

О. В. ХОМЕНЧУК, С. В. БОРЩЕВСКИЙ, В. В. ГОНЧАРЕНКО  
(Донецкий национальный технический университет)

## ВОЗВЕДЕНИЕ НАБРЫЗГБЕТОННОЙ КРЕПИ ВЗРЫВОМ

Розглянуто основну схему зведення набрызкбетонного кріплення у вертикальних виробках круглого перетину, а також алгоритм обчислення основних параметрів способу. Наведено результати обчислень параметрів способу за даним алгоритмом для основних промислових вибухових речовин.

*Ключові слова:* кріплення, вертикальна виробка, алгоритм, вибухова речовина

Рассмотрена основная схема возведения набрызгбетонной крепи в вертикальных выработках круглого сечения, а также алгоритм вычисления основных параметров способа. Приведены результаты вычислений параметров способа по данному алгоритму для основных промышленных взрывчатых веществ.

*Ключевые слова:* крепление, вертикальная выработка, алгоритм, взрывчатое вещество

The basic circuit design of erection of shotcrete lining in vertical excavations of round cross-section, and also algorithm of scaling of key parameters of a way is considered. Results of scalings of parameters of a way on the given algorithm for the basic industrial explosives are resulted.

*Keywords:* lining, vertical excavations, algorithm, explosive

Совершенствование технологических процессов и применение новых энергосберегающих материалов является основными задачами научно-технического прогресса не только в горном деле, но и во всех отраслях хозяйственной деятельности. Применение новых инновационных решений в горном деле при сооружении горных выработок способствует снижению стоимости добытого полезного ископаемого, а также повышению производительности труда. В частности это касается и возведения крепи горных выработок.

Традиционные виды крепи (металлическая арочная, монолитная бетонная, металлобетонная, сборная железобетонная и др.) являются весьма дорогостоящими и материалоемкими, требуют больших затрат ручного труда на возведение, плохо поддаются механизации. Кроме того, они не обеспечивают плотный контакт с породным массивом, не позволяют использовать несущую способность приконтурного слоя породы и выполняют лишь роль ограждающих конструкций.

В 80-90-е годы XX столетия рядом авторов был предложен способ, при котором жидкие покрытия наносятся на поверхности защищаемых объектов с помощью энергии взрыва [1, 2]. Предлагалось осуществлять способ при помощи различных средств: углубления в почве выработки, в котором располагался заряд и бетонная смесь; специальных сосудов (устройств) на рельсовом ходу; легкоразрушаемых сосудов. Наиболее простым в реализации оказался последний из перечисленных способов [3].

Сущность взрывного способа набрызгбетонирования состоит в том, что направленный поток цементно-песчаной (бетонной) смеси формируется путем её диспергирования из легкоразрушаемого (полиэтиленового) сосуда при помощи взрыва размещенного в нём центрального заряда ВВ [4].

Основные преимущества способа – это безлюдность, т. е. в момент нанесения смеси на поверхность выработки рабочие не находятся в загрязненном пространстве, что является неизбежным при сухом и мокром набрызгбетонировании механическими способами, и энергонезависимость.

Областью применения способа являются стесненные, труднодоступные выработки, а также скважины, гезенки, геологоразведочные стволы малого сечения и пр.

Целью данной работы является исследование влияния массы и класса взрывчатого вещества на эффективные параметры взрывного способа набрызгбетонирования.

Методика исследований заключается в проверке и установлении параметров заряда ВВ (тип ВВ, масса патрона, количество патронов), а также необходимой массы смеси для нанесения слоя торкретбетона определенной толщины в выработке определенного радиуса, при которых не будет происходить «расслоение» и будет производиться нанесение смеси с минимальным отскоком.

На рис. 1 изображена схема размещения сосуда в вертикальной выработке с указанием основных пространственных параметров рас-

ширения дисперсной системы. В зависимости от площади поперечного сечения вертикальной выработки, могут применяться сосуды как малой, так и большой вместимости.

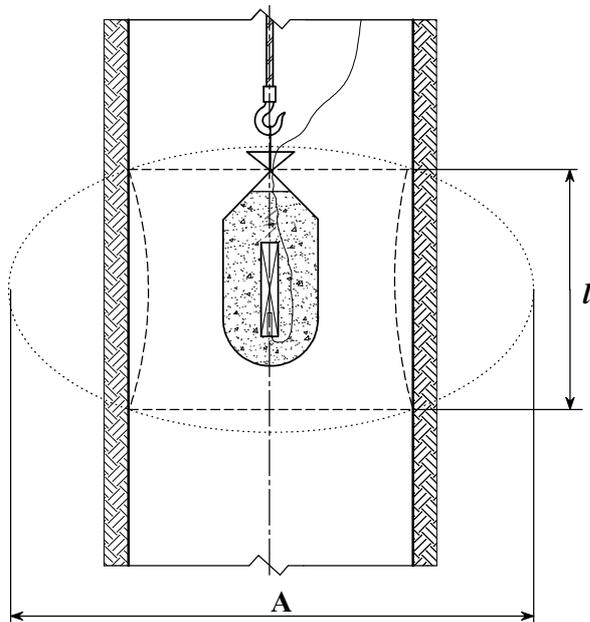


Рис. 1. Схема размещения устройства в вертикальной выработке при локальном ремонте крепи

