

боткой, способной обеспечить ведение горных работ и добычу угля в Донбассе на глубоких горизонтах.

#### Список литературы

1. Гуттенберг Б. Физика земных недр. – М.: Издательство иностранной литературы 1963. - 263 с.
2. Бойко В. А., Бойко О. А. Оценка теплового потенциала горного массива глубокой шахты Донбасса и возможностей типовой схемы нормализации условий труда //Сб. науч. трудов НГУ.- №16.- 2003.- Днепропетровск.- С.113-124.
3. Бойко В. А., Бойко А.В. К вопросу о выборе способа и средств нормализации тепловых условий в подготовительных горных выработках глубоких шахт Донбасса в период их проходки //Зб. наук. праць НГУ №32.- 2009.- Дніпропетровськ: НГУ.- С.193-206
4. Бойко В. А., Бойко О. А. Проблема нормализации микроклимата глубоких шахт Донбасса, способы и средства ее решения. Материалы международной конференции “Форум горняков 2009”.- Дн-ск: НГУ.- С.142-153.
5. Щербань А. Н., Кремнев О. А. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт. Том 1,2. Издат. АН УССР, Киев, 1959. - 430 с,1960.-348 с.
6. Бойко В. А., Бойко О. А. Способ и средства нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт в период их строительства //Зб. наук. праць НГУ.-2009.- №32.- Дніпропетровськ: НГУ.- С.214-225.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голінком В.І.  
Надійшла до редакції 25.10.10*

УДК 622.235:504.06

© А.А. Юрченко

### **СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ В КАРЬЕРАХ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗИНОВОЙ ПРОБКИ С АНКЕРНЫМ УСТРОЙСТВОМ В КАЧЕСТВЕ ЗАБОЙКИ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ**

Наведені результати розробки по удосконаленню конструкції набивки свердловинних зарядів при масових вибухах в кар'єрах. Обґрунтована доцільність використання резинової пробки з анкерним пристроєм для здійснення регулювання швидкості вильоту набивки із свердловини при вибухах, а тим самим і висоти підйому пилогазової хмари.

Приведены результаты разработки по совершенствованию конструкции забойки скважинных зарядов при массовых взрывах в карьерах. Обоснована целесообразность применения резиновой пробки с анкерным устройством для осуществления регулирования скорости вылета забойки из скважины при взрывах, а тем самым и высоты подъёма пылегазового облака.

The results of development on perfection of construction of zaboyki of mining hole charges at the mass explosions in careers are resulted. Expedience of application of rubber cork with the anchor device for realization of adjusting of speed of flight of zaboyki from a mining hole at the explosion is grounded, and the same and heights of getting up of pilegazovogo cloud.

**Введение.** Одним из важнейших факторов, определяющим условия и эффективность взрыва скважинных зарядов, является внутренняя забойка скважин. Её величина и качество в значительной мере определяют степень использования

энергии взрыва для разрушения горного массива, равномерность его дробления, а также объём выбрасываемого в атмосферу пылегазового облака. Многочисленные исследования [1,2,3,4] различных конструкций забойки и применяемых материалов позволили сделать вывод, что путём увеличения длины забойки можно почти в три раза увеличить время воздействия взрыва на разрушаемый массив (запирающий эффект) и при этом максимальную скорость вылета продуктов взрыва из устья скважины можно значительно снизить.

Энергия взрыва может быть использована наиболее полно только в том случае, когда забойка обеспечивает задержку продуктов детонации в скважине до начала разрушения массива и сдвижения пород. Другими словами длина забойки должна быть такой, чтобы суммарное сопротивление сил трения по поверхности сдвига равнялось выталкивающему усилию продуктов детонации:

$$\sum Q_{mp} = S,$$

где  $\sum Q_{mp}$  - суммарное сопротивление сил трения на поверхности сдвига забойки, Н;  $S$  - выталкивающее усилие продуктов детонации, Н.

