

## МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ БУРЕНИЯ

В. И. ЗВАРЫГИН, С. С. СУЛАКШИН

(Представлена научным семинаром кафедры техники разведки)

Увеличение механической скорости бурения скважин зависит от ряда технологических и геологических факторов, основными из которых, кроме свойств пород, являются осевое давление на коронку и скорость ее вращения.

Ранее в результате теоретических и экспериментальных исследований при работе единичного резца нами была получена формула для резания породы в условиях забоя:

$$h = \frac{P \cos \alpha}{4\sigma(b+l)}, \quad (1)$$

где  $\sigma = \frac{\sigma_{сж}}{6,8}$  — критическое напряжение;

$P$  — осевое давление на резец;

$\alpha$  — угол скола элемента породы;

$h$  — глубина внедрения резца;

$b$  — ширина резца;

$l$  — постоянная, для песчаников и алевролитов  $l = 4$ .

Механическую скорость бурения в общем виде можно выразить зависимостью

$$v_{\text{мех}} = f(h, m, n).$$

Здесь  $m$  — число резцов в коронке;

$n$  — число оборотов коронки в минуту.

Из экспериментальных исследований нами установлено, что механическая скорость бурения обратно пропорциональна корню квадратному из количества резцов в коронке. Кроме этого, при увеличении скорости вращения коронки от 1 до 200 об/мин глубина внедрения резцов уменьшается в 4 раза. Причем снижение глубины внедрения резцов в этих пределах чисел оборотов коронки имеет линейный характер. Но так как при 200 об/мин снижение глубины внедрения происходит на  $3/4 h$ , то при  $n$  об/мин (в пределах 0—200 об/мин) глубина внедрения резцов будет:

$$h_n = h \left( 1 - \frac{3}{4} \cdot \frac{n}{200} \right) = h \left( 1 - \frac{n}{267} \right). \quad (2)$$

Или подставляя значение  $h$ , получим:

$$h_n = \frac{P \cdot \cos \alpha}{4\sigma(b+l)} \left(1 - \frac{n}{267}\right). \quad (3)$$

И тогда механическая скорость бурения с учетом влияния количества резцов для скоростей вращения коронок 1–200 об/мин будет

$$v_{\text{мех}} = \frac{P \cdot \cos \alpha \cdot n}{4\sigma(b+l)\sqrt{m}} \left(1 - \frac{n}{267}\right). \quad (4)$$

При  $n = 200$ :

$$v_{\text{мех}} = \frac{P \cdot \cos \alpha \cdot 200}{4\sigma(b+l)4\sqrt{m}}. \quad (5)$$

Как показывают экспериментальные исследования при числе оборотов коронки свыше 200 об/мин для малоабразивных песчаников и алевролитов, механическая скорость бурения прямо пропорциональна корню из числа оборотов.

$$v_{\text{мех}} = \frac{P \cos \alpha \sqrt{200n}}{4\sigma(b+l)4\sqrt{m}} = \frac{0,875P \cos \alpha \sqrt{n}}{\sigma(b+l)\sqrt{m}}. \quad (6)$$

В предыдущих работах было установлено, что при резании породы в условиях забоя,  $F = 0,5\rho$ . Подставляя это значение в формулу (6), получим:

$$v_{\text{мех}} = \frac{1,75F \cos \alpha \sqrt{n}}{\sigma(b+l)\sqrt{m}}. \quad (7)$$

Таким образом, механическая скорость бурения прямо пропорциональна осевому давлению и корню квадратному из числа оборотов коронки. Но повышение осевого давления и числа оборотов коронки имеет ряд ограничений.

Во-первых, увеличение технологических параметров ( $P$ ,  $n$ ) вызывает повышенный расход энергии. Передача большого количества энергии непосредственно на забой скважины сопряжена с некоторыми трудностями, так как имеют место большие потери энергии на бесполезную работу (холостое вращение штанг, трение буровой колонны о стенки скважины и т. д.), недостаточно высокая прочность буровой колонны и др. Обозначим мощность, идущую непосредственно на разрушение горной породы, через  $N$ . Согласно формуле элементарной физики:

$$N = F \cdot v, \quad (8)$$

где  $F$  — сила, действующая на тело (в нашем случае окружное усилие);

$v$  — скорость перемещения тела (скорость вращения коронки).