В работе [5] установлена величина удельного, относительно массы вещества, энергетического критерия, при котором не наблюдается расслоение многофазного потока цементно-

песчаной смеси при возведении набрызгбетонной крепи взрывным способом. Этот показатель для цементно-песчаной смеси должен быть не более чем  $9,2 \times 10^8 \text{ кгс}^{-1/2} \cdot \text{Дж}^{3/2}$  на каждый килограмм смеси.

Основным фактором, влияющим на величину потерь и качество нанесенной смеси, является скорость соударения частиц со стенками выработки.

Оптимальная, с точки зрения минимизации потерь и максимизации прочности, скорость соударения частиц о стенки выработки для торкретбетонной смеси, согласно данным, полученным В. И. Шавриным [6] и Б. Т. Грязновым [7], равна 30...40 м/с.

Для набрызгбетонной крепи оптимальная скорость значительно меньше из-за присутствия крупного заполнителя и составляет по экспериментальным данным Э. В. Казакевича [8] в среднем 6...16 м/с.

Для определения массы смеси, необходимой для эффективного нанесения торкрета на стенки выработки радиусом  $R_{\text{выр}}$ , при использовании определенного заряда ВВ необходимо, в первую очередь, определить приведенную эквивалентную массу смеси, которая может быть найдена путем решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} V_{\text{опт}} \geq \frac{R_{\text{выр}}}{b} \cdot \left( \ln \left( \frac{R_{\text{выр}}}{A} \right) \right)^2 \cdot 10^3 \geq 6, \\ A = 3,96 + 0,58 \cdot (M_{f_3} - 2,58) - 0,59 \cdot (M_{f_3} - 2,58) \cdot \text{th} \left( \frac{M_{f_3} - 2,58}{6,66} \right), \\ b = \frac{A \cdot (1 - 0,60 \cdot \exp(-0,16 \cdot M_{f_3}))}{0,58} \end{cases} \quad (1)$$

где  $V_{\text{опт}}$  – оптимальная скорость соударения частиц о стенки выработки, м/с;  $R_{\text{выр}}$  – радиус выработки, м;  $M_{f_3}$  – эквивалентная масса распыляемой навески, приведенная к массе эталонной порошковой оболочки и распыляющего заряда ВВ, кг [5].

В результате воздействия ударной волны на твердый заполнитель при взрыве взрывчатого вещества, последний будет дополнительно измельчен. Поэтому в дальнейшем будем использовать в расчетах скоростные пределы соударения частиц о стенки выработки, характеризующие эффективное нанесение торкретбетона.

Оптимальные параметры взрывного способа определяются по алгоритму, изображенному на рис. 2. Входными данными являются:

- масса заряда  $m_{\text{зар}}$ ;
- теплота взрыва заряда  $Q_{\text{зар}}$ ;
- скорость детонации заряда  $D_{\text{зар}}$ ;
- длина заряда  $l_{\text{зар}}$ ;
- радиус выработки  $R_{\text{выр}}$ .

Энергетический критерий  $f_{\text{зар}}$ , приведенная масса  $M_f$ , эквивалентная масса  $M_{f_3}$  рассчитываются по формулам, описанным в [4, 5].



Рис. 2. Блок-схема к определению эффективных параметров взрывного способа возведения набрызгбетонной крепи

Применяя полученный алгоритм, на основании проведенных исследований динамики разлета цементно-песчаной смеси при центральном взрыве и условия формирования однородного многофазного потока, были построены графики зависимости необходимой массы смеси в устройстве для торкретирования взрывным способом при использовании определенного заряда, зависящего от радиуса выработки.

В качестве заряда рассматривались промышленные взрывчатые вещества II – VII классов различной массы:

- 1) аммонит скальный № 1 прессованный массой 0,4 и 0,8 кг (рис. 3);
- 2) аммонит БЖВ массой 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 кг (рис. 4);
- 3) аммонит Т19 массой 0,3; 0,6; 0,9; 1,2 кг (рис. 5);
- 4) угленил 13П массой 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25 кг (рис. 6);
- 5) ионит массой 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 кг (рис. 7).

