

**МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СОТРЯСАТЕЛЬНОМ ВЗРЫВАНИИ В ШАХТАХ,  
ОПАСНЫХ ПО ВНЕЗАПНЫМ ВЫБРОСАМ УГЛЯ И ГАЗА**

**В. П. Колосюк, В. Н. Чебенко**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

**А. В. Колосюк**

Донбасская академия строительства и архитектуры  
ул. Героев Небесной Сотни, 14, г. Краматорск, 84300, Украина.

Рассмотрены условия и факторы опасности, сопутствующие проведению сотрясательного взрыва в подготовительных и очистных выработках шахт, опасных по внезапным выбросам угля и газа. Показано, что при таком взрывании особую опасность представляет отброс горной массы, вызываемый процессом выброса угля и газа, и быстрое накопление метана в выработке, где производят взрывание и возникает выброс. Приведены зависимости концентрации метана, накапливающегося при выбросе. Обоснованы дополнительные меры безопасности для персонала взрывников и других горнорабочих, а также меры по осуществлению автоматического контроля содержания метана в воздухе выработки по условиям предупреждения взрыва образовавшейся метано-воздушной смеси.

**Ключевые слова:** расстояние отброса, концентрация метана, проходческая выработка, очистной забой.

**ЗАСОБИ БЕЗПЕКИ ПРИ СТРУСНОМУ ВИБУХУ В ШАХТАХ,  
НЕБЕЗПЕЧНИХ ПО РАПТОВИМ ВИКИДАМ ВУГІЛЛЯ І ГАЗУ**

**В. П. Колосюк, В. М. Чебенко**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

**А. В. Колосюк**

Донбаська академія будівництва і архітектури  
вул. Героїв Небесної Сотні, 14, м. Краматорськ, 84300, Україна.

Розглянуто умови і фактори небезпеки, які супроводжують проведення струсного вибуху у підготовчих та очисних виробках шахт, небезпечних за раптовими викидами вугілля і газу. Показано, що при такому вибуху особливу небезпеку викликає відкид гірничої маси, який виникає у процесі викиду вугілля і газу, та швидке скупчення метану у виробці, де проводять підривання і виникає викид. Приведено залежності концентрації метану, що накопичується при викиді. Обґрунтовані додаткові заходи безпеки для персоналу підривників та інших гірників, а також заходи по здійсненню автоматичного контролю вмісту метану у повітрі виробки за умов попередження вибуху створюваної метано-повітряної суміші.

**Ключевые слова:** відстань відбросу, концентрація метану, прохідницька виробка, очисний забій.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Сотрясательное взрывание по угольному и породному массиву предусмотрено Правилами безопасности [1] в шахтах, разрабатывающих угольные пласты, опасные по внезапным выбросам угля и газа. Целью сотрясательного взрывания, как известно, является взрывное воздействие на горный массив и его сотрясение, чтобы вызвать внезапный выброс угля и горной массы, если он прогнозировался методами прогноза, чтобы в последующей выемке угля или проходке выработки не возник несанкционированный выброс и не создалась опасность для работников, занятых технологическими процессами в шахте, а также не произошел взрыв образовавшейся метано-воздушной смеси.

Процесс внезапного выброса изучался работами МакНИИ, ИГМ НАН Украины и других организаций, а специфические вопросы безопасности взрывных работ в газоносных массивах - также в работах [1-9].

По каждому из происшедших выбросов производилось расследование специальной комиссией с составлением акта расследования. По многим выбросам зафиксированы возникшие сейсмические возмущения в горном массиве с помощью сейсмограмм специальной аппаратуры.

Была показана опасность для горнорабочих от отторгаемой горной массы и от выделяющегося газа метана. На основании этих работ были отработаны меры безопасности по удалению людей из опасной зоны и ведению сотрясательного взрывания, которые изложены в правилах безопасности и другой нормативно-технической документации [1-7]. Однако на практике происходят несчастные случаи, причем, как правило, групповые, связанные с сотрясательным взрыванием и происходящими при этом внезапными выбросами угля и газа.

Характерным примером такого группового несчастного случая является несчастный случай, происшедший в Донбассе 30.07.2011 г. на шахте Суходольская-Восточная. При сотрясательном взрывании в тупиковой горной выработке выделившийся от взорванного угольного массива метан накрыл электроаппаратуру и в находившемся под напряжением рудничном пускателе с открытой крышкой произошло электрическое искрение, воспламенившее взрывчатую метано-воздушную смесь. Было травмировано 28 горнорабочих, находившихся в различных выработках в зоне воздействия продуктов взрыва, а 20 человек были поражены смертельно.

