

АНАЛІЗ ОБСТАВИН ВИБУХІВ МЕТАНУ НА ШАХТАХ УКРАЇНИ**¹Круковський О.П., ¹Адорська Л.Г.**¹*Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України***АНАЛИЗ ОБСТОЯТЕЛЬСТВ ВЗРЫВОВ МЕТАНА НА ШАХТАХ УКРАИНЫ****¹Круковский А.П., ¹Адорская Л.Г.**¹*Інститут геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины***ANALYSIS OF THE CIRCUMSTANCES OF METHANE EXPLOSIONS AT THE MINES OF UKRAINE****¹Krukovskyi O.P., ¹Adorska L.H.**¹*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of NAS of Ukraine*

Анотація. У статті виконано аналіз та узагальнення обставин вибухів метану на шахтах України за останні 50 років, що відбулися внаслідок формування небезпечних концентрацій метану у вихідних струменях виїмкових дільниць. Відображено як вибухи на виїмкових дільницях, так і вибухи, пов'язані з загазуванням дільниць, що відбулися за їх межами. Здійснена типізація вибухів метану та визначено схеми їх виникнення, в основу класифікації яких покладено причини утворення вибухонебезпечного середовища. До них відносяться вибухи: у вироблених просторах, при порушеннях провітрювання, при місцевих скупченнях метану, при розгазуванні ділянок після порушень провітрювання, при розгазуванні тупикових виробок в межах виїмкових дільниць, при підвищеному газовиділенні, а також вибухи, що викликані загазуванням виїмкових дільниць, які виникли за їх межами. Встановлено, що основними причинами утворення вибухонебезпечного середовища на виїмкових дільницях під час вибухів метану є порушення провітрювання, накопичення метану у вироблених просторах і формування місцевих скупчень. Окремо наведені дані про найбільш серйозні аварії від вибухів метану в історії вугільної промисловості України. Зроблено висновок, що стаціонарна автоматична апаратура контролю концентрації метану не завжди дозволяє розпізнавати небезпечну обстановку на виїмкових дільницях при порушеннях провітрювання та внаслідок інших причин загазування. Проаналізовані також декілька інших газодинамічних явищ, які сталися за останні роки, до них відносяться ендегенні пожежі від самозаймання вугілля при веденні гірничих робіт у гранично напруженому вуглепородному масиві. В якості рекомендацій відмічено, що для підвищення ефективності аерогазового контролю і зменшення ймовірності вибухів метану доцільні такі заходи: контроль витрати повітря на виїмкових дільницях шахт III категорії за метаном і вище, контроль оксиду вуглецю у вихідних вентиляційних струменях виїмкових дільниць при розробці пластів вугілля, схильного до самозаймання, поліпшення організації оповіщення підземного персоналу про випадки загазування гірничих виробок.

Ключові слова: вугільні шахти, виїмкові дільниці, метан, вибухи, ендегенні пожежі

Метан у вугільних пластах є одним з основних факторів, що призводять до великих підземних аварій у вугільних шахтах [1, 2]. Українські шахти – одні з найнебезпечніших у світі, а через високу газоносність породи загроза вибуху тільки зростає. Ще одна серйозна проблема полягає в тому, що більшість вітчизняних шахт не ремонтували десятки років, а гірники працюють зі старим обладнанням. Тому видобуток вугілля на шахтах проводиться в украї важких гірничо-геологічних і температурних умовах, при яких не працюють ні в одній країні світу [3]. Всього в Україні налічується близько 150 шахт, з яких 75 % належать до 1-ї категорії з підвищеною небезпекою вибуху метану і 35 % – до небезпечних за вибухами вугільного пилу. Середня глибина розробки вугілля вже досягла 900 м. Кількість реконструйованих за останні 25 років шахт навіть не досягає десяти.

Для виявлення причин загазування при вибухах метану і основних напрямків вдосконалення аерогазового контролю проаналізовані обставини вибухів метану

на виїмкових дільницях вугільних шахт України за останні майже 50 років, з 1971 по 2019 роки.

За період з 1971 по 1994 роки відбулося понад 80 вибухів метано-повітряної суміші, з них 14 за участю вугільного пилу. Два вибухи сталися в шахтах I категорії по метану, інші в шахтах з високою газообільністю; 6 – в шахтах III категорії, 27 – в надкатегорних і 45 – в небезпечних за раптовими викидами [4].

Основні відомості про обставини вибухів на виїмкових дільницях з 1971 по 1994 роки приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Відомості про вибухи метану, викликані загазування виїмкових дільниць на шахтах України з 1971 по 1994 роки

