Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им. Г.В.Плеханова, 1984, т. 99

УДК 622.24.55 (045)

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ ЗУБЬЕВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ БУРЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ШАРОШЕЧНЫМИ ДОЛОТАМИ

Г.М.КРЮКОВ, НЫ ВАН БАК

Процесс внедрения зубьев в породу со скольжением состоит из двух процессов: внедрения и скольжения. Разрушение породы при внедрении в нее зубьев долот достаточно изучено в ряде работ [2–4], разрушение хрупких и упруго-пластичных пород при скольжении зубьев долот происходит путем скола призмы высотой $h_в$, равной глубине внедрения зуба, и длиной $b_{ск}$. При этом эффективность скольжения определялась по объему призмы скола.

Скорость бурения равна произведению углубления долота за один оборот на частоту его вращения, в свою очередь углубление долота за один оборот определяется его геометрическими параметрами, сопротивлением породы внедрению зубьев и величиной осевой нагрузки на долото, определяющими число и эффективность разрушения забоя элементами вооружения долота,

$$V_{бур} = n h_0, \qquad (1)$$

где $n = \omega/2\pi$ – частота вращения долота, об/с; ω – угловая скорость вращения долота, рад/с; $h_0 = h_р k$ – углубление долота за один оборот, м/об; $h_р$ – глубина разрушения при внедрении зуба шарошечного долота в породу, м; $k = 2b/t$ – коэффициент, учитывающий условие полного разрушения забоя скважины за один оборот; $2b$ – ширина лунки разрушения при внедрении зуба шарошечного долота в породу, м; t – шаг зубьев шарошечного долота, м.

Таким образом,

$$V_{бур} = \frac{\omega}{2\pi} h_р \frac{2b}{t}. \qquad (2)$$

Эффективность разрушения при внедрении зубьев в породу оценивается безразмерными параметрами (I):

$$\varkappa_1 = \frac{h_р}{h_в} \geqslant 1 \quad и \quad \varkappa_2 = \frac{b}{h_р}. \qquad (3)$$

Подставив значения $h_р$ и b из выражений (3) в формулу (2), получим

$$V_{бур} = \frac{\omega}{\pi} \varkappa_1^2 \varkappa_2 \frac{h_в^2}{t}. \qquad (4)$$

В формуле (4) не учитывается эффект скола породы при скольжении зубьев шарошечного долота. Применение долота со скольжением позволяет уве-

личить объем разрушения за одно взаимодействие зуба. При этом ширина лунки разрушения равна

$$2b' = 2b + b_{ск}. \qquad (5)$$

Экспериментами установлено, что $b_{ск} \approx 2{,}2\,h_в$, следовательно, $2b' = 2b + 2{,}2\,h_в$. Подставив значение $2b'$ в формулу (2), получим:

$$V_{бур} = \frac{\omega}{\pi} \varkappa_1^2 \varkappa_2 \frac{h_в^2}{t} + \frac{\omega}{\pi} 1{,}1\,\varkappa_1 \frac{h_в^2}{t}. \qquad (6)$$

Первый член формулы (6) определяет скорость бурения за счет разрушения породы при внедрении зуба, второй – увеличение скорости бурения за счет ее скола.

Учитывая, что параметры $\varkappa_1$ и $\varkappa_2$ имеют значения 1,5-2,0 и 2,0-3,0, получаем, что в случае применения шарошечных долот со скольжением зубьев возможно повышение скорости бурения на 18-36 %.