Цель работы - дополнительное исследование и обоснование соответствующих рекомендаций по

повышению безопасности при ведении сотрясательного взрывания в шахтах, опасных по внезапным выбросам угля и газа.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Практика проведения сотрясательного взрывания показывает, что не каждое сотрясательное взрывание сопровождается внезапным выбросом угля и газа. Однако при каждом сотрясательном взрывании от разрушенного угля и горной массы происходит выделение метана. Опасность представляет как выброшенная с большой энергией и на большое расстояние горная масса, так и большое количество газа метана. Кусками горной массы могут быть нанесены механические травмы людей, повреждения электрических кабелей и всего оснащения забоев и горных выработок, вплоть до разрушения их крепи, а наличие метана в воздухе способно вытеснить кислород из окружающего воздуха и создавать в выработках взрывоопасную метано-воздушную среду, либо «мертвую» зону по кислороду в воздухе. Опасность усугубляется тем, что взрыв метано-воздушной смеси может спровоцировать взрыв находящейся во взвешенном состоянии угольной пыли.

Анализ данных о произошедших выбросах показывает, что средняя общая продолжительность разрушения угля и выбросоопасных пород при сотрясательных взрывах колеблется в пределах от 1,58 до 3,35 с и меньше средней продолжительности при обычных (естественных) выбросах, не спровоцированных сотрясательным взрыванием.

Увеличение времени разрушения угля или массива по сравнению с взрыванием является признаком выброса, спровоцированного сотрясательным взрыванием.

Большая продолжительность разрушения угля имеет место при сотрясательных взрывах по углю на крутых пластах.

В ранее выполненных работах [8, 9] показано, что продолжительность выбросов угля и газа состоит из трех фаз: предвыбросной, когда сейсмоакустические импульсы, возникшие от быстро нарастающих единичных актов разрушения угля (породы), отстают по времени друг от друга менее чем на 10 с; основной, состоящей из непрерывного колебательного процесса; послевыбросной, соответствующей постепенному уменьшению разрушения угля (пород), с единичными актами разрушения, также удаленными во времени не менее 10 с.

Отмечается, что длительность выброса характеризуется основной фазой, то есть продолжительностью непрерывного колебательного процесса, регистрируемого сейсмоакустическими приборами в процессе протекания выброса.

Анализ сейсмограмм произошедших выбросов угля и породы, спровоцированных сотрясательным взрыванием, показал, что породные выбросы, а также большинство выбросов угля следуют непосредственно за разрушением угля или пород взрывчатым веществом. Хотя в практике проведения сотрясательных взрываний в угольных шахтах известны случаи так называемых «запоздалых выбросов угля

и газа» с разрывом во времени после отбойки угля взрывом в десятки минут и даже в несколько часов.

Обобщение сейсмограмм внезапных выбросов, возникших в очистных забоях при выемке угля комбайнами или отбойными молотками, показал, что продолжительность предвыбросной и послевыбросной фаз во времени колеблется в широких пределах и равна от одной или нескольких секунд до нескольких минут или десятков минут [9].

Как показал анализ сейсмограмм, время разрушения угля при сотрясательных взрывах, сопровождавшихся и не сопровождавшихся выбросом угля и газа, в среднем равно 2 с. Началом разрушения угля выбросом является время окончания разрушения угля взрывчатым веществом.

Так как скорость разрушения угля взрывом превосходит скорость разрушения угля выбросом, то совершенно очевидно, что концентрация метана в горной выработке при сотрясательном взрывании, вызвавшем выброс, будет несколько выше, чем при обычном внезапном выбросе.

Статистические данные о произошедших 261 внезапных выбросах (рис. 1) показали, что при 241 выбросе (96%) расстояние отброса угля не превысило 40 м, при 5 выбросах (2%) – 100 м и при 5 выбросах расстояние, на которое был отброшен уголь, превышало 100 м и достигло максимального значения 213 м (при выбросе, произошедшем на шахте «Юный Коммунар» в Донбассе на пласте  $K_3$  Дерезовка (горизонт 716 м), при мощности выброса в 1350 т).