Дата, шахта, ВО, дільниця, категорія шахти по метану	Місце займання	Причина утворення вибухонебезпечної концентрації метану	Причина займання
1	2	3	4
12.03.1971 ш. «Бежановка» ВО «Кадієввугілля», лава 4 пл. К, надкатегорійна (н.к.)	Ніша у вентиляційного ходка	Порушення провітрювання кутка лави внаслідок захаращення відбитим вугіллям після першого прийому вибуху	Іскріння на проводах електро-детонаторів
29.04.1971 ш. ім. Ільча ВО «Кадієввугілля», 5-я західна лава пл. К, н.к.	Вироблений простір	Скупчення метану	Самозаймання вугілля
22.12.1971 ш. «Бутовська-Донецька» ВО «Донецьквугілля», 59 західна лава, н.к.	Вироблений простір	Скупчення метану	Розповсюдження пожежі від самозаймання вугілля з виробленого простору вище лави
14.01.1974 ш. «Голубовська» ВО «Кадієввугілля», лава 7 пл. К, н.к.	Спряження лави з конвеєрним штреком	Шарове скупчення метану	Вигорання вибухової речовини (ВР) під час вибухових робіт в ніші
15.05.1974 ш. «Заперевальська» ШУ «Олександр-Захід» ВО «Артемвугілля», дільниця 144 пл. гор. 541/696 м, небезпечна по раптовим викидам (НРВ)	Верхня частина лави у 3,3 м від вентиляційного штреку у комбайна	Скупчення метану у комбайна на спряженні лави в вентиляційному штреку	Фрикційне іскріння при роботі комбайна
13.02.1976 ш. ім. XXI з'їзду КПРС ВО «Добропіллявугілля», 6 південна лава, н.к.	В лаві в 29 м нижче повітряподаючого штреку у комбайна	Зупинка головного вентилятора	Фрикційне іскріння при роботі комбайна

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
25.09.1978 ш. ім. Бажанова ВО «Макіїввугілля», 5 східна лава, н.к.	У вибою транспортного штреку	Шарове скупчення метану, зупинка вентилятору місцевого провітрювання тупику штреку протягом 4 м	Вигорання ВР під час вибуху заряду у вибої штреку
14.02.1979 ш. «Контарна» ВО «Шахтарськантрацит», 9 панельна лава, н.к.	У виробленому просторі у 29 секції кріплення	Скупчення метану	Вибух накладних зарядів для визволення кріплення
11.07.1980 ш. «Холодна Балка» ВО «Макіїввугілля», 4 східна лава пл. К, н.к.	В лаві у комбайна поблизу повітряподаючого ходка	Порушення провітрювання внаслідок перекриття входу в лаву відбитою породою та відставанням бутової полоси	Фрикційне іскріння при роботі комбайна
15.09.1982 ш. ім. Гаєвого ВО «Артемвугілля», дільниця 42 гор. 740/860 м, НРВ	Вентиляційний штрек	Підсипання лави	Іскріння у контролері акумуляторного електровозу з порушеним вибухозахистом
15.01.1983 ш. «Комсомолец Донбасу» ВО «Шахтарськантрацит», 4 північна лава, НРВ	Середня частина лави	Закорочування вентиляційного струменя	Іскріння у місці під'єднання вулканізатора к мережі освітлення або в місцях пошкодження кабелю мережі освітлення
10.06.1984 ш. «Донецька» ВО «Краснодонвугілля», східна лава, гор. 540 м, НРВ	У комбайна в 46 м від відкаточного штреку	Порушення провітрювання під впливом вугілля, що падає	Трифазне коротке замикання при висмикванні силового кабелю
27.08.1984 ш. «Торецька» ВО «Держинськвугілля», дільниця 81, гор. 610/710 м, н.к.	Верхня частина лави нижче бутової полоси у виробленому просторі	Скупчення метану	Прорив продуктів детонації через тріщини покрівлі або в гирлі шпурів при вибуховій посадки покрівлі
19.11.1984 ш. «Волинська» ВО «Торезантрацит», 4 західна лава, н.к.	Вентиляційний штрек в 200 м від лави	Винесення після відновлення нормального провітрювання метану, накопиченому у виробленому просторі при закорочуванні вентиляційного струменя	Іскріння в електричній схемі акумуляторного електровозу

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
26.11.1984 ш. ім. Стаханова ВО «Красноармійськвугілля», південна корінна лава блока 2, НРВ	В лаві в 2 м нижче вентиляційного штрека	Розгазування залишеного непогашеним тупика вентиляційного штреку (180 м) у виробленому просторі після зупинки ВМП із штепсельного роз'єму комбайна	Нагріта у результаті тертя о корпус поверхня деформованого бандажу колеса вентилятора ВМП-6М
31.07.1985 ш. ім. К. Маркса ВО «Орджонікідзевугілля» дільниця 121, пл. К, гор. 875 м, НРВ	Спряження проміжного квершлягу з вентиляційним штреком	Винесення після відновлення провітрювання метану, накопиченому у верхній частині лави та виробленому просторі за відсутності виходу на вентиляційний штрек	Осередок самозаймання вугілля
08.09.1986 ш. ім. Калініна ВО «Донецьквугілля», корінна східна лава, НРВ	Просік з підсвіжуючим струменем	Шарове скупчення метану	Замикання між жилами пошкодженого кабелю в ланцюзі живлення блока управління апаратури АУК-1М
16.05.1987 ш. «Чайкіно» ВО «Макіїввугілля», 3 північна лава, НРВ	Тупик вентиляційного штреку, що погашається	Місцеве скупчення метану	Фрикційне іскріння при визволенні кріплення, внаслідок тертя о породи, до містять пірит
29.08.1987 ш. ім. Держинського ВО «Держинськвугілля», дільниця 41, гор. 916 м, НРВ	Вироблений простір	Скупчення метану	Самозаймання вугілля
25.05.1988 ш. «Алмазна» ВО «Донбасантрацит», 5 західна лава, НРВ	Вентиляційний штрек в 52 м від лави	Винесення після відновлення нормального провітрювання метану, накопиченому у виробленому просторі під час тривалої зупинки головного вентилятора	Іскріння в контролері електровозу 5АРВ2 з порушеним вибухозахистом
14.02.1990 ш. ім. Поченкова ВО «Макіїввугілля», 1 західна лава, НРВ	Вироблений простір	Скупчення метану	Розповсюдження пожежі із виробленого простору верхньої лави

