

УДК 622.868.42:622.026.7

Виктория Владимировна Мельникова, ассистент;

Научный руководитель: Евгений Васильевич Курбацкий, канд. техн. наук, доцент;

e-mail: viksuta@gmail.com

Донецкий национальный технический университет;

283001, г., Донецк, ул. Артема, 58. Тел. (+38 062) 301-03-09

Соавторы:

Георгий Иванович Педтибай, нач. отд.; e-mail: niigd.osmas-1@mail.ru;

Николай Александрович Галухин, инж. I кат.; e-mail: niigd.osmas-7@mail.ru;

Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС ДНР;

283048, г., Донецк, ул. Артема, 157. Тел. (+38 062) 311-12-00;

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАРЬЕРНОЙ ПЕРЕМЫЧКИ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВА МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Цель. Определение параметров барьерной перемычки в результате обрушения кровли.

Методы. Аналитические исследования на основе теории свода обрушения по М.М. Протодяконову.

Результаты. Получены коэффициент заполнения выработанного пространства обрушенными породами, высота заполнения и условие полного заполнения обрушенными породами кровли.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть использованы при сооружении барьерных перемычек с искусственным обрушением кровли методом БВР.

Ключевые слова: барьерная перемычка, свод обрушения, высота обрушения, коэффициент заполнения, коэффициент разрыхления.

Состояние вопроса. Изоляция пожарных участков на угольных шахтах может осуществляться способом сооружения барьерной перемычки в горных выработках шахт, опасных по газу. Барьерная перемычка относится к вспомогательным средствам гашения ударных волн при взрыве газовоздушных смесей и применяется совместно с изолирующей взрывоустойчивой перемычкой. Возведение барьерной перемычки осуществляется путем обрушения кровли при проведении буровзрывных работ. Согласно [1, 2, 3] для более полной подбуртовки всего сечения выработки в зоне обрушения выработки, проводят забуривают заполненные породой вагонетки. В [1] приведены рекомендации по выбору длины взрывоустойчивой породной перемычки, которая должна быть равна двум площадям сечения выработки, выраженной в метрах. Приведенные рекомендации справедливы для полностью заполненной обрушенными породами выработки. В [4, 5] на основании исследований локализации

взрыва обрушенными породами установлена связь между длиной породной перемычки h_p , м и определяющими параметрами в виде

$$h_p = k_1 k_2 H P_2$$

где k_1 – коэффициент заполнения выработанного пространства обрушенными породами;

k_2 – кусковатость обрушенных пород;

H – длина загазованного участка, м;

P_2 – кратность превышения давления во фронте взрывной волны атмосферного.

Объем обрушенной породы может быть недостаточным для полного заполнения сечения выработки по всей длине перемычки. В связи с этим актуальным является определение установления условия полного заполнения выработки обрушенными породами.

Цель работы. Определение параметров барьерной перемычки в результате обрушения кровли: коэффициента заполнения выработки при буровзрывном обрушении пород кровли, высоты обрушенной породы, условия полного заполнения сечения выработки.

Результаты исследований. Рассмотрим выработку с шатровым сводом (рис. 1), в котором свод выполнен в виде полуокружности.

На схеме также нанесены реальные размеры свода 11-го восточного конвейерного штрека шахты №22 «Коммунарская», которые будут использовать в дальнейших расчетах.

