., Булгаков Ю.Ф., Подкопаев С.В. и др.]; под ред. В.К. Костенко. – Донецк: Изд-во «Ноулидж» (донецкое отд-ние), 2010. – 253 с.
5. Правила пожежної безпеки для підприємств вугільної промисловості України. – НАПБ Б.01.009-2004. – 300 с.
6. КД 12.01.401-96 Эндогенные пожары на угольных шахтах Донбасса. Предупреждение и тушение. Инструкция. Издание официальное / П.С. Пашковский, В.К. Костенко. – Донецк: НИИГД, 1997. – 68 с.
7. Ликвидация сложных подземных аварий / Орлов Н.В., Зрелый Н.Д., Романчук А.Л. и др. // Киев: Техника, 1981. – 182 с.
8. Александров С.М., Подкопаев С.В., Біла Н.С., Кіпко О.Е. Охорона праці у вугільній промисловості: Навчальний посібник для студентів гірничих спеціальностей вищих навчальних закладів / Під загальною ред. С. М. Александрова. – Покровськ: ДонНТУ, 2019. – 334 с.
9. Костенко В.К. Геомеханические и аэрологические основы предотвращения пожаров от самонагревания угля в шахтах: автореф. дис. на соискание степени д-ра техн. наук: спец. 21.06.02 «Пожарная безопасность» / В.К. Костенко. – Макеевка, 2004. –36 с.
10. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – К., 1994. – 311 с.
11. Пашковский П.С. Разработка способов прогноза и предотвращения эндогенных пожаров в глубоких шахтах: автореф. дис. на соискание степени д-ра техн.