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4
06.05.1990 ш. ім. 60-річчя Радянської України ВО «Лисичанськвугілля», 82 західна лава, н.к.	На спряженні квершлягу на погашаємий пластовий вентиляційний штрек з польовим штреком	Місцеве скупчення метану у перемишці та у виробленому просторі	Іскріння від токів замикання на землю кабельної мережі напругою 6 кВт
06.05.1990 ш. «Юний Комунар» ВО «Орджонікідзеву-гілля», дільниця 121, пл. К, гор. 826 м., НРВ	Польовий вентиляційний штрек	Раптовий викид вугілля та газу в лаві	Іскріння в контролері електровозу АРВ7 з порушенням вибухозахистом
06.11.1992 ш. «Кондрашовка» ВО «Артемвугілля», дільниця 28, гор. 860 м, НРВ	Вентиляційний штрек	Розгазування штреку після викиду вугілля та газу внаслідок вибухових робіт при неправильному установленні ВМП, що провітрює просік	Іскріння в батарейному ящику електровоза АРВ7 з порушенням вибухозахистом
06.03.1994 ш. «Рассвет» ВО «Октябрьвугілля», 10 західна лава гор. 291 м, н.к.	Конвеєрний штрек поблизу ВМП, що провітрює просік	Розгазування тупику конвеєрного штреку після викиду вугілля та газу внаслідок вибухових робіт	Замикання жил пошкодженого кабелю, що питає ВМП просіку
02.05.1994 ш. 13-бис ВО «Макіїввугілля», 2 західна лава, НРВ	Повітряподаючий верхній штрек у вибою лави	Шарове скупчення метану	Іскріння оголених жил кабелю мережі освітлення комбайну ГПКС
08.09.1994 ш. «Ставяносербська» ВО «Луганськвугілля», 3 східна лава, пл. К, н.к.	Вироблений простір, підсипка лави	Скупчення метану	Вибух відкритих зарядів для видалення стійок при посадці покрівлі
Вибухи, що пов'язані із загазуванням виїмкових дільниць, які відбулися за їх межами			
22.02.1988 ш. «Запорізька» ВО «Донбасантрацит», 13 східний відкаточний штрек, н.к.	У 64 м від спряження зі східним вентиляційним схилом 32 лави	Перекидання вентиляційного струменя та зменшення витрат повітря внаслідок зупинки головного вентилятора	Коротке замикання в банці батареї електровоза АМ8Д при закипанні та викиді електродолу
07.07.1993 ш. «Бежанівська» ВО «Стахановвугілля», виробки з вихідним вентиляційним струменем, н.к.	Спряження обхідної виробки з конвеєрним схилом	Прорив метану із підшви пласта у лаві	Іскріння в шпурі головного світильника при пошкодженні шпuru
24.09.1993 ш. «Золота» ВО «Первомайськвугілля», виробки з вихідним вентиляційним струменем, н.к.	Північний вентиляційний квершляг гор. 667 м поблизу спряження із північним вентиляційним штреком	Підвищене виділення метану із тріщинуватого піщанику при посадці основної покрівлі у 2 північний лаві	Іскріння у веденні пушача ПВИ-250 при відкритій кришці моторного відсіку

За місцем виникнення вибухи розподіляються наступним чином: в тупикових виробках – 33 вибухи (41,2 %), на виїмкових дільницях – 27 (33,8 %), в ізольованих вироблених просторах і виробках – 4 (5,0 %), в стовбурах і шпурах при проходці або поглибленні – 3 (3,8 %), в інших виробках, провітрюваних за рахунок загальношахтної депресії, – 13 (16,3 %). З наведених цифр випливає, що 75 % вибухів відбулося в тупикових виробках і на виїмкових дільницях [5]. Слід відзначити, що, хоча тупикові виробки по числу вибухів стоять на першому місці, відносна частота вибухів на виїмкових дільницях приблизно в два рази більше, ніж в тупикових виробках, тобто виїмкові ділянки є більш вибухонебезпечними об'єктами.

Крім 27 вибухів, що сталися безпосередньо на виїмкових дільницях, в трьох – вибухи були викликані загазування виїмкових дільниць, але сталися за їх межами. Як випливає з табл. 3.1, газообільність ділянок, на яких відбувалися вибухи, змінювалася від 0,3 до 11,7 м³/хв. У 14 випадках на аварійних ділянках застосовувалися схеми провітрювання з підтриманням вентиляційних виробок у вироблених просторах, в 8 – з погашенням цих виробок слідом за лавами і в 5 – з підсвіженням вихідних вентиляційних струменів. Звертає на себе увагу відносно велике число вибухів при схемах провітрювання з підсвіженням – в 2-3 рази більше, ніж при інших схемах.

За місцем виникнення вибухи були розподілені таким чином: у вентиляційних виробках – 7 вибухів, у вироблених просторах – 7, в верхніх нішах, на сполученнях лав з вентиляційними виробками – 4, в нішах у повітряподавальних виробках і на сполученнях лав з цими виробками – 4, в лавах – 3, протягом повітряподавальних виробок – 2.