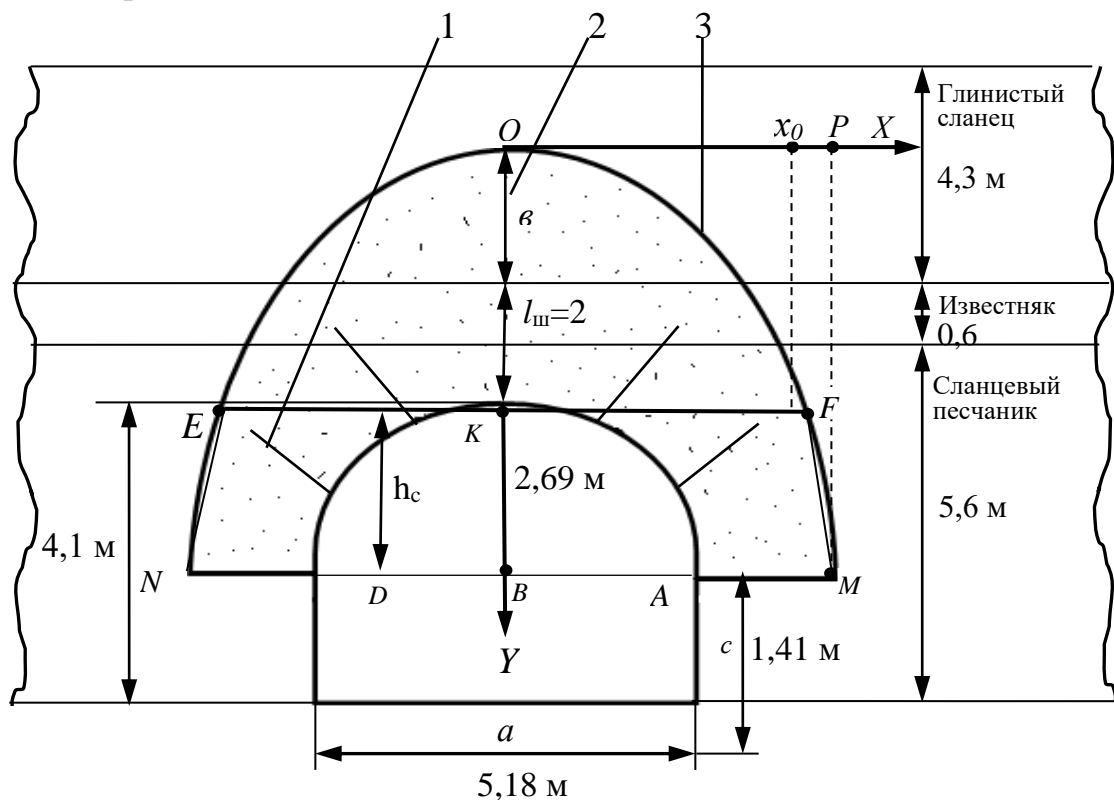


Рис. 1. Схема выработки с шатровым сводом:

1 – шпур; 2 – высота свода; 3 – свод обрушения

В качестве рабочей гипотезы образования свода обрушения нами принята классическая теория свода по профессору М.М. Протодьяконову. Суть ее состоит в том, что породы обрушаются до образования поверхности неправильного очертания, называемого сводом обрушения 2 (рис. 1), за пределами которого образуется свод естественного равновесия в виде параболы, воспринимающий давление вышележащих пород. Высота этого свода определяется по формуле М.М. Протодьяконова

$$v = a/2f,$$

где v – высота свода обрушения, м;

a – ширина выработки, м;

f – коэффициент крепости пород по шкале профессора М.М. Протодьяконова.

Для выработки со сроком службы более двух лет $v = a/f$

Парабола, описывающая контур свода, может быть представлена в виде $y = ex^2$. Для этого начало координат O системы XOY поместим в вершину параболы, а ось OY расположим вдоль оси симметрии сечения выработки. Установим координаты крайней точки M ветви параболы. Очевидно, что координата по оси OX равна

$$a/2 + l_{\text{ш}},$$

где $l_{\text{ш}}$ – длина шпура, м.

a по оси OY равна

$$v + l_{\text{ш}} + R,$$

R – радиус свода выработки, м.

После преобразований, уравнение параболы принимает вид

$$y = \frac{v + l_{\text{ш}} + R}{\left(\frac{a}{2} + l_{\text{ш}}\right)^2} x^2$$

Зная уравнение параболы, можно найти объем обрушенной породы. Для этого необходимо найти площадь фигуры $NEOFMAKD$ и умножить на длину перемычки. Площадь фигуры $NEOFMAKD$ находится по формуле

$$S = 2 \left[\left(\frac{a}{2} + l_{\text{ш}}\right) \left(R + l_{\text{ш}} + v\right) - \frac{\pi R^2}{4} - \int_0^{\frac{a}{2} + l_{\text{ш}}} \frac{v + l_{\text{ш}} + R}{\left(\frac{a}{2} + l_{\text{ш}}\right)^2} x^2 dx \right].$$

После интегрирования и преобразования получаем объем обрушенной горной массы

$$V = kSL = kL \left[\frac{4 \left(\frac{a}{2} + l_{\text{ш}} \right) (R + l_{\text{ш}} + e)}{3} - \frac{\pi R^2}{2} \right],$$

где $k = \sum_{i=1}^n k_i / n$ – средний коэффициент разрыхления обрушенных слоев

пород;

k_i – коэффициент разрыхления i -слоя;

n – число слоев;

L – длина перемычки, м.

