

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.2325.5; 622.272; 622.267.5

М.Д. Войтов

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ БУРЕНИЯ НЕЗАРЯЖАЕМЫХ СКВАЖИН ВО ВРУБАХ СЕРИЙНЫМИ БУРИЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Для обеспечения возможности бурения скважин требуемого диаметра серийными бурильными установками необходимо, чтобы удельные нагрузки на буровой инструмент при бурении скважин и шпурков диаметром 42 мм были примерно, равнозначными. При соблюдении этих условий скорость бурения также должна быть одного порядка.

Данные условия могут быть реализованы двумя способами: бурение скважины путем разбуривания шпуров диаметром 42 мм и путем кернового бурения при условии, что величина площади забоя щели керна была примерно равна или несколько меньше площади забоя шпурка.

Для обоснования технической возможности бурения скважины путем разбуривания шпуров выполнен сравнительный анализ силовых параметров при бурении шпуров и разбуривания скважин вращательным способом на базе теоретических представлений, изложенных в [1, 2].

Согласно общей теории резания бурение шпуров и скважин происходит в блокированном режиме разрушения [3, 4]. При этом различают: односторонне блокированный рез, когда режущая кромка инструмента соприкасается с неразрушенной средой одной стороной и двусторонне блокированный рез, когда кромки резца ограничены целиком с двух сторон. Различная степень блокированности режущего инструмента приводит к повышению или понижению энергоемкости раз-

рушения породы [4].

Таким образом, если производить разбуривание шпуров диаметром 42 мм до размеров скважин забоем уступной формы, то будет осуществляться режим одностороннего блокирования, в результате чего удельная энергоемкость разрушения понизится по сравнению с бурением сплошным забоем. Это должно позволить разбуривать шпуры до размера большего, чем $\sqrt{2} d_{sh} \approx 60$ мм, где $d_{sh}=42$ мм диаметр шпурка.

Для сравнительной оценки влияния степени блокированности реза на удельную работу разрушения воспользуемся представлениями о физической картине разрушения породы при бурении, принятой в [1]. При сравнительной оценке для упрощения расчетов целесообразно принять прямолинейную траекторию движения резца.

Как и в [1] будем полагать, что разрушение происходит за счет снятия и скола породы, причем в момент скола породы в сторону свободной поверхности сминающие силы равны скальвающим, т.е.

$$F_{cm} = F_{ck}. \quad (1)$$

Усилия, препятствующие перемещению резца равны величине площадки приложения силы на соответствующие пределы прочности породы, т.е.

$$[G_{cm}] S_{cm} = [G_{ck}] S_{ck} \quad (2)$$

где S_{cm} , S_{ck} – площадки, по которым происходит соответственно смятие и скол породы передней

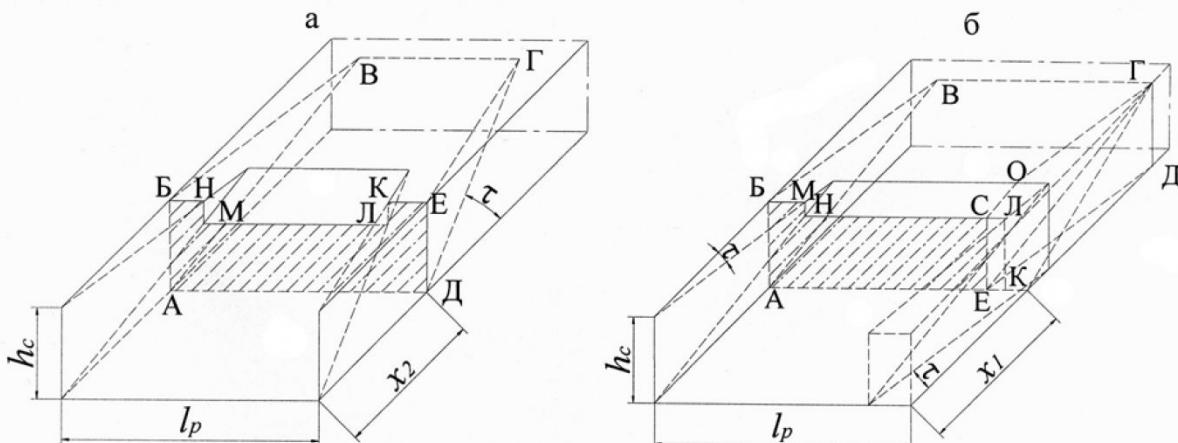


Рис. 1. Схемы к определению параметров разрушения породы при различной блокированности реза:
а – двусторонне блокированный рез; б – односторонне блокированный рез

гранью резца; $[G_{cm}]$, $[G_{ck}]$ – предельные напряжения на смятие и скол породы в динамическом режиме нагружения.