Утворення вибухонебезпечного середовища відбувалося з наступних причин: порушення провітрювання – 9 вибухів, накопичення метану у вироблених просторах – 7, місцеві скупчення метану – 6, розгазування ділянки після порушення провітрювання (винос метану, що накопичився у вироблених просторах) – 2, розгазування тупикової частини виїмкових вироблення – 2, підвищене газовиділення – 1. Джерелами запалювання при вибухах були: несправність електрообладнання та кабелів – 6 вибухів, вибухові роботи – 6, самозаймання (горіння) у вироблених просторах – 5, акумуляторні електровози з порушеною вибухозахистом – 5, фрикційне іскріння – 4, інші – 1. В чотирьох випадках джерела запалювання були пов'язані з роботою очисних комбайнів.

На виїмкових дільницях датчики метану повинні встановлювати в вихідних вентиляційних струменях лав і ділянок, в погашаємих услід за лавами тупиках вентиляційних виробок, в вентиляційних струменях, що надходять у лави при розробці пластів, небезпечних за раптовими викидами вугілля і газу, або при низхідному провітрюванні очисних виробок. При розробці пластів, небезпечних за раптовими викидами вугілля і газу, додатково потрібно телеконтроль витрати повітря. З 27 виїмкових дільниць, на яких сталися вибухи, на 25 застосовувалася апаратура контролю метану, телеконтроль витрати повітря ніде не здійснювався. У двох випадках датчики метану були неправильно встановлені, в одному –

пошкоджена лінія телевимірювання, а в інших в актах розслідування аварій не були відзначені будь-які порушення правил експлуатації апаратури контролю. Таким чином, апаратура контролю метану не завжди дозволяла своєчасно виявити небезпечні зміни газової обстановки на виїмкових дільницях.

Відомості про вибухи газу на шахтах України за період з 1995 по 2019 роки наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Відомості про вибухи на шахтах України з 1995 по 2019 роки

Дата	Шахта	Місто	Вид аварії	Кількість жертв
1	2	3	4	5
15 травня 1996	Шахта ім. Засядько	Донецьк	Вибух метану	7
4 квітня 1998	Шахта ім. Скочинського	Донецьк	Вибух метану і обвал породи	63
11 травня 1998	Шахта «Петровська»	Донецьк	Вибух газу та пилу	6
16 серпня 1998	Шахта ім. XIX з'їзду КПРС	п. Білий, Луганська область	Вибух метану	24
2 січня 1999	Шахта ім. Кирова	Кіровське, Луганська область	Вибух газу та пилу	6
26 квітня 1999	Шахта ім. Карла Маркса	Єнакієве, Донецька область	Раптовий викид вугілля і газу	7
24 травня 1999	Шахта ім. Засядько	Донецьк	Вибух метану	50
30 січня 2000	Шахта ім. Скочинського	Донецьк	Вибух метану	5
11 березня 2000	Шахта ім. Баракова	Суходольськ, Луганська область	Вибух пило-повітряної суміші	80
21 січня 2001	Шахта «Краснолиманська»	Родинське, Донецька область	Викид метану з подальшим вибухом	9
5 травня 2001	Шахта ім. Кирова	Макіївка, Донецька область	Вибух метану	10
19 серпня 2001	Шахта ім. Засядько	Донецьк	Вибух метану	55
28 листопада 2001	Шахта ім. Скочинського	Донецьк	Вибух метану	6
14 лютого 2002	Шахта «Красноармійська-Західна № 1»	Красноармійськ, Донецька область	Вибух метану	5
7 липня 2002	Шахта «Україна»	Українське, Донецька область	Пожежа	35
21 липня 2002	Шахта «Ювілейна»	Першотравенськ Дніпропетровська область	Вибух метану	6
31 липня 2002	Шахта ім. Засядько	Донецьк	Вибух метану	20
20 липня 2004	Шахта «Краснолиманська»	Родинське, Донецька область	Вибух газу і пожежа	37
13 серпня 2006	Шахта «Суходольська-Східна»	Суходольськ, Луганська область	Вибух метану	6
20 вересня 2006	Шахта ім. Засядько	Донецьк	Вибух метану	13

Закінчення таблиці 2

1	2	3	4	5
9 травня 2007	Шахта «Краснолиманська»	Родинське, Донецька область	Викид метану з послідуочим горінням	5
18 листопада 1-2 грудня 2007	Шахта ім. Засядько	Донецьк	Вибух метану	106 загиблих, 38 поранених
23 травня 2008	Шахта «Краснолиманська»	Родинське, Донецька область	Вибух метану	11
8 червня 2008	Шахта ім. Карла Маркса	сmt. Карло-Марксово, Донецька область	Вибух метану і обрив кліті	13
8 червня 2009	Шахта ім. Скочинського	Донецьк	Раптовий викид вугілля і газу	13
23 серпня 2009	Шахта ім. Кирова	Макіївка, Донецька область	Вибух метану	8
29 липня 2011	Шахта «Суходольська-Східна»	Суходольськ, Луганська область	Вибух метану та вугільного пилу	28
6 лютого 2012	Шахта «Північна»	Держинськ, Донецька область	Вибух метану	7
17 лютого 2014	Шахта «Північна»	Макіївка, Донецька область	Вибух метану	7
11 квітня 2014	Шахта ім. Скочинського	Донецьк	Раптовий викид	7
12 червня 2014	Шахта ТОВ «Гранд-Інвест Плюс»	Кіровське, Донецька область	Вибух метану	9
4 березня 2015	Шахта ім. Засядько	Донецьк	Вибух метану	34
26 та 27 жовтня 2015	Шахта «Краснолиманська»	Родинське, Донецька область	Вибух метану	
3 травня 2016	Шахта «Малоіванівська»	Перевальський район	Вибух метану	9
2 березня 2017	Шахта «Степова»	г. Сокаль, Львівська область	Вибух метану	8
25 квітня 2019	Шахта «Східкарбон»	п. Юріївка	Вибух метану	17