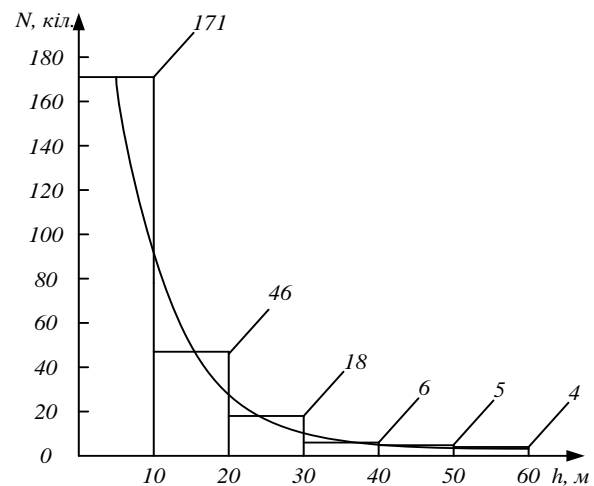


Рисунок 1 – Распределение количества внезапных выбросов в подготовительных выработках крутых пластов Донбасса по длине отброса

Заметим, что если при выбросах в подготовительных выработках отброс угля происходит от забоя по длине выработки, то при выбросах в очистных забоях (лавах) отброс угля происходит под углом к проходческой выработке и поэтому длина отброса будет значительно меньшей.

Результаты математической обработки статистических данных, приведенных в гистограмме рис. 1, изложены в табл. 1.

Частота отбросов (статистическая вероятность события) определялась по формуле

$$P_{hi} = \frac{N_i}{N}, \quad (1)$$

где  $N_i$  – количество отбросов по  $i$ -ым диапазонам;  $N$  – общее число отбросов (число выбросов),  $N=261$ .

Плотность распределения вероятности отбросов определялись как зависимость вероятности  $P(N_i)$  от длины отброса, а интегральная функция ( $F_x$ ) распределения вероятности ( $P(N_i)$ ) по формуле

$$F_{(i)} = \sum_{ni < N} P(N_i). \quad (2)$$

Математическое ожидание дискретной случайной величины – длины отброса определялось как

сумма произведений всех её значений и вероятности этих значений:

$$M[x] = M_x = \sum_{i=1}^n x_i P_i, \quad (3)$$

где  $x_i = N_i$ ,  $P_i = P(N_i)$

Дисперсия случайной величины  $x=N$  определена как квадрат отклонения этой величины от её математического ожидания ( $M_x$ ):

$$D_{(x=N)} = \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2 \cdot P_i, \quad (4)$$

где  $x_i = N_i$ ,  $P_i = P(N_i)$

Среднее квадратическое отклонение случайной величины  $\sigma_x = \sigma_N$  определено по выражению:

$$\sigma_x = \sigma_N = \sqrt{D_{(x=N)}}. \quad (5)$$

Таблица 1 – Результаты обработки статистических данных

№ диапазона длины отброса	Длина отброса угля ( $h_i$ ), м	Количество выбросов (случаев отброса угля) ( $N_i$ )	Частота отбросов ( $P_{hi}$ )	Интегральная функция отбросов ( $F_{hi}$ )	Мат. ожидание ( $M_x$ ), $N_i \cdot P_{hi}$	Дисперсия ( $D_x$ ), $(x_i - M_x)^2$
1	0-10	171	0,655	0,681	112	2280
2	10-20	46	0,176	0,864	8,1	990
3	20-30	18	0,069	0,936	0,32	732
4	30-40	6	0,023	0,96	0,2	304
5	40-50	5	0,0199	0,9799	0,095	256
6	50-60	4	0,0159	0,9958	0,06	205
7	210-220	1	0,00398	0,99978	0,00398	58
					$\sum = 121$	$\sum = 4825$

По данным табл. 1 определены математическое ожидание длины отброса  $M_x$ , дисперсия  $D_x$  и среднеквадратическое отклонение от величины математического ожидания  $\sqrt{D_x}$ :

$$M_x = \sum_{i=1}^n (P_{xi} x_i) = 121 \text{ м};$$

$$D_x = \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2 \cdot P_i = 4821 \text{ м};$$

$$\sqrt{D_x} = 69,4 \text{ м},$$

где  $x_i$  – значения числа отбросов  $N$  по диапазонам табл. 1 от первого до седьмого;  $P_{xi}$  – вероятность (частота  $P_h$ ).

Исходя из полученных значений математического ожидания длины отброса и среднеквадратического отклонения этой длины, можно сделать вывод, что для предотвращения травмирования персонала взрывников кусками угля или горной массы, они должны находиться на удалении от места взрывания на расстоянии, равном не менее

$$M(x) + \sqrt{2x} \geq 121 + 69,4 = 190,4 \text{ м}.$$

Практически это означает, что взрывные работы должны производиться на удалении не менее 200 м от заряженного взрывным веществом забоя.

При этом гарантированная безопасность, что люди не окажутся в зоне отброса, оценивается вероятностью 0,99978, а риск оказаться в зоне отброса, составляет обратную вероятность, т.е. 0,000222.