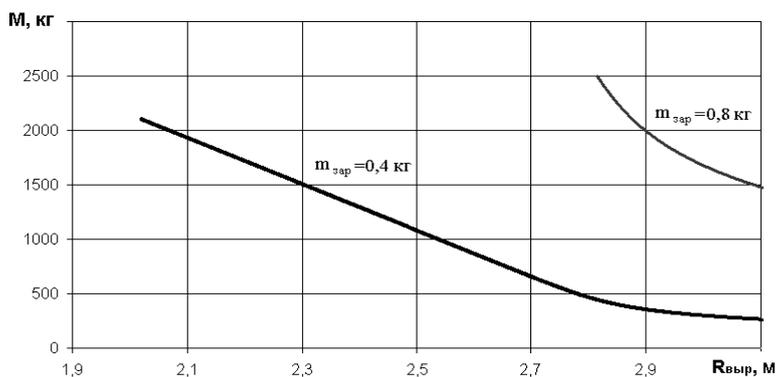


Рис. 3. График зависимости массы необходимой смеси от радиуса выработки при применении в качестве заряда аммонита скального №1 прессованного

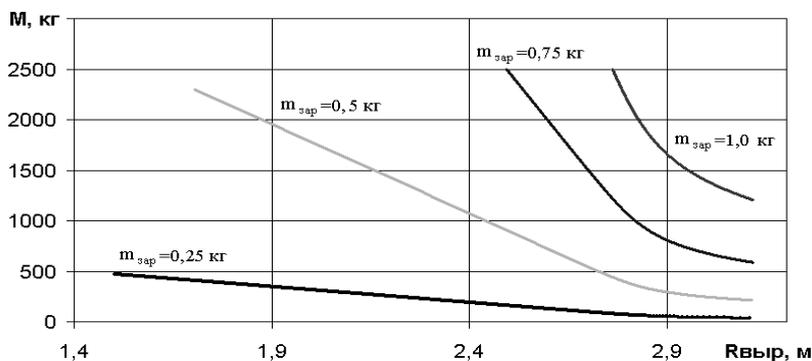


Рис. 4. График зависимости массы необходимой смеси от радиуса выработки при применении в качестве заряда аммонита БЖВ

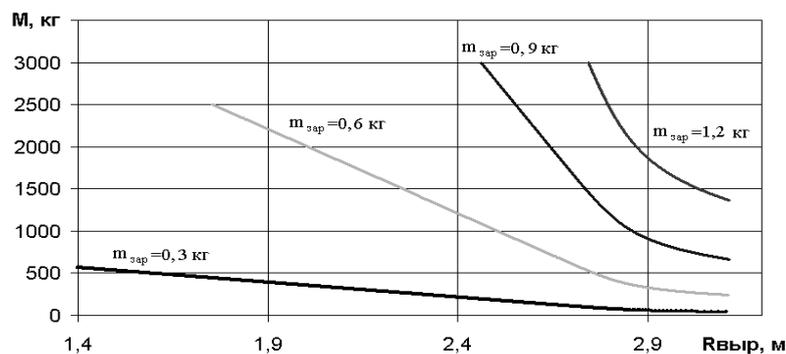


Рис. 5. График зависимости массы необходимой смеси от радиуса выработки при применении в качестве заряда аммонита Т19

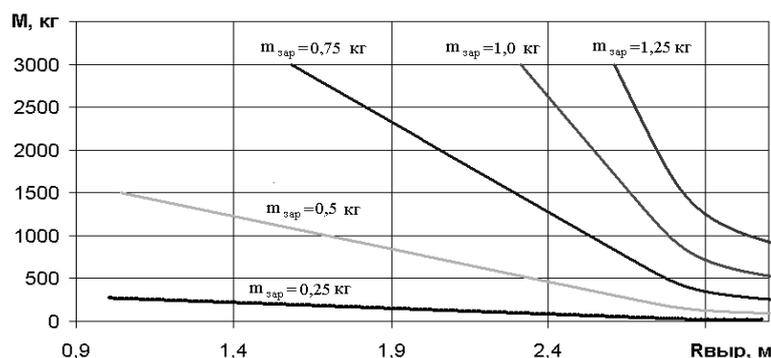


Рис. 6. График зависимости массы необходимой смеси от радиуса выработки при применении в качестве заряда угленита 13П