За цей час на шахті ім. О.Ф. Засядька сталося 7 вибухів метано-повітряної суміші і вугільного пилу, загинуло 256 шахтарів. У вугільній компанії Шахта «Краснолиманська» сталося 3 вибухи і 1 раптовий викид, загинуло 57 шахтарів, По 3 вибухи відбулися на шахтах «Суходольська-Східна» ВАТ «Краснодонвугілля», де загинули 76 шахтарів та ім. А.А. Скочинського ДП ДВЕК, де загинули 86 шахтарів.

Найбільша аварія в історії вугільної промисловості України, що відбулася на шахті ім. О.Ф. Засядька 18 листопада (і 1, 2 грудня) 2007 року, в результаті якої загинуло 106 людини (і 156 постраждалих з різним ступенем тяжкості), стала наслідком вибуху МВС за участю вугільного пилу у виробках гір. 1078 м. Експертною комісією виявлено безліч порушень вимог Правил безпеки. Зокрема, при

скупченні СН₄ вище порогових значень у виробленні була відсутня контролююча апаратура газу і встановлений неякісний контакт кабелю лебідки з пускачем, що призвело до вибуху МВС і вугільного пилю.

За останні роки також відбулося декілька інших газодинамічних явищ – ендогенних пожеж від самозаймання вугілля при веденні гірничих робіт у гранично напруженому вуглепородному масиві [6, 7].

15.03.2014 року сталася пожежа на 5-му східному відкотному штреку гор. 485 м ВП Шахта «Новодружеська» ПАТ «Лисичанськвугілля». Причиною виникнення пожежі було нагрівання, що знаходилось на підшві виробки вугілля, віджатого від цілика за перемичкою № 1065, що призвело до займання дерев'яних елементів ізоляційної споруди, кострів і дерев'яних елементів кріплення виробки. Пожежа тривала 65 годин.

05.08.2014 року сталася пожежа у вентиляційному штреку 3-ї північної лави пл. пл.м₄² гор. 500 м шахти «Піонер» ВСП ШУ «Білозерське» ВАТ «ДТЕК Добропіллявугілля». Причина – порушення «Паспорту відпрацювання ...» в частині ведення робіт по ізоляції тупикової частини. Пожежа тривала 393 години.

У гірничих виробках шахти «Краснолиманська» 26 і 27 жовтня 2015 р сталися два вибухи метану. На підставі розслідування встановлено, що причина аварії – імпульсне виділення метану в ізольований вироблений простір 1-ї західної лави засбросової частини пласта *l₃* і його вибухи. Можливим джерелом займання метану є фрикційне тертя пісковика в зонах геологічних порушень під час активізації тектонічних процесів в ізольованому виробленому просторі [8].

18.04.2017 року сталася пожежа у виробленому просторі 122 північної лави пл. *k₈*^н гор. 820 м ВП «Шахта ім. Мельникова» ПАТ «Лисичанськвугілля». Пожежа тривала 284,3 години. Причини пожежі:

- самозаймання вугілля біля дальньої стінки монтажного ходка 122 північної лави пл. *k₈*^н гор. 820 м, відшарованого під дією гірничого тиску або відшарування верхньої пачки пл. *k₈*, що спричинило процес природного підвищення температури вугілля внаслідок його окислення;
- просування очисного забою 122 північної лави пл. *k₈*^н гор. 820 м в грудні 2015 року на 14 метрів, при належному не менше 50 метрів відповідно до розроблених заходів, в зв'язку з перетином верхньою частиною лави старих гірничих робіт, а саме сполучення похилого ходка пл. *k₈*^н гор. 730 м з північним конв. штреком пл. *k₈*^н гор. 820 м;
- відсутність з 01.01.2016 року контролю за початковими ознаками самозаймання по співвідношенню граничних вуглеводнів в зв'язку з неможливістю співпраці зі спеціалізованими лабораторіями.

28.05.2017 року сталася пожежа у магістральному ухилі пл. *k₈* гор. 450-540 м ВП «Шахта Привольнянська» ПАТ «Лисичанськвугілля». Пожежа тривала 354,9 години. Причини пожежі:

- самозаймання вугілля, віджатого з боків виробки, під дією обвалення порід покрівлі в районі ПК 11 + 10 м магістрального ухилу пл. *k₈* гор. 450-540 м;
- незабезпеченість розрахунковою кількістю повітря магістрального ухилу пл. *k₈* гор. 450-540 м внаслідок обрушення порід покрівлі в районі з ПК10 до ПК

11 + 10 м, що найбільш ймовірно призвело до підвищення температури у виробці;

- невиконання в повному обсязі заходів щодо забезпечення стану кріплення магістрального ухилу пл. k_8 гір. 450-540 м, внаслідок чого допущено обвалення порід покрівлі з ПК10 до ПК 11 + 10 м.