На рис. 1 приведены схемы, поясняющие характер разрушения массива при двустороннем (рис. 1, а) и одностороннем (рис. 1, б) блокированном резе.

При двустороннем блокированном резе при перемещении резца после очередного цикла разрушения (скола) происходит смятие породы по возрастающей площадке АБНМЛКЕД. Из геометрических построений в зависимости от величины перемещения резца x и параметров реза l_p и h_c , величина этой площадки равна

$$S''_{cm} = x_2 \cdot \operatorname{tg} \tau (l_p + 2h_c - 2x_2 \cdot \operatorname{tg} \tau). \quad (3)$$

Угол скальвания пород τ изменяется в зависимости от свойств среды и глубины реза весьма незначительно и в сравнительных расчетах при среднем значении коэффициента Пуассона, равном 0,25, согласно рекомендации [1, 2], принимается в среднем равным 25°.

Величина площади скола породы передней гранью при рациональных режимах резания не зависит от величины перемещения резца и равна сумме площадок двух равновеликих треугольников АБВ и ДЕГ и трапеции АВГД. Из геометрических построений (рис. 1, а) и после соответствующих преобразований площадь скола породы

$$S''_{ck} = \frac{l_p \cdot h_c}{\sin \tau}. \quad (4)$$

Следует заметить, что при рациональном режиме резания (бурения) величина перемещения резца x до скола породы должна быть меньше высоты стружки (h_c). В противном случае разрушение будет происходить в более энергоемком режиме смятия, поскольку $G_{cm} \gg G_{ck}$.

Таким образом, при двусторонне блокированном резе очередной скол породы будет происходить при перемещении резца на величину определяемую уравнением, полученным на базе (2-4):

$$[G_{cm}] \cdot x_2 \cdot \operatorname{tg} \tau (l_p + 2h_c - 2x_2 \cdot \operatorname{tg} \tau) = [G_{ck}] \frac{l_p \cdot h_c}{\sin \tau}. \quad (5)$$

Чтобы упростить количественную оценку x_2 и удельную работу разрушения, выразим аргументы, входящие в уравнение (5) через их частные значения, а динамические пределы прочности на смятие и скол через предел прочности на сжатие.

Динамический предел прочности на смятие в [2] дан в виде $[G_{cm}] = k_q [G_{cjk}]$. При этом значение коэффициента k_q при величине подачи резца на оборот, равна 3,5 мм, рекомендованной в [5] в качестве рациональной, равно 6, т.е. $[G_{cm}] = 6[G_{cjk}]$.

Динамический предел прочности на скол в [2] приведен в виде $[G_{ck}] = k_{ck} [G_{cjk}]$. Среднее значение коэффициента k_{ck} согласно [2] равно 1,075,

$$[G_{ck}] = 1,075 [G_{cjk}]$$

При ширине реза равной 16,5 мм (ширина режущей кромки резца БИ-741) и рациональной высоте стружки равной 1,75 мм уравнение (5) можно записать в виде:

$$6 \cdot 0,466 x_2 (16,5 + 3,5 - 2 \cdot 0,466 \cdot x_2) = \\ = 1,075 \cdot \frac{16,5 \cdot 17,5}{0,423}.$$

При данных частных значениях аргументов уравнения (5) $x_2 = 1,404$ мм.

Численное значение максимального усилия на резце в момент скола при принятых условиях и разрушение породы средней крепости ($G_{cjk} = 49$ МПа), рассчитанное по любой части уравнения (5), пределы прочности в котором приведены к пределу прочности на сжатие, равно 3,6 кН. Тогда среднее усилие на единице пути реза составит $3,6/1,404 = 2,56$ кН, а затраченная энергия равна 2,56 дж. При этом разрушенный объем породы на этом же пути составляет $0,0289 \text{ см}^3$, а удельная энергоемкость (работа) будет равна $2,56/0,0289 = 88,6 \text{ дж/см}^3$.