При взрывных работах в очистных выработках персонал должен находиться за пределами очистной выработки и на удалении от сопряжения лавы со штреком не менее чем на 50 м.

Функциональная зависимость (табл. 1) количества выбросов от длины отброса ( $y$ ) может быть выражена показательной функцией

$$y = a \cdot e^{-cx}, \quad (6)$$

где  $a$  – количество выбросов (261), при длине отброса  $x=0$ ;  $c$  – постоянное значение, зависящее от интенсивности выбросов ( $c=0,101$ ).

При выбросах, происшедших в подготовительных выработках на крутых пластах, обрушение боковых пород, а также повреждение крепи и оборудования не обнаружено на длине более 140 м от места выброса. В конце отброса уголь обычно измельчен до порошкообразного состояния.

Очевидно, опасность травмирования людей существует во всей зоне выброшенного угля или горной

массы. Поэтому по условиям предотвращения травмирования людей они еще до проведения сотрясательного взрывания должны находиться за пределами максимально-возможной зоны отброса. Для персонала горнорабочих, не занятых взрыванием зарядов взрывчатых веществ (ВВ), нет принципиальных затруднений по их удалению на любые расстояния, вплоть вообще до вывода из шахтных выработок на поверхность шахты.

Что касается персонала, занятого производством взрывания зарядов ВВ, то минимальное расстояние, где должны находиться люди перед производством взрывания должно составлять не менее 200 м от заряженного ВВ забоя проходческой выработки.

По условиям предотвращения повреждения оборудования и оснащения, особенно находящегося под напряжением электрооборудования и кабелей, и предупреждения возникновения источников искрения и дугообразования, горные машины, электрооборудование и кабели должны быть обесточены в пределах зоны, где возможно их повреждение кусками отброшенной горной массы. Из этих условий электрооборудование и кабели, а следовательно и горные машины должны быть обесточены на расстоянии не менее 150 м от взрываемого забоя проходческой горной выработки.

Следует отметить, что в пределах этой зоны может находиться электрооборудование системы автоматического контроля метана, шахтной телефонной связи и сигнализаций, которое не должно отключаться, а, наоборот, по условиям общей безопасности должно функционировать в штатном режиме при любых обстоятельствах. В этом случае оно должно отвечать требованиям особой взрывобезопасности (уровень взрывозащиты РО), чтобы при любых повреждениях кусками отброшенной горной массы возможное электрическое искрение не было способным воспламенить взрывоопасную метано-воздушную смесь, образованную от выброшенного вместе с углем или горной массой метана.

По этим соображениям взрывная сеть также должна быть искробезопасной или должна отключаться сразу после производства взрывания, раньше образования в воздухе выработки, где проложена взрывная сеть, опасной концентрации метана.

Анализ выбросов, происшедших при сотрясательном взрывании, показывает, что скорость воздушно-газового толчка при выбросе составляет 416-500 м/с и превышает скорость, образующуюся при обычном взрывании; средняя скорость выноса угля составляет 31-50 м/с, а продолжительность выноса угля при выбросах – от 0,4 до 3,1 с.

Обобщение наблюдений за газовыделением в различные интервалы времени при сотрясательных взрываниях и происшедших при этом выбросах, показали следующее.

Концентрация метана на расстоянии 0,5-9,5 м от забоя по данным автоматических пробоотборников сразу при сотрясательном взрывании даже при выбросах не изменяется и остается такой же, как и до сотрясательного взрывания. В период от 1 до 3 с после сотрясательных взрываний наблюдается увеличение концентрации метана, не выходящее за

взрывоопасные пределы. Через 3 с и более содержание метана интенсивно возрастает и при выбросах в отдельных случаях через 5-6 с достигает взрывоопасной концентрации. Наибольшее накопление метана происходит в течении 0,5-8 мин после сотрясательного взрывания, при этом взрывоопасная концентрация может сохраняться после интенсивного проветривания забоя более 12 мин. После выброса максимальная концентрация образуется через 45 с (а иногда даже через 5 мин). Через 1 – 1,5 с после сотрясательного взрывания в большинстве случаев наблюдается недостаток кислорода, содержание которого снижается иногда до 12%, образуя «мертвую» зону и создавая опасность жизнедеятельности.

При выбросе даже относительно небольшой мощности (40-60 т) взрывоопасное содержание метана в забое сохраняется в течении 6-7 ч. При выбросах большей мощности выработки остаются загазованными в течении даже нескольких суток [8].

Механизм загазирования выработки состоит в следующем.