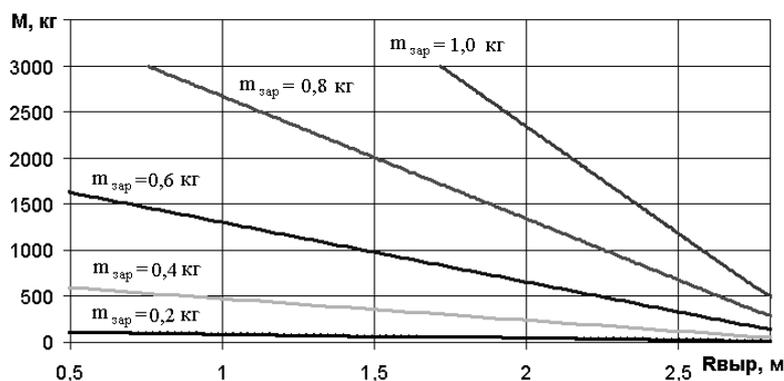


Рис. 7. График зависимости массы необходимой смеси от радиуса выработки при применении в качестве заряда ионита

По графикам (см. рис. 3-7) можно определить массу смеси, необходимую для нанесения одного качественного слоя торкретбетона взрывным способом в выработке радиусом до 3,1 м с минимальными потерями.

Зная необходимую массу смеси и размеры выработки, можно определить толщину одного наносимого слоя  $h_{кр}$ .

Согласно исследованиям, проведенным Шевцовым Н. Р. и Михайловым А. Б. [3], облако взрыва имеет форму эллипсоида вращения, полученного вращением эллипса относительно малой оси. Причем малая ось эллипса в два ра-

за меньше большой. Эллиптическая форма сечения облака взрыва описывается уравнением

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{2 \cdot y^2}{A^2} = 1 \quad (2)$$

или после преобразований

$$y = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{A^2 - x^2}. \quad (3)$$

Подставляя вместо  $x$  радиус выработки  $R_{выр}$ , определим ширину обрабатываемой поверхности  $\ell$  (см. рис. 1):

$$\ell = \sqrt{A^2 - R_{\text{выр}}^2} . \quad (4)$$

Зная ширину обрабатываемой поверхности, массу распыляемой смеси и коэффициент потерь, можно посчитать среднюю толщину наносимого взрывным способом слоя торкретбетона по следующей зависимости:

$$\delta = \frac{M \cdot K_{\Pi}}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \ell \cdot \rho_{\text{см}}}, \quad (5)$$

где  $K_{\Pi}$  – коэффициент учитывающий потери.

Таким образом, в работе приведен алгоритм, позволяющий определять пространственно-временные параметры взрывного способа возведения набрызгбетонной крепи в вертикальных выработках круглого сечения.

Для определения толщины наносимого за одно взрывание слоя необходимо провести дополнительные экспериментальные исследования по установлению коэффициента потерь при возведении набрызгбетонной крепи взрывным способом в соответствии со схемой (см. рис. 1).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Томашев, Г. С. Нанесение набрызгбетона на стенки выработки взрывным способом [Текст] / Г. С. Томашев, В. В. Корневский, Р. Х. Лукманов // Разработка месторождений полезных ископаемых Сибири и Северо-Востока. – Иркутск, 1980. – С. 47-50.
2. Ягнышев, В. С. Возведение набрызгбетонной крепи взрывным способом [Текст] /

- В. С. Ягнышев, И. В. Дементьев, В. Д. Пропп // «Известия вузов. Горный журнал». – 1982. – № 12. – С. 19-23.
3. Гречихин, Л. И. Основы теории распыления оболочек из жидких и порошковых материалов центральным взрывом. [Текст] / Л. И. Гречихин, Н. Р. Шевцов, О. В. Хоменчук // Проблемы гірського тиску. Випуск 9 / під заг. ред. О. А. Мінаєва. – Донецьк: ДонНТУ, 2003. – С. 236-256.
4. Шевцов, Н. Р. Взрывной способ набрызгбетонирования [Текст] / Н. Р. Шевцов, О. В. Хоменчук // сб. научн. труд. НГУ. – № 17, Т. 2. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2003. – С. 43-49.
5. Хоменчук, О. В. Качественные параметры взрывного способа возведения торкретбетонной крепи взрывным способом [Текст] / О. В. Хоменчук, С. В. Чухлебов // Наукові праці ДонНТУ: серія гірничо-геологічна. Випуск 10(151). – Донецьк, ДонНТУ. – 2009. – С.80-85.
6. Шаврин, В. И. Структура свободной струи при набрызге бетона [Текст] / В. И. Шаврин. – К.: Госстрой, 1969. – 34 с.
7. Грязнов, Б. Т. Определение скорости торкретной струи [Текст] / Б. Т. Грязнов // Промышленное строительство. – 1962. – № 4. – С. 41-43.
8. Стрельцов, В. В. Крепление горных выработок угольных шахт набрызгбетоном [Текст] / В. В. Стрельцов, Э. В. Казакевич, Д. И. Пономаренко. – М.: Недра, 1978. – 273 с.

Поступила в редколлегию 01.10.2011.  
Принята к печати 21.11.2011.