При односторонне блокированном резе (см. рис. 1, б) смятие породы происходит по площадке АБМНЛК, величина которой возрастает от нуля до некоторого предела, при котором происходит очередной скол породы. Приняв обозначения геометрических параметров по рис. 1, б и исключив не сложные преобразования, величина площадки смятия, выраженная через перемещение резца (x_1), равна

$$S'_{cm} = x_1 \cdot l_p \cdot \operatorname{tg} \tau. \quad (6)$$

Суммарная величина площади скола породы передней гранью резца, равна сумме площадок треугольника АБВ, параллелограмма АВГК и скошенного прямоугольника ЕСОГД. С учетом геометрии (рис. 1, б) и на основании выполненных преобразований площадь скола породы при односторонне блокированном резе, равна

$$S'_{ck} = \frac{h_c}{\sin \tau} \left(\frac{h_c}{2} + l_p \right) - \frac{1}{2} (h_c - x_1 \operatorname{tg} \tau) \cdot \left(\frac{h_c}{\operatorname{tg} \tau} - x_1 \right). \quad (7)$$

Для определения величины перемещения резца до очередного скола породы при односторонне блокированном резе необходимо решить уравнение, полученное аналогично (5), в виде

$$[G_{cm}] \cdot x_1 l_p \cdot \operatorname{tg} \tau = [G_{ck}] \times \left[\frac{h_c}{\sin \tau} \left(\frac{h_c}{2} + l_p \right) - \frac{1}{2} (h_c - x_1 \operatorname{tg} \tau) \cdot \left(\frac{h_c}{\operatorname{tg} \tau} - x_1 \right) \right]. \quad (8)$$

При тех же параметрах аргументов, входящих в уравнение (8), численное значение $x_1 = 1,660$ мм, при максимальном усилии на резце, равном 3,75 кН. Средняя сила на единицу пути резца равна $3,75/1,660 = 2,26$ кН.

При определенных параметрах удельная энергоемкость разрушения будет равна $2,26 / 0,0289 = 78,2 \text{ дж/см}^3$.

Таким образом, энергоемкость разрушения при односторонне блокированном резе в одинаковых условиях снижается на 11,5 %.

Степень блокированности реза влияет не только на горизонтальное перемещение резца (крутящий момент при бурении), но и на внедрение его в породу (осевое усилие).

Используя те же физические представления картины разрушения передней гранью резца, определим параметры разрушения при внедрении резца в породу под действием осевого усилия при односторонне блокированном резе с учетом величины площадки затупления задней грани резца. При двусторонне блокированной схеме нагружения внедрение резца в породу будет происходить только за счет ее смятия.

При односторонне блокированной осевой нагрузке на площадку затупления задней грани резца будет происходить смятие породы и ее скол в сторону свободной поверхности.

Скол породы под воздействием осевого усилия будет происходить тогда, когда сила скола в направлении скола станет равной силе смятия, т.е.

$$F'_{cm} = F'_{ck} \cdot \cos \tau \quad (9)$$

или

$$[G_{cm}] \cdot S'_{cm} = [G_{ck}] \cdot S'_{ck} \cdot \cos \tau. \quad (10)$$

Согласно схеме, приведенной на рис. 2, площадка смятия равна

$$S'_{cm} = \delta \cdot (l_p - x), \quad (11)$$

где δ - ширина площадки затупления резца; x - расстояние от свободной поверхности до линии скола; l_p - ширина лезвия резца.

Величина площадки скола равна сумме площадей треугольника АВЕ и параллелограмма ВСДЕ, т.е.

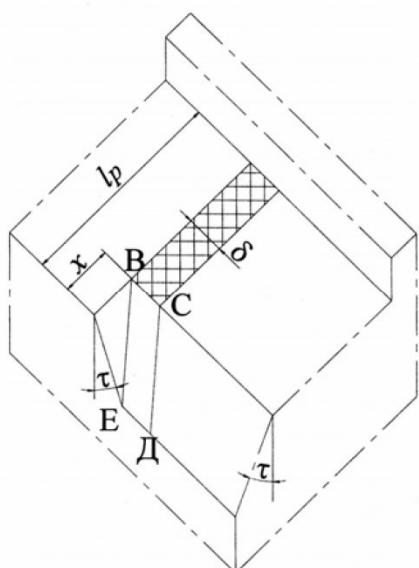


Рис. 2. Схема к определению параметров разрушения при односторонне блокированном внедрении резца в породу

$$S'_{ck} = \frac{x^2}{2 \cdot \sin \tau} + \frac{\delta \cdot x}{\sin \tau} = \frac{x}{\sin \tau} \left(\frac{x}{2} + \delta \right). \quad (12)$$

Таким образом, расстояние от свободной поверхности до линии скола определиться из квадратного уравнения полученного из (10-12) в виде

$$[G_{cm}] \cdot \delta \cdot (l_p - x) = [G_{ck}] \cdot \operatorname{ctg} \tau \left(\frac{x}{2} + \delta \right). \quad (13)$$

При условиях, соответствующих принятым при определении параметров разрушения передней гранью резца, численное значение $x=7,08$ мм.