В случае венцов без скольжения зубьев скорость бурения определяется по формуле:

$$V_{бур\,1} = \frac{1}{m_1} \sum_{i=1}^{m_1} \frac{\omega}{\pi} \varkappa_1^2 \varkappa_2 \frac{h_в^2}{t_i} = \frac{\omega}{\pi} \varkappa_1^2 \varkappa_2 h_в^2 \frac{1}{m_1} \sum_{i=1}^{m_1} \frac{1}{t_i}. \qquad (7)$$

Для венцов со скольжением зубьев:

$$V_{бур\,2} = \frac{\omega}{\pi} \varkappa_1^2 \left(\varkappa_2 + \frac{1{,}1}{\varkappa_1}\right) h_в^2 \frac{1}{m_2} \sum_{j=1}^{m_2} \frac{1}{t_j}, \qquad (8)$$

где m_1 – число венцов без скола породы зубьями; m_2 – число венцов со сколом породы зубьями.

Таким образом, скорость бурения горных пород шарошечными долотами рассчитывается по формуле:

$$V_{бур} = \frac{m_1 V_{бур\,1} + m_2 V_{бур\,2}}{m_1 + m_2} =$$

$$= \frac{\omega}{\pi} \varkappa_1^2 h_в^2 \frac{1}{m_1 + m_2} \left[\varkappa_2 \sum_{i=1}^{m_1} \frac{1}{t_i} + \left(\varkappa_2 + \frac{1{,}1}{\varkappa_1}\right) \sum_{j=1}^{m_2} \frac{1}{t_j} \right]. \qquad (9)$$

Средняя глубина внедрения зубьев долота в породу [3]:

$$h_в = \left(\frac{k_1 P_{ос}}{\sigma_{раз} \xi_1} \right)^{\frac{2}{3}}, \qquad (10)$$

где $k_1 \leq 1$ – коэффициент, зависящий от качества очистки забоя от продуктов разрушения и определяющий долю осевой нагрузки, которая приходится на взаимодействие с породой зубьев долот; $P_{ос}$ – осевая нагрузка на долото;

$$\sigma_{раз} = \alpha_1 E;$$

α_1 – коэффициент, зависящий от строения породы, $\alpha_1 = 0{,}01\text{-}0{,}03$; E – динамический модуль упругости породы; ξ_1 – коэффициент, определяемый по конструкции долота.

Подставив выражение (10) в формулу (9), получаем:

$$V_{бур} = \frac{\omega}{\pi} \frac{\varkappa_1^2}{m_1+m_2} \left(\frac{k_1 P_{oc}}{\sigma_{раз} \xi_1} \right)^{\frac{4}{3}} \left[\varkappa_2 \sum_{i=1}^{m_1} \frac{1}{t_i} + \left(\varkappa_2 + \frac{1,1}{\varkappa_1} \right) \sum_{j=1}^{m_2} \frac{1}{t_j} \right]. \qquad (11)$$

Формула (11) показывает, что скорость бурения шарошечными долотами со скольжением зубьев зависит от следующих факторов: свойств пород $\sigma_{раз}$, $\varkappa_1$, $\varkappa_2$; параметров вооружения шарошек и долота ξ_1, t, m_1, m_2; условий взаимодействия долота с породой k_1, режимов бурения P_{oc}, ω.

На основе формулы (11) можно определить скорость бурения для разных пород, долот и параметров режима.

В случае бурения пластичных пород, когда явление скола не наблюдается, процесс разрушения горных пород будет полностью определяться скольжением – фрезерованием зубьями поверхности забоя. В этом случае скорость бурения определяется по формуле:

$$V_{бур} = \frac{\omega}{2\pi} h_в k, \qquad (12)$$

для пластичных пород $h_0 = h_р k = h_в k$, $\varkappa_1 = 1,0$. При этом

$$k = \frac{2b+S}{t} = (2h_в \varkappa_2 + S) \frac{1}{t}, \qquad (13)$$

где S – скольжение зубьев шарошечного долота.

Подставив равенство (13) в формулу (12), получим:

$$V_{бур} = \frac{\omega}{2\pi} h_в (2h_в \varkappa_2 + S) \frac{1}{t}. \qquad (14)$$

На разных венцах шарошек величины S и t различны, поэтому скорость бурения в этом случае:

$$V_{бур} = \frac{\omega}{\pi m} \varkappa_2 h_в^2 \sum_{i=1}^{m} \frac{1}{t_i} + \frac{\omega}{2\pi m} h_в \sum_{i=1}^{m} \frac{S_i}{t_i}, \qquad (15)$$

где m – число венцов долота.