В момент выброса непосредственно в забое образуется с большей скоростью большое количество метана со 100-процентной концентрацией, создавая «мертвую» зону для взрыва (даже если бы возник источник поджигания, взрыв не последовал бы) из-за отсутствия должного содержания кислорода в воздухе. Далее под действием возникшего давления облако метана распространяется по выработкам, перемешиваясь с воздухом и теряя скорость во времени по длине выработки.

После нарастания концентрации метана до максимального значения ( $C\%_{max}$ ), которое зависит от мощности выброса, метановое облако движется по выработке под влиянием депрессии шахтной вентиляции и давления струи выброшенного метана, а концентрация метана снижается из-за разбавления воздухом выработок. Снижение концентрации метана ( $C\%$ ) происходит по экспоненциальному закону

$$C\% = C\%_{max} \cdot e^{-\lambda t}, \quad (7)$$

где  $\lambda$  – коэффициент затухания, зависящий от многих факторов,  $1/c$ ;  $t$  – текущее время процесса, с.

Корреляционный анализ результатов наблюдений показал, что концентрация метана в атмосфере горных выработок при сотрясательных взрываниях, вызвавших выбросы угля и газа, в интервале времени 0-25 с описывается параболой второго порядка [9]:

$$C_{ac}(t) = 0,5969 + 0,1157t + 0,02t^2, \quad (8)$$

где  $C_{ac}(t)$  – концентрация метана при выбросе, возникшем во время сотрясательного взрывания, %;  $t$  – время от начала разрушения угля, с.

При сотрясательном взрывании, не вызвавшем выбросы, концентрация метана в данном случае в интервале времени от нуля до 14 с на участке выработки до 9,5 м от забоя может быть описана зависимостью:

$$C_C = 0,6514 + 0,2222t - 0,0149t^2. \quad (9)$$

Графическое изображение концентрации метана (1) при сотрясательных взрывах, вызвавших выбросы угля и газа, и верхней доверительной границы (2) ее индивидуальных значений приведено на рис 2, а при взрывах, не вызвавших выброса – кривые 1' и 2'.

Из рисунка видно, что значения концентрации метана (кривая 1) на участке горной выработки до 9,5 м от забоя при сотрясательных взрывах, вызвавших выброс угля и газа, достигают взрывоопасной величины (5%) через 12 с после включения тока во взрывную сеть.

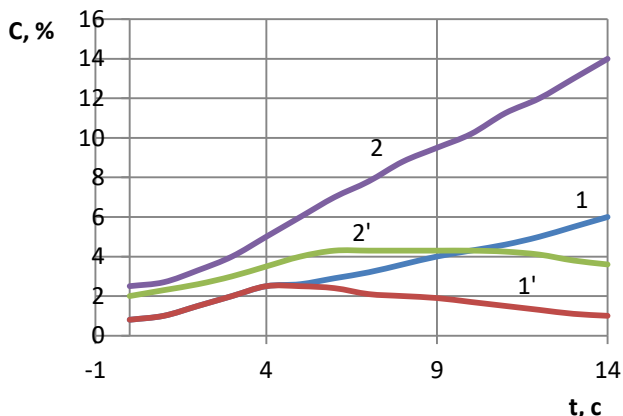


Рисунок 2 – Концентрация метана в пробах, отобранных в призабойном пространстве горных выработок: 1, 2 – при сотрясательных взрывах, вызвавших внезапные выбросы; 1', 2' – при сотрясательных взрывах, не вызвавших внезапные выбросы

Однако в отдельных пробах, отобранных в одно и то же время, значения взрывоопасной концентрации метана в выработке появляются раньше. Анализ кривой 2 рис. 2 показывает, что минимальное время появления индивидуальных значений взрывоопасной концентрации метана с доверительной вероятностью 0,95 равно 4,2 с.

Анализ кривой 1' показывает, что расчетные значения концентрации метана в выработке в интервале времени от нуля до 2,0–3,5 с такие же как и при сотрясательных взрывах, вызвавших выбросы угля и газа, и за указанное время не превышают 1,0–1,3%, достигая максимальных значений 1,4% через 6 с. Максимально возможная концентрация метана в отдельных пробах за это время (кривая 2') имеет значения 4,2%.

Рассматривая кривые 1, 2, 1' и 2' рис 2. видим, что сначала во время протекания разрушения угля взрывчатым веществом при обычных сотрясательных взрывах и при сотрясательных взрывах, вызвавших выбросы угля и газа, концентрация метана в забое одинаковая. Она начинает различаться спустя 3,5 с после подачи импульса во взрывную сеть, увеличиваясь с этого момента при сотрясательных взрывах, вызвавших выбросы угля и газа.