При полученном значении x максимальное осевое усилие в момент скола породы равно сумме левой и правой частей уравнения (13), а максимальное (после скола) равно левой или правой его части, т.е. $F'_{max}=8,31$ кН, $F'_{min}=4,15$ кН. Тогда среднее значение осевого усилия при одностороннем блокировании $F'_{cp}=6,23$ кН.

Как уже отмечалось при двустороннем блокировании, разрушение всего объема происходит за счет смятия, при постоянном осевом усилии, равном

$$F''=[G_{cm}] \cdot S''_{cm}=[G_{cm}] \cdot l_p \cdot \delta. \quad (14)$$

При тех же условиях, численное значение F'' из (14) равно 7,28 кН.

При одинаковом объеме разрушения на 1 см проходки резца, равном 0,2476 см³, совершаются работа численно равная $A'=742,5$ кгс/см=72,84 дж, $A=635,2$ кгс/см=62,31 дж, соответственно при двух- и одностороннем блокировании внедрения резца.

Удельная энергоемкость разрушения будет, соответственно равна: $\mathcal{E}'=72,84/0,2475=294,3$ дж/см³; $\mathcal{E}=62,31/0,2475=251,6$ дж/см³.

Таким образом, удельная энергоемкость разрушения при односторонне блокированном внедрении резца в породу с $G_{c,ck}=49$ МПа снижается на 14,4 %.

Анализируя формулу (13) следует заметить, что при одностороннем блокировании величина затупления резца будет в меньшей степени сказываться на производительности бурения поскольку при увеличении δ будет увеличиваться объем породы, разрушающей от менее энергоемких напряжений скола.

Все полученные выше результаты соответствуют прямолинейному движению резца. При вращательном движении (бурении) характер взаимодействия резца с породой усложняется и для его анализа, тем более сравнительного, можно преебречь влиянием угла подъема винтовой линии, близкого на периферии резца, с учетом реальных подач и диаметров резцов, к нулю, а у кромки раствора не превышающего 10-15°.

Для выполнения сравнительного анализа бурения на рис. 3 приведена схема взаимодействия одного пера резца с породой при вращательном бурении шпуров. Согласно ей вертикальному перемещению реза (осевому усилию) с отрица-

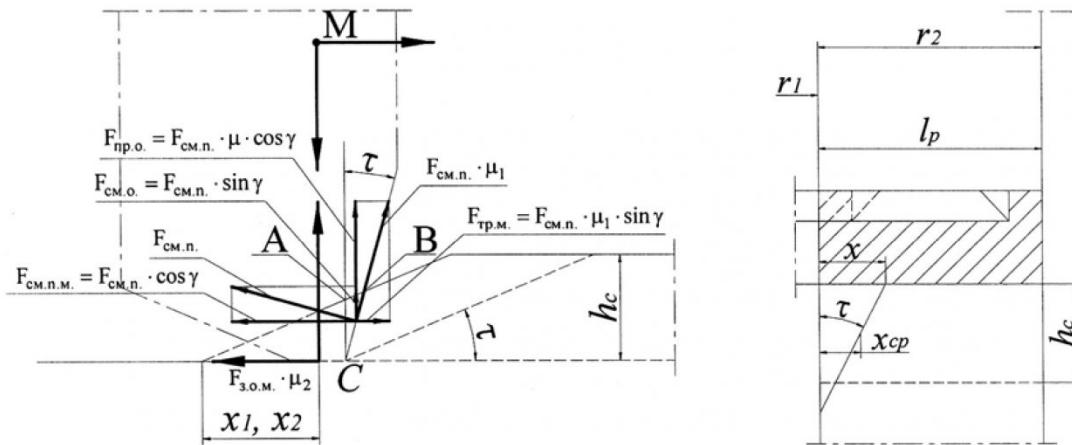


Рис. 3. Схема к определению усилий на резце с учетом блокировки резца

тельным передним углом, при двустороннем блокированном резе препятствуют следующие силы.