Следует отметить, что в первоначальный момент развития взрыва происходит уплотнение забоечного материала за счёт воздействия на торец забойки ударной волны и поршневого давления продуктов детонации. В результате такого уплотнения на контакте забойки со стенками скважины возникают силы бокового распора. Поскольку эти силы больше сопротивления забоечного материала сдвигу, то во время взрыва забойка не скользит по стенкам скважины, а срезается по цилиндрической поверхности, весьма близкой совпадающей с боковой поверхности скважины. Поэтому процесс выбрасывания забойки из скважины можно представить следующим образом: С момента начала взрыва газообразные продукты детонации, воздействуя на торец забойки, стремятся сдвинуть её. До тех пор, пока не произойдёт сдвиг, сопротивление выталкивающему действию продуктов детонации оказывается за счёт инерции покоя собственной массы забойки, сил внутреннего трения и сцепления частиц забоечного материала. Но сразу же после уплотнения забоечного материала происходит сдвиг забойки и в дальнейшем её перемещению препятствуют только вес и силы внутреннего трения.

Промежуток времени с момента завершения детонации до начала отрыва и сдвижения пород зависит от величины давления продуктов детонации в скважине и скорости детонации ВВ (качества ВВ), характера разрушаемых пород (их крепость и трещиноватость), количества свободных поверхностей забоя, линий наименьшего сопротивления и др. Пусть для каких-то конкретных условий время отрыва и сдвижения пород определяется абсциссой  $t_p$  (рис.1.). Конструкцию забойки, а следовательно и время её движения в скважине с момента начала детонации до полной разгерметизации скважины можно подобрать такой, что оно будет совпадать с моментом отрыва и сдвижения пород (Точка 1).

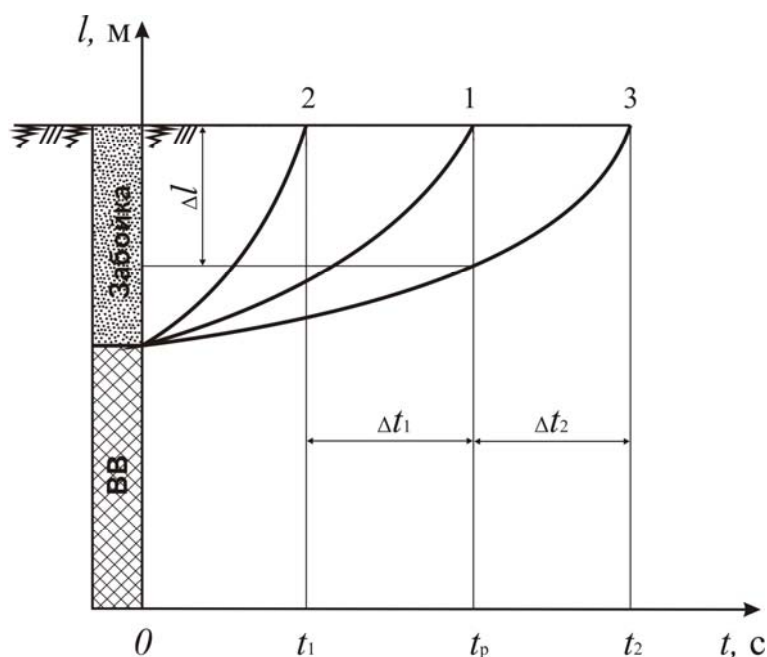


Рис.1. Время вылета забойки из скважины при изменении её параметров

Если конструкция забойки такова, что суммарное сопротивление сил трения сдвига забойки меньше выталкивающей силы продуктов детонации, то наблюдается повышения скорости её движения в скважине. В этом случае полное время вылета забойки  $t_1$  будет меньше  $t_p$  на величину  $\Delta t_1$  (Точка 2). Следовательно в этом случае продукты детонации будут воздействовать на массив не всё позволяемое горно-геологическими условиями разрушаемых пород время  $t_p$ , а только в промежутке времени  $t_1 = t_p - \Delta t_1$ . В результате этого часть энергии взрыва, расходуемой на разрушение горного массива, будет меньше максимально возможной. В этих условиях скорость выхода продуктов детонации из скважины значительно возрастает, а это вызывает повышения высоты выброса пылегазового облака. Кроме этого, часть заряда ВВ не успевает детонировать, выбрасывается из скважины и догорает в пылегазовом облаке, повышая концентрацию взрывных газов в атмосфере.