Рост концентрации метана сразу после выброса изложен в ряде работ [1, 4, 7, 8]. Для иллюстрации на рис.3 приведены данные из работы [6], отметим, что подобные данные по росту концентрации метана приведены в работе [10], а для узкого временного промежутка (в пределах 1 с) рост концентрации метана в начальный период выброса рекомендовано определять по закону прямой линии:

$$C\% = a + bt, \quad (10)$$

где  $a$  – концентрация метана в выработке до выброса, %;  $b$  – скорость роста концентрации метана, определяемая из условий, что в конце периода роста его концентрация  $C\%$  принимается предельной, т.е. 2%, 5% или другой, допустимой по условиям взрывоопасности.

Остановимся лишь на общих результатах этих работ (табл. 2).

Таблица 2 – Время нарастания концентрации метана

Метод определения	Время нарастания концентрации, с.	
	До $C\% = 2\%$	До $C\% = 5\%$
1. По данным автоматических пробонаборников[4]	2,7	7,0
2. По данным [1]	0,75	5,0
3. По данным аппаратуры АГЗ [7]	0,75	5,5
4. По расчётной зависимости [6]	0,75	8,25

По приведенным данным можно принять: время нарастания концентрации метана до 2% составляет 0,75 с, а до нижнего предела взрываемости, т.е. до 5% - 5с.



Рисунок – 3 График изменения концентрации метана в выработке после внезапного выброса на расстоянии 7 м от забоя: 1 – зависимость изменения концентрации метана от времени после выброса; 2 – скорость нарастания концентрации метана

Эти данные следует рекомендовать для обоснования параметров быстродействия газовой защиты с целью обеспечения предотвращения взрывов метана от систем электроснабжения забойных машин в шахтах, опасных по внезапным выбросам угля и газа.

Из приведенных данных следует, что отключение электроэнергии при внезапном выбросе в очистных и подготовительных забоях шахт крутого падения должно производиться аппаратурой быстродействующей газовой защиты за время 0,75 с. При этом за время отключения электроэнергии концентрация метана не превысит 2%, а путем отключения электроэнергии будет обеспечено выполнение требований правил безопасности в угольных шахтах об остановке машин и снятии напряжения с питающего кабеля в случаях образования у буровых станков, комбайнов и врубовых машин местных скоплений метана, достигающих 2%.

Такое отключение может осуществляться путем воздействия исполнительного устройства газовой защиты на отключение группового аппарата системы электроснабжения участка (групповой магнитный пускатель или общий автоматический выключатель участка).

Однако опасность загазирования существует не только для забоя, но и для прилегающих выработок и тем больше, чем больше мощность выброса, т.е. масса выброшенного угля и газа.

Как показывают исследования, даже при небольшой мощности выброса (10-20 т) в выработке на расстоянии 30 м от забоя максимальная концентрация метана имеет место спустя 90 с и составляет порядка 12,5% (P = 10 т), 15,05% (P = 15 т) и 18% (P = 20 т). При большей мощности выброса угля спустя 10 – 20 с концентрация метана превышает предел взрываемости и выработка будет во взрывоопасном состоянии в течении времени, меньшем 90 с. При ещё большей мощности выброса (500 т и более) на расстоянии 200 м концентрация метана будет более 6% в течении времени 200 с (при скорости движения 1 м/с).

Кроме взрывоопасности существует явная опасность для жизни людей из-за дефицита кислорода в воздухе.

Исследования показали, что зависимость скорости распространения фронта концентрации метана от мощности выброса может быть представлена прямой линией

$$U_{\phi} = 0,2 + 0,055 \cdot P, \text{ м/с} , \quad (11)$$

где P – мощность выброса, т.

В зависимости от мощности выброса даже на расстоянии 200 м от забоя при сотрясательном взрывании и вызванном им выбросе угля и газа от воздушного толчка может образоваться как взрывоопасная зона, так и зона с дефицитом содержания кислорода в воздухе.

Поэтому люди, которые вынуждены остаться в опасной зоне даже на указанном удалении от забоя, после сотрясательного взрывания и спровоцированного им выброса угля и газа, должны немедленно

включиться в изолирующие самоспасатели, чтобы не погибнуть от дефицита кислорода в воздухе.

Для обеспечения контроля за концентрацией метана взрывники, производящие сотрясательное взрывание, должны в своем оснащении иметь газоанализаторы непрерывного автоматического действия, например, типа СМС, совмещенная с головным светильником, и при повышении концентрации метана выше 1% ,включившись в самоспасатели ,выходить из выработки в направлении свежей струи воздуха, либо к специальным пунктам жизнеобеспечения.