Сила смятия породы задней гранью резца по площадке износа ($F''_{3.o}$), направленная вертикально вверх, вертикальная составляющая ($F''_{n.o}$) силы (F''_n) действующей на переднюю грань резца с отрицательным передним углом и сила трения ($F''_{mp.o}$), возникающая на площадке по линии BC (рис. 3) и направленная вдоль передней грани.

Таким образом, полное осевое усилие необходимое для внедрения одного пера резца в породу равно:

$$F''_o = F''_{3.o} + F''_{n.o} + F''_{mp.o} \quad (15)$$

Сила смятия породы задней гранью резца, равна

$$F''_{3.o} = [G_{cm}] \cdot S''_{cm.z}, \quad (16)$$

где $S''_{cm.z}$ – величина полной площадки износа резца при двустороннем блокировании.

Если не учитывать влияния блокированности на износ периферийной части резца, то затупление задней грани должно происходить пропорционально длине пути пройденной элементом грани, поскольку осевое усилие (главный фактор износа задней грани) можно считать равномерно распределенным по лезвию резца. Тогда при реальной ширине площадки износа равной 1,5 мм на расстоянии 2,0 мм от края лезвия величина площадки износа определяется как площадь трапеции, т.е.

$$S''_{cm.z} = \frac{\frac{1,5 \cdot r_2}{r_2 - 2} + \frac{1,5 \cdot r_1}{r_2 - 2}}{2} \cdot (r_2 - r_1) = \frac{1,5(r_2^2 - r_1^2)}{2(r_2 - 2)}, \quad (17)$$

где r_1 и r_2 – радиусы от центра вращения, соответственно внутренней и внешней грани резца.

Вертикальная составляющая ($F''_{n.o}$) силы (F''_n), согласно рис. 3, равна

$$F''_{n.o} = F''_n \sin \gamma, \quad (18)$$

где γ – угол передней грани резца.

Наклонный размер площадки контакта резца с породой из треугольника ABC, равен $h_o / \cos \gamma$, где h_o

– вертикальный размер площадки контакта резца.

Если h_o выразить через перемещение резца, используя формулу (13), заменив в ней $l_p = r_2 - r_1$, то выражение для вертикальной составляющей силы примет вид:

$$F''_{n.o} = [G_{cm}] \cdot x_2 \cdot \operatorname{tg} \tau \times \left(r_2 - r_1 + 2h_c - 2 \frac{x_2}{\cos \gamma} \cdot \operatorname{tg} \tau \right) \cdot \operatorname{tg} \gamma. \quad (19)$$

Выражение для определения вертикальной составляющей силы трения определяется аналогично ($F''_{n.o}$) с учетом коэффициента трения и ориентации площадки терния относительно осевого усилия

$$F''_{mp.o} = [G_{cm}] x_2 \cdot \operatorname{tg} \tau \times \left(r_2 - r_1 + 2h_c - 2 \frac{x_2}{\cos \gamma} \cdot \operatorname{tg} \tau \right) \cdot \mu \quad (20)$$

где μ_l – коэффициент трения породы по передней грани резца.

Тогда полное осевое усилие при двусторонне блокированном резе равно

$$F''_o = [G_{cm}] \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,5(r_2 + r_1)}{2(r_2 - 2)} \cdot (r_2 - r_1) + \\ \left[x_2 \cdot \operatorname{tg} \tau \left(r_2 - r_1 + 2h_c - 2 \frac{x_2}{\cos \gamma} \cdot \operatorname{tg} \tau \right) \right] \times \\ \times (\operatorname{tg} \gamma + \mu_l). \end{array} \right\} \quad (21)$$

Аналогично получена формула для расчета суммарного осевого усилия при односторонне блокированном резе, которая в окончательной форме имеет вид:

$$F'_o = [G_{cm}] \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,5(r_1 + x) + 1,5 \cdot r_2}{2(r_2 - 2)} \cdot (r_2 - r_1 - x) + \\ \left[\frac{x_1}{\cos \gamma} (r_2 - r_1 - x) \cdot \operatorname{tg} \tau \right] \times \\ \times (\operatorname{tg} \gamma + \mu_1). \end{array} \right\} \quad (22)$$

В формуле (22) величина x (расстояния от свободной поверхности до линии скола) при вращательном движении резца должна быть меньше, определяемой по формуле (13), поскольку при бурении шпуров скол породы происходит на поверхность с вогнутой кривизной. Влияние кривизны поверхности на величину x можно, с достаточной для практических целей точностью, оценить коэффициентом, равным отношению площади скола при прямолинейном и вогнутом фронте скола. При диаметре шпуров, равном 42 мм, значение этого коэффициента не превышает 0,95 и при увеличении диаметров приближается к единице.

