

## РАСЧЕТ СЕЧЕНИЙ ПАТРОНИРОВАННЫХ ЗАРЯДОВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ЗАРЯЖАНИЯ СКВАЖИН

*В. А. Бабич, инж. (институт электросварки им. Е. О. Патона)*

*Наведено теоретичне обґрунтування способу заряджання свердловин, який полягає в опусканні патронів вибухової речовини в свердловину під дією їх власної ваги. При цьому плавне опускання з безпечною швидкістю при відсутності води у свердловині досягається за рахунок стиску повітря, що знаходиться між дном свердловини і нижнім торцем патрона, дроселювання його між стінками свердловини і патрона. Записано формули розрахунку розмірів вибухових патронів залежно від їх конструкції і умов заряджання.*

Одной из важных технологических операций при проведении буровзрывных работ является зарядание скважин взрывчатым веществом (ВВ), в частности патронированным. До сих пор не разработаны эффективные, высокопроизводительные и безопасные методы зарядания скважин большого диаметра патронированным ВВ.

В настоящей статье дано расчетное обоснование способа зарядания сухих нисходящих скважин патронированным ВВ, заключающегося в опускании патронов в скважину под действием собственного веса. Плавное опускание может быть обеспечено за счет сжатия воздуха между дном скважины и нижним торцом опускаемого патрона и дросселирования его между стенками скважины и патрона. Поэтому одним из главных условий, обеспечивающих эффективность этой технологической операции, является правильное определение диаметра опускаемого в скважину патрона, гарантирующего плавное продвижение его по скважине. В расчете принято, что процесс опускания патрона в скважине подобен движению цилиндрического поршня в цилиндрическом канале.

С учетом принятого допущения, приравняв расход воздуха через кольцевой зазор между стенкой скважины и опускающимся патроном

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot d_{\text{п}} \cdot \Delta p \cdot S^3}{12 \cdot \mu \cdot L}, \quad (1)$$

вытесняемого патроном в единицу времени расхода воздуха [1]

$$Q_2 = U \cdot f = \frac{U \cdot \pi \cdot d_n^2}{4} \quad (2)$$

и учитывая, что перепад давления на зазоре определяется выражением

$$\Delta p = \frac{G}{f_{\text{п}}} = \rho_{\text{п}} \cdot L \cdot g, \quad (3)$$

а коэффициент динамической вязкости воздуха в скважине равен

$$\mu = \rho_B \cdot \nu, \quad (4)$$

находим величину кольцевого зазора

$$S = \sqrt[3]{\frac{3U \cdot \rho_B \cdot \nu \cdot d_{\Pi}}{g \cdot \rho_{\Pi}}}, \quad (5)$$

где  $Q_1$  – расход воздуха через кольцевой зазор, м<sup>3</sup>/с;  $Q_2$  – объем воздуха, вытесняемый патроном в единицу времени, м<sup>3</sup>/с;  $d_{\Pi}$  – диаметр патрона, м;  $L$  – длина патрона, м;  $\Delta p$  – перепад давления в зазоре, Па;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости воздуха, Па·с;  $S$  – ширина кольцевого зазора, м;  $U$  – скорость движения патрона в скважине, м/с;  $f_{\Pi}$  – площадь поперечного сечения патрона, м<sup>2</sup>;  $\nu$  – кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\rho_B$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\Pi}$  – плотность патрона (суммарно ВВ и оболочки), кг/м<sup>3</sup>;  $G$  – вес патрона,  $H$ .

Ширина кольцевого зазора равна

$$S = \frac{d_c - d_{\Pi}}{2}, \quad (6)$$

где  $d_c$  – диаметр скважины, м.

Приравняв (5) и (6), получим кубическое уравнение, решение которого дает расчетную зависимость диаметра патрона от диаметра заряжаемой скважины в виде, м:

$$d_{\Pi} = \sqrt[3]{-\frac{K \cdot d_c}{2} - \sqrt{\frac{K^2 \cdot d_c^2}{4} + \frac{K^3}{27}}} - \sqrt[3]{-\frac{K \cdot d_c}{2} + \sqrt{\frac{K^2 \cdot d_c^2}{4} + \frac{K^3}{27}}}, \quad (7)$$

где  $K = \frac{24 \cdot U \cdot \nu \cdot \rho_B}{g \cdot \rho_{\Pi}}$  [м<sup>2</sup>] – коэффициент, постоянный для данных условий заряжания.