Применение среднего коэффициента разрыхления обусловлено тем, что с одной стороны свод обрушения кровли является криволинейным с различной долей участия слоев породы, а с другой стороны – различие в величинах коэффициентов разрыхления незначительны, что говорит об устойчивости среднеарифметического значения. Так, в условиях шахты № 22 «Коммунарская» (11-й восточный конвейерный штрек), породы кровли состоят из слоев сланца песчаного, известняка и глинистого сланца с коэффициентами разрыхления соответственно равными 1,20; 1,20 и 1,16. Среднее значение коэффициента разрыхления составляет 1,19, а наибольшее расхождение не превышает 2,6 %.

Высота заполнения выработки обрушенной породой находится как отношение

$$h = \frac{V}{a \cdot L} = \frac{k}{a} \left[\frac{4 \left(\frac{a}{2} + l_{\text{ш}} \right) (R + l_{\text{ш}} + e)}{3} - \frac{\pi R^2}{2} \right]$$

при условии, что $h \leq c$,

где c – высота вертикальной стенки выработки, м.

Если $h > c$, то обрушенная порода заполняет свод выработки. Высота h_c заполнения свода породой находится из условия

$$V_c = V - a c L,$$

где V_c – объем породы, заключенный в своде выработки, м³.

Разделим обе части этого уравнения на L и перейдем к рассмотрению соотношений между площадями

$$S_c = S - ac = k \left[\frac{4 \left(\frac{a}{2} + l_{\text{ш}} \right) (R + l_{\text{ш}} + e)}{3} - \frac{\pi R^2}{2} \right] - ac,$$

где S_c – площадь фигуры $NEFM$, м².

Зная уравнение параболы и геометрические размеры выработки можно аналитически определить S_c , заменив в фигуре $NEFM$ отрезки ветвей параболы NE и FM прямыми, получив трапецию $NEFM$. Площадь трапеции находим по формуле

$$S_T = \frac{NM + EF}{2} h_c,$$

где S_T – площадь трапеции, м²;

NM и EF – основания трапеции, м;

h_c – высота трапеции, м.

Приравнявая S_T и S_c получаем уравнение

$$\frac{NM + EF}{2} h_c = k \left[\frac{4 \left(\frac{a}{2} + l_{III} \right) (R + l_{III} + \vartheta)}{3} - \frac{\pi R^2}{2} \right] - ac. \quad (1)$$

После преобразования (1) запишем как

$$\left[R + l_{III} + \left(\frac{a}{2} + l_{III} \right) \sqrt{\frac{R + l_{III} + \vartheta - h_c}{\vartheta + l_{III} + R}} \right] h_c = k \left[\frac{4 \left(\frac{a}{2} + l_{III} \right) (R + l_{III} + \vartheta)}{3} - \frac{\pi R^2}{2} \right] - ac, \quad (2)$$

Преобразуя уравнение (2) к виду удобному для решения относительно h_c , получаем

$$h_c^3 - 2\alpha(\vartheta + l_{III} + R)h_c + \alpha^2(\vartheta + l_{III} + R) = 0, \quad (3)$$

где

$$\alpha = k \left[\frac{4 \left(\frac{a}{2} + l_{III} \right) (R + l_{III} + \vartheta)}{3} - \frac{\pi R^2}{2} \right] \frac{1}{R + l_{III}} - \frac{ac}{R + l_{III}}.$$

Полученное трехчленное кубическое уравнение может быть решено аналитически с использованием формул Кардано. Решением уравнения является только действительный корень [6].

Таким образом, высота заполнения выработки обрушенной породой в общем случае выражается уравнением

$$h = \begin{cases} \frac{k}{a} \left[\frac{4 \left(\frac{a}{2} + l_{\text{ш}} \right) (R + l_{\text{ш}} + e)}{3} - \frac{\pi l}{2} \right] \text{если } \frac{k}{a} \left[\frac{4 \left(\frac{a}{2} + l_{\text{ш}} \right) (R + l_{\text{ш}} + e)}{3} - \frac{\pi R^2}{2} \right] \leq c \\ \frac{k}{a} \left[\frac{4 \left(\frac{a}{2} + l_{\text{ш}} \right) (R + l_{\text{ш}} + e)}{3} - \frac{\pi R^2}{2} \right] \text{если } \frac{k}{a} \left[\frac{4 \left(\frac{a}{2} + l_{\text{ш}} \right) (R + l_{\text{ш}} + e)}{3} - \frac{\pi R^2}{2} \right] > c. \end{cases}$$

Коэффициент заполнения выработки обрушенными породами находится по формуле

$$k_1 = \frac{V}{V_1},$$

где V_1 – объем выработки после буровзрывных работ, м^3 .

При полном заполнении выработки $k_1 = 1$, тогда получаем

$$\frac{S_0}{S} = 1 - \frac{1}{k}.$$

Следует вывод, заключающийся в том, что полное заполнение выработки обрушенными породами зависит от соотношения между S_0 и S , и среднего коэффициента разрыхления пород кровли.