Таким образом, при расчетах численного значения осевого усилия (22) значение x следует принимать равным $0,95x$. При этом осевое усилие при односторонне блокированном резе будет меняться от минимального после скола, когда размер площадки затупления задней грани резца будет меньше на $0,95x$, до максимального, когда этот размер будет меньше на величину $0,95x - 2h_c \cdot \operatorname{tg} \tau$.

Численное значение осевого усилия при двусторонне блокированном резе на одно лезвие серийного резца типа БИ-741В, имеющего отрицательный передний угол $\gamma = 15^\circ$ при коэффициенте трения породы по передней грани $\mu_1 = 0,25$ [2] и при тех же условиях, что и при прямолинейном резе, рассчитанное по (21), равно 596,5 кгс (5,85 кН).

При односторонне блокированном резе осевое усилие, рассчитанное по формуле (22), при тех же свойствах породы и резца, меняется в пределах от 4,66 до 5,06 кН, при среднем, равном 4,86 кН.

Таким образом, при односторонне блокированном резе при одинаковом диаметре резца одинаковая подача его на оборот (величина стружки) обеспечивается при меньшем на 20,3 % осевом усилии.

Вывод формул для определения крутящих моментов при обеих режимах резания произведен также с использованием построений, приведенных на рис. 3.

При двусторонне блокированном резе горизонтальному перемещению резца препятствуют две силы: горизонтальная составляющая ($F''_{n.m.}$) силы смятия породы передней гранью резца (F''_n) и сила трения, возникающая на задней грани резца ($F''_{mp.z.m.}$).

При отрицательном переднем угле резца горизонтальному перемещению его способствует горизонтальная составляющая ($F''_{mp.n.m.}$) силы трения передней грани реза о породу ($F''_{mp.n.}$).

$$F''_m = F''_{n.m.} + F''_{mp.z.m.} - F''_{mp.n.m.} \quad (23)$$

Согласно построений рис. 3 горизонтальные составляющие сил ($F''_{n.m.}$, $F''_{mp.z.m.}$ и $F''_{mp.n.m.}$), соответственно равны:

$$F''_{n.m.} = F''_n \cdot \cos \gamma; \quad F''_{mp.z.m.} = F''_{z.o.} \cdot \mu_2; \quad (25)$$

$$F''_{mp.n.m.} = F''_{mp.o.} \cdot \sin \gamma \cdot \mu_1. \quad (26)$$

В формуле (25) μ_2 – коэффициент трения о породу задней гранью резца. В расчетах, согласно рекомендации [2], численное значение μ_2 принято равным 0,45.

Выразив силы в формулах (24-26) через $[G_{cm}]$ и соответствующие им величины площадок смятия данных в формулах (17) и (3) с заменой в них параметров аналогично принятым и формуле (19) и учетом их ориентации относительно горизонтального перемещения резца, формула (23) примет вид:

$$F''_m = [G_{cm}] \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{1,5(r_2 + r_1) + 1,5 \cdot r_2}{2(r_2 - 2)} (r_2 - r_1) \cdot \mu_2 \right] + \\ x_2 \operatorname{tg} \tau \times \left(r_2 - r_1 + 2h_c - 2 \frac{x_2}{\cos \gamma} \cdot \operatorname{tg} \tau \right) \times \\ \times (1 - \sin \gamma \cdot \mu_1) \end{array} \right\}. \quad (27)$$

Крутящий момент, возникающий на одной грани резца, будет равен произведению выражения (27) на центр тяжести равнодействующий этого момента (R'').

Если принять точку приложения равнодействующей пропорционально величине площадки затупления задней грани резца и скорости смещения его элементов, то центр тяжести равнодействующий крутящего момента при двустороннем блокировании реза определится из выражения:

$$R'' = \sqrt{\frac{(r_1^4 - r_2^4) + \sqrt{(r_2^4 - r_1^4)^2 - 4(r_2^2 - r_1^2) \cdot (r_1^6 - r_2^6)}}{2(r_2^2 - r_1^2)}} \quad (28)$$

При бурении резцом БИ-741В численное значение R'' равно 16,62 мм.