Для более общего случая, когда скважина и патрон имеют произвольное поперечное сечение, зависимость площади поперечного сечения патрона  $f_{\Pi}$  от площади поперечного сечения скважины  $f_c$  имеет вид

$$f_{\Pi} = \frac{1}{\pi} \left[ \sqrt{f_c \cdot \pi} - \frac{1}{2} \left( \sqrt[3]{K\pi^2 \sqrt{f_c \pi} + \frac{1}{3} \sqrt{(27f_c + K)\pi}} - \sqrt[3]{K\pi^2 \left( \sqrt{f_c \pi} - \frac{1}{3} \sqrt{27f_c + K\pi} \right)} \right) \right]^2. \quad (8)$$

Ниже приведен конкретный расчет по формуле (7) для следующих исходных данных:

$$d_c = 0,2 \text{ м}; U = 5 \text{ м/с}; \nu = 15,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \\ \rho_B = 1,205 \text{ кг/м}^3; g = 9,8 \text{ м/с}^2; \rho_{\Pi} = 1100 \text{ кг/м}^3.$$

Значения кинематической вязкости и плотности приняты для воздуха по справочным данным для стандартных условий. Допустимая скорость падения

патрона в скважине принята равной 5 м/с в соответствии с требованиями «Единых правил безопасности при взрывных работах» для случая транспортирования ВВ в шахтных подъемниках и вагонетках [2]. Плотность патрона принята равной плотности патронированного аммонита № 6-ЖВ ( $1100 \text{ кг/м}^3$ ).

В результате выполненного расчета установлено, что для  $d_{\text{п}} = 0,19667 \text{ м}$   $S = 0,00343 \text{ м}$ .

Поскольку ширина зазора, обеспечивающего плавное опускание патрона в скважину, мала, то опускание зарядов с помощью дросселирования воздуха применимо в скважинах с минимальной шероховатостью стенок или при обсаживании их трубой, что нецелесообразно. В противном случае рекомендуется изменить конструкцию оболочки патрона, насаживая на нее уплотнительные шайбы.

По изложенной методике были рассчитаны характеристики патрона, изображенного на рис. 1. Этот патрон состоит из заряда ВВ 2 и прикрепленных к его торцам тонких шайб 3. Поскольку вес шайб мал по сравнению с весом заряда ВВ, то в дальнейшем им пренебрегаем. В ходе расчетов изменяли диаметр заряда ВВ  $d_{\text{п}}$ , а длину всех патронов считали неизменной. Диаметр скважины  $l$   $d_{\text{с}}$  принят постоянным и равным 0,2 м. Массу патронов считали равномерно распределенной по объему сплошного цилиндра с основанием, равным диаметру шайб  $d'$ . Приравняв выражения для массы заряда уменьшенного диаметра  $d$  ( $d \leq d_{\text{п}}$ ) с шайбами диаметра  $d'$  и равного ему по длине и массе сплошного заряда диаметра  $d_{\text{п}}$  из предыдущего примера ( $d_{\text{п}} = 0,1935 \text{ м}$ ,  $\rho_{\text{п}} = 1100 \text{ кг/м}^3$ ), получим

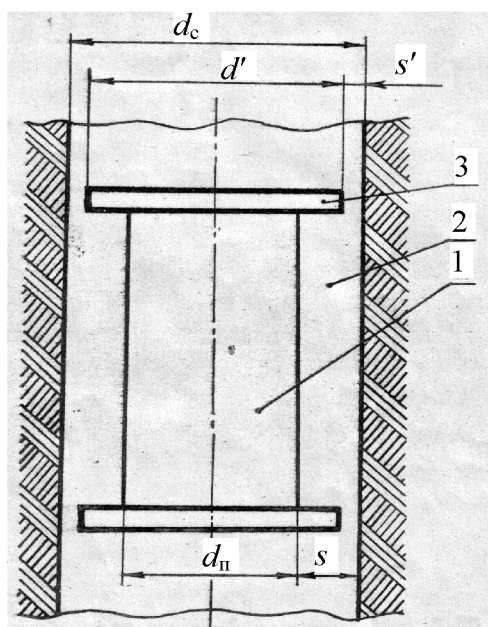


Рис. 1. Патрон ВВ и схема его заряжения: 1 – заряд ВВ; 2 – скважина; 3 – шайба

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L \cdot \rho_{\text{п}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{п}}^2}{4} \cdot L \cdot \rho', \quad (9)$$

где  $\rho'$  – плотность сплошного патрона диаметром  $d_{\text{п}}$ ,  $\text{кг/м}^3$ , масса которого равна массе патрона диаметром  $d$ . Из (9) следует, что

$$\left(\frac{d}{d_{\text{п}}}\right)^2 \cdot \rho_{\text{п}} = \rho'. \quad (10)$$

Из (10) следует также, что каждому значению  $d$  для патронов с шайбами соответствуют определенные значения  $\rho' = C \cdot \rho_{\text{п}}$  и  $K' = K/C$ , где коэффициент приведения

$$C = \left(\frac{d}{d_{\text{п}}}\right)^2. \quad (11)$$

Расчеты показывают, что уменьшение диаметра заряда ВВ с 0,19667 до 0,04 м приводит к уменьшению приведенной плотности с 1100 до 7,67 кг/м<sup>3</sup> и увеличению зазора между шайбами и стенками скважины с 0,00343 до 0,0076 м. Как видим, этот зазор небольшой. Это обусловлено тем, что эффект дросселирования сказывается лишь при малых зазорах и расчетная формула не учитывает торможения за счет аэродинамических свойств корпуса патрона, что может быть определено более точно лишь при продувке в аэродинамической трубе. Поскольку с увеличением зазора резко падает масса патрона, то зарядание таким способом сухих нисходящих отбойных скважин является экономически невыгодным, однако он вполне применим для контурного взрывания при зарядании скважин зарядами уменьшенной массы.