08.02.2017 року сталася пожежа у виробленому просторі дільниці №95 гор. 105/1160 м ВП «Шахта Північна» «Торецьквугілля». Пожежа тривала 119 годин. Причиною стало низькотемпературне окиснення скупчень вугілля, що знаходиться у виробленому просторі лави, яке викликане доступом до нього кисню, недостатнім тепловідводом, обводненістю, що переросло в процес самозаймання.

Причиною аварії I категорії, що сталася 2 березня 2017 року в 12 год 05 хв на шахті «Степова» ДП «Львіввугілля», став вибух метаноповітряної суміші, яка утворилася в конвеєрному штреку № 119 на ділянці від 0 до 50 м від лави в місці розміщення кабелю, що живить насос 1В-20, а причиною утворення метаноповітряної суміші вибухонебезпечної концентрації стало накопичення метану у вигляді шарового скупчення, яке виникло через незабезпеченість виїмкової дільниці розрахунковою кількістю повітря [9].

Загальна класифікація причин утворення вибухонебезпечного середовища виконана за даними табл. 1, що містить наступні типові схеми виникнення вибухів метану на шахтах України:

- вибухи у вироблених просторах;
- вибухи при порушеннях провітрювання;
- вибухи при місцевих скупченнях метану;
- вибухи при розгазуванні ділянок після порушень провітрювання;
- вибухи при розгазуванні тупикових виробок в межах виїмкових дільниць;
- вибухи при підвищеному газовиділенні;
- вибухи, які викликані загазування виїмкових дільниць, що виникли за їх межами.

Частка вибухів у вироблених просторах виїмкових дільниць становить 25,9 %. При управлінні покрівлею повним обваленням накопичення небезпечних концентрацій метану у вироблених просторах в газових шахтах слід вважати неминучим явищем, яке є можливим при досить низькій газообільності. Так, у шахті «Слов'яносербська» ВО «Луганськвугілля» вибух метану у виробленому просторі стався на виїмковій ділянці з газообільністю 0,3 м³/хв. Причинами займання метану були самозаймання вугілля, поширення горіння з вироблених просторів раніше відпрацьованих лав, вибухові роботи. Апаратура аерогазового контролю не може впливати на ці джерела запалювання. Для своєчасного виявлення процесів горіння в вироблених просторах необхідно застосування апаратури автоматичного контролю оксиду вуглецю.

З порушеннями провітрювання пов'язана найбільша частина вибухів на виїмкових дільницях (33,3 %). Причинами порушень провітрювання були захаращення виходів з лав (18,6 %), вплив подає вугілля (7,4 %), зупинка головного

вентилятора (3,7 %), закорочування вентиляційних струменів (3,7 %). Місця виникнення вибухів різні: привибійні простори лав, ніші на протязі вентиляційних виробок. Джерелами запалювання були фрикційне іскріння, електрообладнання, акумуляторні електровози, вибухові роботи, самозаймання вугілля. При цих аваріях апаратурою контролю в ряді випадків не були зареєстровані небезпечні концентрації метану. Це пояснюється тим, що загазування виробок при порушеннях провітрювання починається з утворення місцевих скупчень метану і датчики метану не завжди знаходяться в зоні високих концентрацій.

Зменшення витрати повітря супроводжується перехідним аерогазодинамічним процесом, обумовленим накопиченням метану у виробленому просторі, що уповільнює зростання концентрації газу в вихідному вентиляційному струмені і навіть може призводити до тимчасового її зниження. Наприклад, при розслідуванні аварії на ш. «Волинська» ПО «Торезантрацит» витрата повітря на виїмковій ділянці був знижений з 600 до 150 м³/хв. При цьому концентрація метану у вихідному вентиляційному струмені ділянки протягом 2,5 годин практично не змінювалася і становила 0,6 – 0,7 %.

До вибухів при місцевих скупченнях метану віднесені вибухи, при яких небезпечні місцеві скупчення формувалися при нормальному функціонуванні системи провітрювання. Частка цих вибухів становить 22,2 %. Місця утворення скупчень метану: сполучення повітряподаючого (верхнього) штреку з лавою і на протязі цього штреку, у виробках з подсвіжуючим струменем, в погашеному тупику вентиляційного штреку, у вентиляційному штреку у перемички, що ізолює піч, яка виходить у вироблений простір. Джерела запалювання – несправне електрообладнання [10], вибухові роботи і фрикційне іскріння при вийманні кріплення. Найбільш часто місцеві скупчення метану на виїмкових ділянках утворюються у ріжучих органів виїмкових машин, але мають, як правило, невеликий обсяг і аварії обмежуються спалахами. Непряму оцінку безпеки утворення місцевих скупчень можна отримувати шляхом контролю витрати і швидкості повітря у виробках ділянки.

Частка вибухів при розгазуванні ділянок після порушень провітрювання становить 7,4 %. Вибухонебезпечне середовище виникало в вентиляційних штреках після відновлення нормального режиму провітрювання в результаті вимивання метану, що накопичився у вироблених просторах при порушеній вентиляції. Займання метано-повітряної суміші відбувалося в вентиляційних штреках при заїзді акумуляторних електровозів з порушеною вибухозахистом. Це говорить про необхідність поліпшення системи оповіщення персоналу шахти про загазування.