Наконец

$$V_{бур} = \frac{\omega}{\pi} \frac{\varkappa_2}{m} \left(\frac{k_1 P_{oc}}{\sigma_{раз} \xi_1} \right)^{\frac{4}{3}} \sum_{i=1}^{m} \frac{1}{t_i} + \frac{\omega}{2\pi} \frac{1}{m} \left(\frac{k_1 P_{oc}}{\sigma_{раз} \xi_1} \right)^{\frac{2}{3}} \sum_{i=1}^{m} \frac{S_i}{t_i}. \qquad (16)$$

Первым членом уравнения (16) определяется скорость бурения пластичных пород шарошечными долотами без скольжения зубьев, вторым – учитывается влияние скольжения зубьев на скорость бурения. Если скольжение отсутствует, то $S = 0$ и второго члена не будет.

По формуле (7) рассчитывалась скорость бурения шарошечным долотом без скольжения зубьев, по формуле (11) – скорость бурения шарошечным долотом 244,5 ОК-ПВ со скольжением зубьев при разных режимных параметрах бурения для разных пород карьеров Учалинского ГОКа (см. таблицу).

Сопоставление теоретических значений скорости бурения с практическими на Учалинском руднике (долота 244,5 ОК-ПВ, станки СБШ-250МН)

Показатель	Относительная скорость, %		
	f = 7-10	f = 11-13	f = 16-18
P_{oc} = 20 т			
n = 120 об/мин			
со скольжением	110,6	105,8	104,3
без скольжения	98,8	89,4	92,9
n = 150 об/мин			
со скольжением	102,4	105,8	104,3
без скольжения	92,1	89,4	92,9
P_{oc} = 25 т			
n = 120 об/мин			
со скольжением	109,0	107,2	114,2
без скольжения	98,2	90,9	101,4
n = 150 об/мин			
со скольжением	104,1	101,4	114,3
без скольжения	93,4	86,0	101,4

Примечание. За практическую скорость приняты 100 %.

Сопоставление расчетных значений с экспериментальными показало: достаточную достоверность предложенного теоретического метода расчета скорости бурения скважин шарошечными долотами со скольжением зубьев; теоретические значения, большие практических на I,4-I4,3 %; повышение скорости бурения на II,0-I8,3 % для условий Учалинского ГОКа за счет скольжения зубьев.

Из таблицы видно, что значения скорости бурения, рассчитанные по формуле (II), соответствуют практическим в большей степени, чем значения, рассчитанные по формуле (7), так как вероятность попадания теоретических значений скорости бурения со скольжением зубьев (II) в зону доверительного интервала I,I равна 0,95, а вероятность попадания в ту же зону значений скорости бурения, рассчитанных по формуле (7) без скольжения, - 0,90. Это подтверждает достоверность оценки увеличения эффективности бурения скважин шарошечными долотами 244,5 ОК-ПВ за счет скольжения зубьев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбонос М.Г. Исследование динамического разрушения горных пород с целью разработки эффективных конструкций инструментов для ударно-вращательного бурения. Авторефер. канд. дис. М., изд. МГИ, 1978.

2. Крюков Г.М. Теоретический расчет взаимодействия шарошечных долот с породой. - В кн.: Вторая Всесоюзная научн.-техн. конференция. Процессы разрушения горных пород и пути ускорения бурения скважин. Уфа, 1978, Деп. во ВНИИОЭНГ, 1980, № 658.

3. Кутузов Б.Н. Теория, техника и технология буровых работ. М., Недра, 1972.

4. Эйгелес Р.М. Разрушение горных пород при бурении. М., Недра, 1970.