На участке шахты, где должно проводиться сотрясательное взрывание, должна исправно функционировать система автоматического контроля содержания метана (АКМ) согласно руководству по АКМ с установкой датчика контроля метана у пункта, с которого должно производиться сотрясательное взрывание. Целесообразно установить такой пункт в конце исходящей выработки, на обоснованном ранее удалении от забоя, где будет производиться взрывание, а также вблизи размещения пункта жизнеобеспечения.

Аппаратура системы АКМ должна быть расположена таким образом, чтобы обеспечивать опережающее отключение электрооборудования, если будет проводиться загазирование выработок, движущимся фронтом метана с концентрацией 1% и выше в местах расположения электрооборудования и кабелей, не отвечающих особо взрывобезопасному уровню (РО).

В паспорте сотрясательного взрывания должны быть предусмотрены меры против выгорания патронов взрывчатых веществ как источника воспламенения взрывчатой метано-воздушной смеси при образовании её в окрестностях забоя, где производится взрывание.

**ВЫВОДЫ.** 1. На основании выполненной математической обработки статистических данных о длинах отброса горного массива при выбросах, спровоцированных сотрясательным взрыванием на угольных пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа, определена математическое ожидание длины отброса – 122 м и его среднеквадратического отклонение – 67 м, что позволило обосновать место расположения пункта взрывания на удалении от взрываемого забоя не менее, чем на 200 м.

2. Обобщение данных о накоплении метана в призабойной части горной выработки после сотрясательного взрывания и выброса позволило обосновать зависимости роста концентрации метана во времени и показать, что концентрация метана в 2% в воздухе выработки может образоваться за период в 0,75 с, а концентрация в 5% - за время 5 с после взрывания.

3. Показано, что метан, накопившийся в призабойной части, распространяется по выработке со скоростью, зависящей от мощности выброса, и за несколько секунд может вызвать загазирование выработки вплоть до места расположения пункта взрывания и дефицит кислорода в воздухе, поэтому взрывники должны быть оснащены автоматическими приборами контроля метана, совмещенными с

головными светильниками, и должны осуществлять контроль метана, а при внезапном выбросе – немедленно включаться в изолирующие самоспасители и выходить на свежую струю воздуха или к пункту жизнеобеспечения.

4. Исходя из вероятного загазирования выработка при выбросах угля и газа и для предупреждения взрывов метана забойные машины и системы электроснабжения участка шахты, где производится сотрясательное взрывание, должны обесточиваться до сотрясательного взрывания по крайней мере на протяжении не менее 150 м от места взрывания, а в выработках по пути распространения фронта метана должно осуществляться опережающее отключение напряжения системой общешахтной АКМ, один из датчиков, который должен располагаться у места расположения пункта взрывания (взрывного прибора) с настройкой на отключение электроэнергии при концентрации метана 2%, электрооборудование систем контроля параметров безопасности, сигнализации и связи должно быть уровня особой взрывобезопасности, а их кабельные линии как и взрывная линия отвечать требованиям искробезопасности.

5. С учетом изложенных результатов должны быть внесены дополнения в паспорт сотрясательного взрывания на шахтах, опасных по внезапным выбросам угля и газа, в части детализации дополнительных мер безопасности в соответствии с изложенными результатами. В дальнейшем рекомендуется внести соответствующие дополнения в нормативно-техническую документацию по сотрясательному взрыванию в угольных шахтах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: Видання офіційне: СОУ 10.1.00174088.011-2005. – Київ: Мінвуглепром України, 2005. – 222 с.
2. Сборник нормативных документов по взрывным работам в угольных шахтах: КД 12.01.1201-99 – Макеевка-Донбасс, 2000. – 240 с.
3. Колосюк В.П. Техника безопасности при эксплуатации рудничных электроустановок. – М.: Недра, 1987. – 470 с.
4. Взрывопожаробезопасность горного оборудования / С.П. Ткачук, В.П. Колосюк, С.А. Ихно. – К.: Основа, 2000. – 695 с.
5. Борьба с выбросами угля и газа в шахтах / В.И. Николин, И.И. Балинченко, А.И. Симонов. – М.: Недра, 1981. – 250 с.
6. Газовыделение при выбросах / Н.Е. Волошин, А.Е. Ольховиченко, В.А. Воронин. – Донецк: «Донбасс», 1976. – 43 с.
7. Гусев М.Г., Медведев В.Н. Обнаружение газодинамических явлений средствами шахтной метанометрии //Безопасность труда в промышленности. – 1983. - № 3. – С. 53–55.
8. Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах [А.М. Брюханов, В.И. Бережинский, В.П. Колосюк, В.П. Коптиков и др.] под общ. Ред. А.М. Брюханова. – Донецк: «Вебер» (Донецкое отд.), 2007. – Том III. – 692 с.
9. Silvestrov V.V., Plestinin A.V. Investigation of low detonation velocity emulsion explosives // Combustion. Explosion and Shock waves. – 2009. – Vol. 45. – 5. – PP. 618–626.
10. Калякин С. Безопасность взрывных работ в газоносных массивах угольных шахт. – Saarbrücken: Palmarium Akademik Publishing LAP 2013. – 517 p.