Имея величину $k = 1,19$ – числовое значение отношения $\frac{S_0}{S} = 0,16$. Таким

образом, для полного заполнения горной выработки необходимо, чтобы площадь сечения взорванного и обрушенного свода, более чем в 6 раз превышала начальную площадь сечения выработки. Для условий 11-го восточного конвейерного штрека шахты № 22 «Коммунарская» при бурении шпурами длиной $l_{\text{ш}} = 2$ м, коэффициент заполнения выработанного пространства обрушенной породой (при сечении выработки равном $S_0 = 19,2 \text{ м}^2$) составляет $k_1 = 0,63$. Отсюда легко определяется недостающий объем породы $V_{\text{п}}$, м^3 , который необходимо распределять по всей длине сооружаемой перемычки

$$V_{\text{п}} = 0,37 S \cdot L = 362,6$$

Следовательно, локализующие свойства обрушенных пород не могут в полной мере изолировать аварийный участок без дополнительного объема породы и привлечения погрузочной техники, что усложняет и повышает стоимость сооружения взрывоустойчивой породной перемычки, увеличивает время ее сооружения.

При расположении подготовительной выработки в выработанном пространстве очистного забоя или на границе с ним, в кровле формируется зона беспорядочного обрушения [7]. При проведении буровзрывных пород происходит обрушение кровли до самоподбучивания, при котором процесс обрушения прекращается. Очевидно в таком случае коэффициент заполнения выработанного пространства равен 1. Высота зоны обрушения находится по формуле [7]

$$h_{\text{об}} = \frac{\left(m + \sum_{i=1}^n h_i \right) k_{p(n+1)} - \sum_{i=1}^n h_i k_{p_i}}{k_{p(n+1)} - 1},$$

где $h_{\text{об}}$ – высота зоны обрушения, м;

m – вынимаемая мощность пласта, м;

h_i $k_{p,i}$ – соответственно мощность и коэффициент разрыхления i -слоя пород.

Расчет высоты зоны обрушения для условий шахты № 22 «Коммунарская» проведен на компьютере с использованием программы Excel. В результате получены расчетные значения высоты обрушения – 26,7 м и длины обрушения 38,04 м.

Выводы. Получены выражения для определения основных параметров барьерных перемычек:

- высоты заполнения выработки обрушенной породой;
- условия полного заполнения сечения выработки обрушенной породой;
- коэффициента заполнения выработки обрушенной породой;
- дополнительного объема породы для полного заполнения сечения перемычки.

Показано, что в условиях 11 восточного конвейерного штрека шахты № 22 «Коммунарская» коэффициент заполнения выработки обрушенной породой равен 0,63, поэтому для полного заполнения сечения необходим дополнительный объем породы около 362,6 м³, который должен быть распределен по всей длине перемычки до проведения взрывных работ. Это и является условием определения целесообразности возведения барьерной перемычки в конкретных условиях.

Список литературы

1. Смоланов С.Н. Изоляционные, вентиляционные и взрывоустойчивые перемычки / С.Н.Смоланов, В.И. Голинько, М.С. Мартиненко. – Днепропетровск: Наука и образование, 2002. – 260 с.
2. СОУ 10.1-00174102-016:2011 Вентиляційні, ізолюючі та вибухостійкі перемички при ліквідації аварії у вугільних шахтах. Конструкція, матеріали та технологія зведення. – Київ, 2012. – 54 с.

3. Агеев В.Г. Взрывозащита при изоляции пожаров в угольных шахтах / В.Г.Агеев. – Донецк: Арпи, 2014. – 337 с.

4. Грядущий Б.А. Локализация взрывов метановоздушных смесей обрушенными горными породами / Б.А.Грядущий, Ю.Ф.Булгаков // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. // НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2000. – С. 81-86.

5. Булгаков Ю.Ф. Исследование механизма локализации взрывов метановоздушных смесей в выработанном пространстве лав обрушенными горными породами / [Электронный ресурс]. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-mehanizma-lokalizatsii-vzryvov-vozduhnyh-smesey-v-vyrabotannom-prostranstve-lav-obrushennymi-gornymi-porodami>.

6. Решение кубического уравнения [Электронный ресурс]. – URL: <http://allcalc.xu/node/62/>.

7. Южанин И.А., Терлецкий А.М. К вопросу определения высоты зоны обрушения пород / И.А.Южанин, А.М. Терлецкий // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2008. – № 3. – С. 122-127.