При розгазуванні тупикових виробок на виїмкових ділянках сталися два вибухи (7,4 %) один при розгазуванні залишеного у виробленому просторі тупика вентиляційного штреку після зупинки вентилятора місцевого провітрювання, другий – при розгазування випереджаючого лаву тупика конвеєрного штреку після викиду вугілля і газу. Місця займання – сполучення лави з вентиляційним штреком і конвеєрний штрек. Джерела запалювання – нагріта внаслідок тертя поверхня корпусу пневмовентилятора та іскріння в пошкодженому кабелі.

З підвищенням газовиділенням пов'язаний один вибух (3,7 %). Займання метану відбулося при заїзді акумуляторного електровоза з порушеною вибухозахистом на вентиляційний штрек, загазованих внаслідок раптового викиду вугілля і газу в лаві. Для розпізнавання причини загазування, що викликаються газодинамічними явищами, може бути використана в якості визначальної ознаки швидкість наростання концентрації метану.

Вибухи, які викликані загазування виїмкових дільниць, що виникли за їх межами виникають з цілої низки причин. З трьох таких аварій, дві відбулися в виробках з вихідним вентиляційним струменем при загазуванні виїмкових дільниць внаслідок підвищеного газовиділення і один – в виробці зі свіжим струменем повітря (при нормальному провітрюванні) внаслідок перекидання вентиляційного струменя при зупинці вентилятора головного провітрювання. Джерела запалювання: електрообладнання, акумуляторний електровоз і акумуляторний головний світильник. Ці аварії ще раз підтверджують необхідність поліпшення організації оповіщення персоналу шахти про загазування виробок.

Таким чином, основними причинами утворення вибухонебезпечного середовища на виїмкових дільницях під час вибухів метану є порушення провітрювання, накопичення метану у вироблених просторах і формування місцевих скупчень. Стационарна автоматична апаратура контролю концентрації метану не завжди дозволяє розпізнавати небезпечну обстановку на виїмкових дільницях при порушеннях провітрювання. Для підвищення ефективності аерогазового контролю і зменшення ймовірності вибухів метану доцільні такі заходи: контроль витрати повітря на виїмкових дільницях шахт III категорії за метаном і вище; контроль оксиду вуглецю у вихідних вентиляційних струменях виїмкових дільниць при розробці пластів вугілля, схильного до самозаймання; поліпшення організації оповіщення підземного персоналу про випадки загазування гірничих виробок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Wang, C., Yang, S. and Li, X. (2018) "Simulation of the hazard arising from the coupling of gas explosions and spontaneously combustible coal due to the gas drainage of a gob", *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 118, pp. 296-306. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.028>
2. Zhu, Y., Wang, D., Shao, Z., Xu, C., Zhu, X., Qi, X. and Liu, F. (2019) "A statistical analysis of coalmine fires and explosions in China", *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 121, pp. 357-366. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.11.013>
3. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2002. 372 с.
4. Анализ состояния проветривания шахт. - Донецк: Донбасс, 1987. – 51 с.
5. Круковский А.П., Круковская В.В. Напряженное состояние и фильтрационная проницаемость барьерных целиков вблизи изолированного пожарного участка. *Геотехническая механика*. Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2018. № 122. С. 3-12. <https://doi.org/10.15407/geotm2018.142.003>
6. Sapko, M., Weiss, E., Cashdollar, K. and Zlochower, I. (2000) "Experimental mine and laboratory dust explosion research at NIOSH", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 13, no. 3, pp. 229-242. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(99\)00038-8](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(99)00038-8)
7. Krukovskiy O., Krukovska V. Numerical simulation of the stress state of the layered gas-bearing rocks in the bottom of mine working. E3S Web of Conferences, International Conference Essays of Mining Science and Practice, 2019. №109. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900043>
8. Расследование аварии с двумя взрывами метановоздушной смеси / С.П. Минеев и др. *Уголь Украины*. 2016. № 9-10. С. 14-22.
9. Об аварии, произошедшей на шахте «Степова» / Б.А. Грядущий и др. *Уголь Украины*. 2017. № 7-8. С. 48-53.
10. Новая стратегия безопасности применения электроэнергии в шахтах / А.М. Брюханов и др. *Уголь Украины*. 2012. № 9. С. 12-14.

REFERENCES

1. Wang, C., Yang, S. and Li, X. (2018) "Simulation of the hazard arising from the coupling of gas explosions and spontaneously combustible coal due to the gas drainage of a gob", *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 118, pp. 296-306. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.028>
2. Zhu, Y., Wang, D., Shao, Z., Xu, C., Zhu, X., Qi, X. and Liu, F. (2019) "A statistical analysis of coalmine fires and explosions in China", *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 121, pp. 357-366. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.11.013>
3. Bulat, A.F., and Vinogradov, V.V. (2002), "Oporno-ankernoe kreplenie gornyih vyirabotok ugolnyih shaft" [Support-anchor fastening of mine workings of coal mines], IGTM NAS of Ukraine, Dnipropetrovsk.
4. Analysis of the condition of ventilation of mines. - Donetsk: Donbass, 1987. - 51 p.
5. Krukovskiy, O., Krukovska, V. (2018), "Stress state and filtration permeability of barrier pillars near the isolated fire area", *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 122, pp. 3-12. <https://doi.org/10.15407/geotm2018.142.003>
6. Sapko, M., Weiss, E., Cashdollar, K. and Zlochower, I. (2000) "Experimental mine and laboratory dust explosion research at NIOSH", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 13, no. 3, pp. 229-242. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(99\)00038-8](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(99)00038-8)
7. Krukovskiy, O., Krukovska, V. (2019), Numerical simulation of the stress state of the layered gas-bearing rocks in the bottom of mine working, E3S Web of Conferences, International Conference Essays of Mining Science and Practice, 2019. №109. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900043>
8. Mineev, S.P., Kocherga, V.N., Dubovik, A.I. et al. (2016), "Investigation of an accident with two explosions of methane-air mixture", *Coal of Ukraine*, no. 9-10, pp. 14-22.
9. Griadushchii, B.A., Minieiev, S.P., Yashchenko, I.A. et al. (2017), "About the accident at the Stepova mine", *Coal of Ukraine*, no. 7-8, pp. 48-53.
10. Bryukhanov, A.M., Mufel, L.A., Kats, A.B. et al. (2012), "A new strategy for the safety of the use of electricity in mines", *Coal of Ukraine*, no. 9, pp. 12-14.