Более надежное зарядание этим способом может быть обеспечено с помощью патронов, в которых шайбы являются гибкими и по своему наружному диаметру равны или больше диаметра скважины. На рис. 2 показан патрон с гибкими шайбами, на рис. 3 – патрон с гибкими лепестками. В процессе опускания в скважины таких патронов часть их веса уравнивается за счет трения шайб о породу, снижая скорость опускания. В этом варианте, кроме чисто механического торможения, проявляется и эффект дросселирования. Здесь важно подобрать жесткость шайб для того, чтобы, с одной стороны, обеспечить беспрепятственное продвижение патрона в скважине, а с другой – передать часть веса патрона на трение о стенки скважины, чтобы скорость опускания патрона была постоянной и безопасной по величине. Этот способ применим для зарядания скважин с большой шероховатостью и кавернозностью стенок.

Размеры и жесткость шайб или лепестков определяют экспериментальным путем. Материал шайб должен быть дешевым, не дефицитным, не искрить при трении о породу. Таким материалом могут быть пластмассы. Поскольку породу, осыпавшуюся при трении шайб или лепестков о стенки скважин, скапливается на верхних торцах ранее опущенных патронов и может препятствовать передаче детонации от патрона к патрону, верхние торцы патронов целесообразно делать выпуклыми. В нижних торцах патронов желательно изготавливать кумулятивную выемку, которая будет повышать надежность передачи детонации от патрона к патрону в заряде и способствовать лучшему центрированию патронов между собой. Патрон этой конструкции показан на рис. 4.

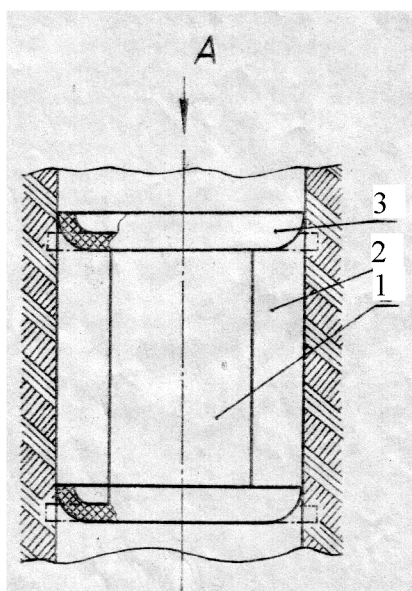


Рис. 2. Патрон с гибкими шайбами в скважине: 1 – заряд ВВ; 2 – скважина; 3 – гибкая шайба

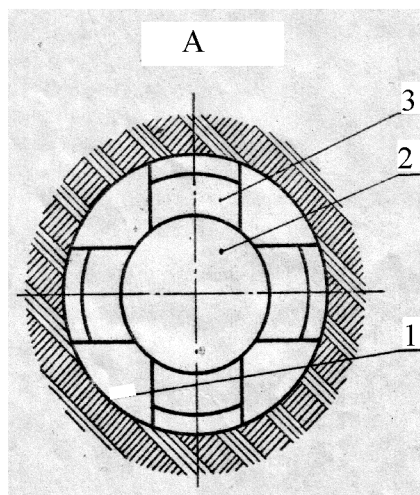


Рис. 3. Патрон с гибкими лепестками: 1 – скважина; 2 – заряд ВВ; 3 – гибкие лепестки

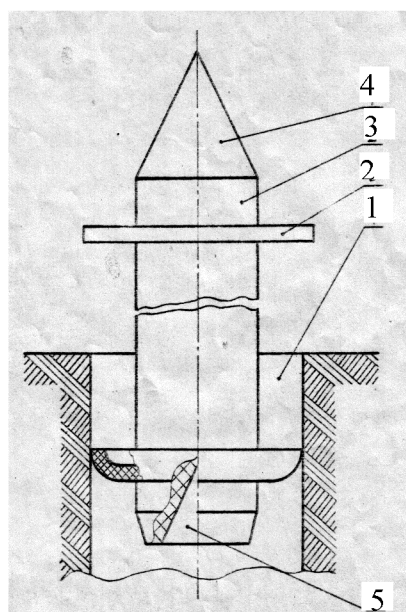


Рис. 4. Патрон с выпуклым верхним торцом и гибкими шайбами (лепестками): 1 – скважина; 2 – гибкая шайба (лепестки); 3 – заряд ВВ; 4 – выпуклый торец; 5 – кумулятивная выемка

Таким образом, зарядание скважин патронами возможно рассмотренными вариантами способа опускания зарядов под действием собственного веса, или их комбинацией, даже при отсутствии воды в скважинах. Более реальным и технологичным представляется вариант с гибкими шайбами или лепестками.

1. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика: Справочное пособие. – М.: Машгиз, 1963. – 696 с.

2. Единые правила безопасности при взрывных работах. – К.: Норматив. – 1992. – 171 с.