Если конструкция забойки такова, что суммарное сопротивление сил трения по поверхности сдвига забойки больше выталкивающей её силы продуктов детонации, то время её вылета из скважины  $t_2$  будет больше времени  $t_p$  на величину  $\Delta t_2 = t_p - t_p$  (Точка 3). Таким образом, к моменту отрыва и сдвигению пород верхняя часть зарядной камеры  $\Delta l$  остаётся заполненной забойкой. Стенки зарядной камеры в этой зоне не будут подвергаться непосредственному воздействию продуктов детонации и, следовательно, дробление массива в этом месте будет неудовлетворительным, что приводит к повышению выхода негабарита после взрыва.

**Постановка задачи.** Экспериментальными исследованиями установлено [3], что выход крупных фракций при увеличении длины забойки до определённого значения уменьшается, после чего практически остаётся постоянным. Выход мелких фракций с увеличением длины забойки имеет тенденцию к возрастанию. Всё это подтверждает, что в каждом конкретном случае применения

массовых взрывов для разрушения горных пород существует оптимальная конструкция забойки, обеспечивающая максимально возможную эффективность взрыва при прочих равных условиях. Нами поставлена задача разработки такой конструкции забойки, которая позволяла бы изменять (регулировать) суммарное сопротивление сил трения по поверхности сдвига забойки под действием сил давления продуктов детонации без изменения её длины.

**Основные результаты** Конструкция забойки в конечном итоге должна обеспечивать герметизацию зарядной камеры на время, необходимое для отрыва и разрушения пород в направлении линии наименьшего сопротивления. В этом случае должно соблюдаться условие:

$$t_3 = t_p + t_d, \quad (1)$$

где  $t_3$  – время вылета забойки, с;  $t_p$  – время отрыва и сдвижения пород, с;  $t_d$  – продолжительность детонации заряда, с.

Время вылета забойки из скважины при условии, что вся свободная от заряда её часть заполнена забоечным материалом, будет равно:

$$t_3 = \frac{l_3}{g_3},$$

где  $g_3$  – скорость вылета забойки из шпура, м/с;  $l_3$  – длина забойки, м.

Время отрыва и сдвижения пород зависит от характера разрушаемого массива, количества свободных поверхностей забоя, величины линии наименьшего сопротивления и определяется экспериментальным путём.

Скорость детонации ВВ в заряде определяется типом используемого ВВ и в каждом конкретном случае является величиной известной. Длина заряда устанавливается исходя из количества скважин и удельного расхода ВВ. Поэтому продолжительность детонации заряда можно определить из выражения:

$$t_d = \frac{l_{ВВ}}{g_d},$$

где  $l_{ВВ}$  – длина заряда ВВ в скважине, м;  $g_d$  – скорость детонации используемого ВВ, м/с.

С учётом этого выражение (1) можно записать в виде:

$$\frac{l_3}{g_3} = t_p + \frac{l_{ВВ}}{g_d}.$$

Расчётная длина забойки может быть определена как:

$$l_3 = g_3 \left( t_p + \frac{l_{ВВ}}{g_d} \right).$$

Таким образом, расчётная длина забойки в каждом конкретном случае зависит от типа применяемого ВВ (обуславливает продолжительность детонации), физико-механических свойств разрушаемого массива (обуславливает время отрыва и сдвижения разрушаемого массива), а также от скорости вылета забойки из скважины. Весьма перспективной была бы такая конструкция за-

бойки скважин, которая бы без изменения конструкции позволяла бы при изменении горно-геологических условий регулировать скорость её вылета из скважины. Это требование, на наш взгляд, может осуществить предложенная конструкция забойки скважин с использованием резиновой пробки с анкерным устройством.