Вывод формулы для определения крутящего момента при односторонне блокированном резе производится аналогично. Выражение для определения крутящего момента в конечной форме имеет вид:

$$M' = [G_{cm}] \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{1,5(r_1 + x) + 1,5 \cdot r_2}{2(r_2 - 2)} (r_2 - r_1 - x) \mu_2 \right] + \\ \left[\frac{x_1}{\cos \gamma} (r_2 - r_1 - x) \operatorname{tg} \tau \right] \times \\ \times (1 - \sin \gamma \cdot \mu_1) \end{array} \right\} R'. \quad (29)$$

Равнодействующая крутящего момента при односторонне блокированном резе (R') при условиях, аналогичных выводу формулы (28), но с учетом скола породы задней гранью резца определится по формуле

$$R' = \sqrt{\frac{(r_1 + x_{cp})^4 - r_2^4 + \sqrt{[r_2^4 + (r_1 + x_{cp})^4]^2 - 4[r_2^2 - (r_1 + x_{cp})^2] \times [(r_1 + x_{cp})^6 - r_2^6]}}{2[r_2^2 - (r_1 - x_{cp})^2]}} \quad (30)$$

В формуле (30) величина скола породы (x_{cp}) принята равной среднему между минимальным и максимальным значениями, принятыми в формуле (22). При тех же условиях, что и при определении R'' , $R' = 17,31$ мм.

Расчеты крутящих моментов на одной грани реза по формулам (27,28, 29) при тех же условиях, что и осевого усилия дают следующие результаты: $M' = 65,49$ Н·м и $M'' = 50,46$ Н·м, соответственно при двустороннем и одностороннем блокировании реза, т.е. снижение крутящего момента при одностороннем блокировании составляют 23,0 %.

Зная осевые усилия и крутящие моменты можно рассчитать осредненную мощность приводов бурильной машины при рассмотрениях условиях бурения. Без учета к.п.д. всей кинематической системы, необходимая мощность в (кВт) бурильной

машины определяется формулой:

$$N = n \cdot \left(\frac{F \cdot L}{601 \cdot 1000 \cdot 102} + \frac{M}{915} \right), \text{ кВт}, \quad (31)$$

где n – частота вращения резца, об/мин; L – подача резца на оборот, мм/об.

В формуле (31) осевое усилие выражен в кгс, а крутящий момент в кгс·м.

При скорости вращения шпинделя равной 320 мин⁻¹ как рациональной при бурении пород средней крепости и рассчитанных значениях осевых усилий и крутящих моментов, необходимая мощность приводов равна: $N' = 4,41$ и $N'' = 3,39$ кВт, соответственно при двух- и односторонне блокированном резе.

Таким образом, при бурении шпуров диаметром 42 мм в породах средней крепости, при одинаковой производительности, мощность приводов бурильной машины при одностороннем блокировании может быть снижена на 23,1 %.

На основании произведенных исследований разработан инструмент для бурения скважин, получены два патента на полезные модели (№44345, №44346). Разработаны эффективные паспорта буровзрывных работ со скважинами, проведена их опытная проверка на шахте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способы и средства интенсификации горнопроходческих работ на рудниках / А. И. Копытов, А. В. Ефремов [и др.]. – Кемерово: Кузбассиздат, 2002. – 313 с.
2. Алимов О. Д. «Бурильные машины» / О. Д. Алимов, Л. Г. Дворников. – М.: Машиностроение, 1976. – 296 с.
3. Миндели Э. О. Буровзрывные работы при подземной добычи полезных ископаемых. – М.: Недра, 1966. – 545с.
4. Крапивин М. Г. Расчет усилий на резцах при сверлении шпуров. Труды НПИ. Т. 175. – Новочеркасск, 1968. – С. 78-84.
5. Губарев Н. А. Изыскание рациональных врубов для полевых выработок угольных шахт Донбасса / Н. А. Губарев, П. А. Демчук // Взрывное дело: сб. 70/30. – М.: Недра, 1974. – С. 156-161.

□ Автор статьи:

Войтов
Михаил Данилович
– канд. техн. наук,
доц. каф. строительства подземных
сооружений и шахт