#### SAFETY MEASURES IN MINES AT SHAKING EXPLOSIONS DANGEROUS DUE TO SUDDEN OUTBURSTS OF COAL AND GAS

V. Kolosyuk, V. Chebenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University  
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

A. Kolosyuk

Donbass Academy of Construction and Architecture  
vul. Heroiv Nebesnoi Sotni, 14, Kramatorsk, 84333, Ukraine.

**Purpose.** Substantiation of recommendations on Safety at a space explosions in mines, dangerous for the sudden outbursts of coal and gas. **Methodology.** Mathematical treatment and analysis of statistical data about sudden coal and gas on mines in Donbas. **Results.** Conditions and hazard factors accompanying shaking explosions in preparatory and breakage headings, which are dangerous due to sudden outbursts of coal and gas, are considered. It is shown that during such explosions the mining mass throw called forth by the process of coal and gas outburst and quick storage of methane in the opening where the explosion takes place and the outburst Occurs are the most dangerous. Dependences of concentration of methane accumulated during the outburst are presented. Additional safety measures for explosives experts and other miners as well as measures of automatic control of methane content in the air of the opening are substantiated according to the conditions of prevention of explosion of generated methane-air mixture. **Originality.** Dependences of length of mountain mass and height concentration of methane are set in the mountain making at sudden of coal and gas. **Practical value.** Reasonable safety is advisable for utilization in the passport of a shake explosion. References 13, tables 2, figures 3.

**Key words:** throw distance, methane concentration, shaft opening, mining face.

REFERENCES

1. Ukraine Ministry of Coal Industry (2005) *SOU 10.1.00174088 Pravila vedenia hirnitchnih robit on plastach skhilnih to gazodinamichnych yavisch: Normatyvnyy document Minvuhlepromu Ukraine. Standards* [SOU 10.1.00174088:2005. Rules of performance of mining operation on strata prone to gas – dynamic phenomena: Official edition. Standard], Ukraine Ministry of Coal Industry, Kyiv, Ukraine.
2. Ukraine Ministry of Coal Industry (2000), *KD 12.01.1201:1999. Collection normativnyy documents for blasting in coalmines: Normatyvnyy documents Minvuhlepromu Ukraine. Standard* [CD12.01.1201:1999. Collection of normative documents for blasting in coal mines: Official edition. Standard], Makeievka-Donbass, Ukraine.
3. Kolosiuk, V.P. (1987), *Safety engineering in operation of mining electric units*, Nedra, Moscow, Russia, 470 p.
4. Tkachuk, S.P., Kolosyuk, V.P. and Ihno, S.A. (2000), *Explosion and fire safety of mining equipment*, Osnova, Kyiv, Ukraine, 695 p.
5. Nikolin, V.I., Balinchenko, I.I. and Simonov, A.I. (1981), *Fight against outburst of coal and gas in mines*, Nedra, Moscow, Russia, 250 p.
6. Voloshin, N.E., Olkhovichenko, A.E. and Voronin, V.A. (1976), *Gas release during outbursts, "Donbass"*, Donetsk, Ukraine, 43 p.
7. Gusev, M.G. and Medvedev, V.N. (1983), "Detection of gas-dinamic phenomena by means of mining methanometry", *Labor safety in industry Ukraine*, no. 3, pp. 53–55.
8. Bruchanov, A.M., Berezhinski, V.I., Kolosyuk, V.P. and Koptikov, V.P. (2007), *Investigation and prevention of emergencies at coalmines, "Weber"*, Donetsk, Ukraine – Vol. III, 692 p.
9. Silvestrov, V.V. and Prestrinin, A.V. (2009), *Investigation of low detonation velocity emulsion explosives*, Combustion. Explosion and Shockwaves.– Vol. 45. – pp. 618–626.
10. Kalyakin, S., (2013), *Safety of blasting in gas-bearing strata of coal mines*, Saarbrucken: Palmarium Akademik Publishing LAP, 51 p.

Стаття надійшла 25.11.2016.