Скважинный заряд устраивается следующим образом (Рис.2.):

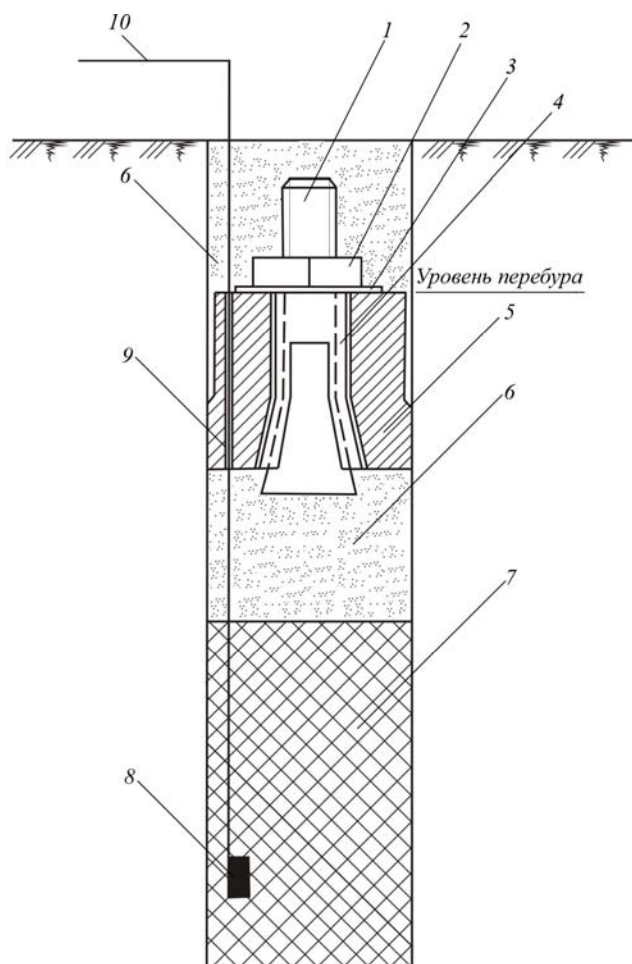


Рис.2.Скважинный заряд с использованием резиновой пробки с анкерным устройством

Над зарядом взрывчатки 7 предусматривается штатная забойка 6, например, отсев горной массы. В устье скважины над забойкой помещают резиновую пробку 5, диаметр которой соответствует диаметру скважины. Резиновую пробку устанавливают на уровне перебура в монолитном массиве горных пород, так как выше этого уровня массив имеет повышенную трещиноватость из-за воздействия на него предыдущих взрывов. Для закрепления резиновой пробки в скважине применён трубчатый анкер, который устанавливают по её центру. Анкер состоит из анкерного болта с конусной головкой 1, гайки 2, шайбы 3, трубки с прорезями 4. Для надёжного расклинивания пробки в скважине заворачивают гайку 2, вследствие чего конусный клин входит в трубку 4.

Плотность соприкосновения пробки со стенками скважины зависит от глубины входа клина в трубку с прорезями 4. Толстостенная трубка 9 предна-

значена для прокладки детонирующего шнура 10 к боёвику 8 заряда взрывчатки 7. Устье скважины над пробкой 5 заполняют штатной забойкой 6. Благодаря использованию резиновой пробки 5 при взрыве заряда осуществляется “запирание” продуктов детонации в скважине. Применение пробки с анкерным устройством позволяет регулировать плотность её соприкосновения со стенками скважины. При этом сопротивление сил трения пробки по стенкам скважины выталкивающему воздействию продуктов детонации изменяется и тем самым осуществляется управление скоростью вылета забойки из скважины.

Скорость вылета забойки из скважины зависит от усилия продуктов детонации ( $s$ ), действующих на торец забойки, массы штатной забойки ( $M_3$ ) и массы пробки ( $M_n$ ), а так же интенсивности сил внутреннего трения уплотнённого взрывом забоечного материала ( $\tau_{cp}$ ) и интенсивности сил трения резиновой пробки о стенки скважины ( $\tau_n$ ). Таким образом, скорость вылета забойки из скважины может быть представлена в виде функции:

$$g_3 = f(s, \sum M, \sum \tau_{тр}) = f(s, M_3 + M_n, \tau_{cp} + \tau_n). \quad (2)$$

Для выяснения характера математической зависимости между величинами  $g_3, M, \tau_{тр}$  воспользуемся методом размерности. Представим функциональную зависимость (2) в виде степенного уравнения:

$$g_3 = K S^x M^y \tau_{тр}^z, \quad (3)$$

где  $K$  – безразмерный коэффициент пропорциональности;  $x, y, z$  – неизвестные показатели степени.