Про авторів

Круківський Олександр Петрович, член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, заступник директора інституту, завідувач відділу механіки гірничих порід, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), м. Дніпро, Україна, igtm@ukr.net

Адорська Лариса Георгіївна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу механіки гірничих порід, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), м. Дніпро, Україна, adors@i.ua

About the authors

Krukovskiy Oleksandr Petrovych, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Deputy Director of the institute, Head of Department of Rock Mechanics, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, igtm@ukr.net

Adorska Larisa Heorhiivna, Ph.D., Senior Researcher, Senior Researcher of the Department of Rock Mechanics, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, adors@i.ua

Аннотация. В статье выполнен анализ и обобщение обстоятельств взрывов метана на шахтах Украины за последние 50 лет, произошедшие вследствие формирования опасных концентраций метана в исходящих струях выемочных участков. Отражены как взрывы на выемочных участках, так и взрывы, связанные с загазованности участков, произошедшие за их пределами. Осуществлена типизация взрывов метана и определены схемы их возникновения, в основу классификации которых положены причины образования взрывоопасной среды. К ним относятся взрывы: в выработанных пространствах, при нарушениях проветривания, при местных скоплениях метана, при разгазировании участков после нарушений проветривания, при разгазировании тупиковых выработок в пределах выемочных участков, при повышенном газовыделении, а также взрывы, вызванные загазованности выемочных участков, которые возникли за их пределами. Установлено, что основными причинами образования взрывоопасной среды на выемочных участках при взрывах метана является нарушение проветривания, скопление метана в выработанных пространствах и формирования местных скоплений. Отдельно приведены данные о наиболее серьезных авариях от взрывов метана в истории угольной промышленности Украины. Сделан вывод, что стационарная автоматическая аппаратура контроля концентрации метана не всегда позволяет распознавать опасную обстановку на выемочных участках при нарушениях проветривания и вследствие других причин загазирования. Проанализированы также несколько других газодинамических явлений, которые произошли за последние годы, к ним относятся эндогенные пожары от самовозгорания угля при ведении горных работ в предельно напряженном углепородном массиве. В качестве рекомендаций отмечено, что для повышения эффективности аэрогазового контроля и уменьшения вероятности взрывов метана целесообразны следующие мероприятия: контроль расхода воздуха на выемочных участках шахт III категории по метану и выше, контроль оксида углерода в исходных вентиляционных струях выемочных участков при разработке пластов угля, склонного к самовозгоранию, улучшение организации оповещения подземного персонала о случаях загазованности горных выработок.

Ключевые слова: угольные шахты, выемочные участки, метан, взрывы, эндогенные пожары

Abstract. The article analyzes and summarizes the circumstances of methane explosions in mines of Ukraine over the past 50 years, which occurred as a result of the formation of dangerous methane concentrations in the outgoing jets of mining areas. Both explosions in excavation areas and explosions associated with gas contamination of areas that occurred outside of them were reflected. The typification of methane explosions is carried out and the schemes of their occurrence are determined, the classification of which is based on the causes of the formation of an explosive atmosphere. These include explosions: in mined-out areas, in case of ventilation disturbances, in local accumulations of methane, in the degassing of areas after ventilation disturbances, in the degassing of dead-end workings within excavation areas, with increased gas release, as well as explosions caused by gas contamination of excavation areas that arose behind their limits. It has been established that the main reasons for the formation of an explosive atmosphere in mining areas during methane explosions are disturbances in ventilation, accumulation of methane in mined-out areas and the formation of local accumulations. Data on the most serious accidents from methane explosions in the history of the coal industry in Ukraine are given separately. It is concluded that stationary automatic equipment for monitoring the concentration of methane does not always make it possible to recognize a hazardous situation in mining areas in case of disturbances in ventilation and due to other causes of gas pollution. Several other gas-dynamic phenomena that have occurred in recent years have also been analyzed; these include endogenous fires from spontaneous combustion of coal during mining operations in an extremely stressed coal-rock mass. As recommendations, it was noted that to improve the efficiency of air-gas control and reduce the likelihood of methane explosions, the following measures are advisable: control of air consumption in mining areas of mines of category III for methane and higher, monitoring of carbon monoxide in the initial ventilation jets of mining areas during the development of coal seams prone to spontaneous combustion, improving the organization of notification of underground personnel about cases of gas contamination of mine workings.

Key words: coal mines, mining areas, methane, explosions, endogenous fires

Стаття надійшла до редакції 05.02.2021