Выразим входящие в уравнение (3) величины через их размерности:

$$\begin{aligned} [g_3] &= [m/c] = LT^{-1}; \\ [S] &= [H] = [F]; \\ [M] &= [Hc^2/m^2] = [FL^{-1}T^2]; \\ [\tau_{тр}] &= [H/m^2] = [FL^{-2}]. \end{aligned}$$

В этом случае выражение (3) в параметрах размерностей его членов примет вид:

$$[LT^{-1}] = [F]^x [FL^{-1}T^2]^y [FL^{-2}]^z = [F^{x+y+z}] [L^{-y-2z}] [T^{2y}].$$

Приравняем показатели степени при одноимённых размерностях в левой и правой частях выражения:

$$\begin{aligned} \text{при } L & \quad 1 = -y - 2z; \\ \text{при } T & \quad -1 = 2y; \\ \text{при } F & \quad 0 = x + y + z. \end{aligned}$$

$$\text{Откуда находим: } x = \frac{3}{4}; y = -\frac{1}{2}; z = -\frac{1}{4}.$$

Таким образом, выражение (3) с учётом (2) примет вид:

$$g_3 = \frac{K}{\sqrt{M_3 + M_n}} \sqrt[4]{\frac{S^3}{\tau_{cp} + \tau_n}}. \quad (4)$$

Выражение (4) определяет зависимость скорости вылета забойки из скважины от параметров скважинных зарядов. Коэффициент  $K$  определяется экспериментальным путём и учитывает для конкретных условий крепость и трещиноватость разрушаемого массива, тип взрывчатого вещества, конструкцию забойки и др. Масса штатной забойки в процессе вылета из скважины является величиной переменной, но из-за кратковременности взрыва её можно считать величиной постоянной и равной половине своего максимального значения. Выталкивающая сила продуктов детонации является величиной постоянной для конкретной конструкции заряда. Силы внутреннего трения забоечного материала при неизменной конструкции забойки не изменяются, а сила трения пробки о стенки скважины является регулируемым параметром. Резиновая пробка с анкерным устройством позволяет регулировать силу трения о стенки скважины при её выталкивании продуктами детонации, что даёт возможность корректировать скорость и время вылета забойки.

**Выводы.** Конструкция предложенной забойки скважинных зарядов, которая предусматривает дополнительно к штатной забойке использование резиновой пробки с анкерным устройством, позволяет регулировать величину суммарного сопротивления сил трения забойки выталкиваемому усилию продуктов детонации. Этим обеспечивается возможность задержки взрывных газов в скважине до начала разрушения массива и сдвижения пород. При этом энергия взрыва наиболее полно используется на разрушение горных пород, а скорость выброса продуктов детонации и забойки снижается. Высота подъёма пылегазового облака и его объём уменьшаются из-за снижения начальной скорости его движения, что позволит снизить загрязнение прилегающих территорий при его рассеивании.

#### Список литературы

1. Ефремов Э.И., Родак С.Н. Роль забойки в запираии газообразных продуктов детонации. // Повышение эффективности разрушения горных пород. –К.: Наукова думка, 1991. – С.3-8
2. Ефремов Э.И. и др. Основы теории и методы взрывногодробления горных пород. – К.: Наукова думка, 1980. – 214с.
3. Миндели Э.О., Демчук П.А., Александров Е.Е. Забойка шпуров.- М.:Недра, 1968. – 152с.
4. Баум Ф.А., Сансарян Н.С. Импульсы взрыва, обусловленные боковым распором забойки в скважине. // Взрывное дело. – 1966. – С.35-42

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.  
Надійшла до редакції 25.10.10*