Подставляя в эту формулу значения  $v$  и  $F$ ,

$$v = \frac{\pi d n}{60}; \quad F = 0,5 P;$$

здесь  $d$  — диаметр коронки в м,

$$\text{получим} \quad N = \frac{0,5\pi P d n}{60} = \frac{P d n}{40}. \quad (9)$$

Сравнивая формулы (6) и (9), можно заметить, что с точки зрения расхода энергии увеличение осевого давления значительно выгоднее, чем увеличение оборотов коронки. Так, при увеличении осевого давления в 4 раза механическая скорость бурения возрастает в 4 раза, в 4 раза

возрастает и расход энергии, а при увеличении скорости вращения в 4 раза механическая скорость бурения увеличивается всего лишь в 2 раза, а расход энергии в 4 раза.

При выборе оптимальных технических режимов бурения следует учитывать и износ резцов, который ведет к снижению механической скорости бурения. В. С. Федоровым [1] установлено, что при увеличении осевого давления при объемном разрушении породы удельный износ инструмента уменьшается, а при поверхностном истирании остается постоянным. Английский исследователь Р. Шеферд [2] также установил, что с увеличением осевого давления на коронку износ резцов уменьшается. «Минимальный износ резца — заключает Р. Шеферд—имеет место при постоянной максимальной нагрузке. Значительно больший износ резцов происходит при нагрузке, постепенно возрастающей от нулевой до максимальной, чем при нагрузке, уменьшающейся от максимальной».

При увеличении скорости вращения инструмента, как утверждает В. С. Федоров, до некоторого значения износ пропорционален числу оборотов, а при увеличении числа оборотов выше данного значения рост износа идет быстрее увеличения числа оборотов. Е. Ф. Эпштейн в результате поставленных им опытов [3] нашел, что при увеличении скорости вращения коронки происходит увеличение износа и затем после некоторого снижения интенсивность износа снова резко возрастает.

Таким образом, и с точки зрения износа резцов предпочтение следует отдавать также увеличению осевого давления.

Но, с другой стороны, увеличение осевого давления ведет к увеличению окружного усилия, а последнее ограничивается прочностью резцов в коронке. Следовательно, осевое давление не должно превышать критического значения, при котором может произойти поломка резцов.

Условие прочности резцов можно записать равенством:

$$F < \frac{\sigma_{\text{из}} \cdot a \cdot b \cdot m}{h_p} \quad (10)$$

или

$$P < \frac{2\sigma_{\text{из}} \cdot a \cdot b \cdot m}{h_p}, \quad (10)$$

где  $\sigma_{\text{из}}$  — предел прочности резца на излом;  
 $b$  — ширина резца;  
 $a$  — толщина резца;  
 $m$  — количество резцов;  
 $h_p$  — выход резцов из тела коронки.

Очевидно, что увеличения прочности резцов коронки можно достигнуть следующим способом:

1. Улучшить количество твердого сплава (повысить прочность на изгиб).
2. Увеличить сечение резцов: ширину и толщину.
3. Увеличить количество резцов в коронке.

Однако увеличение ширины и количества резцов ведет к снижению механической скорости бурения.

Из сравнения формул (10) и (6) видно, что возрастание прочности резцов при увеличении  $m$  и  $b$  происходит быстрее, чем снижение механической скорости бурения, а при увеличении прочности в «к» раз можно увеличивать и осевое давление в «к» раз, что ведет соответственно к возрастанию механической скорости в «к» раз. Следовательно, в случае достаточно прочной колонны штанг (новый снаряд), при которой можно давать значительные осевые нагрузки, рационально использовать коронки с большим количеством резцов или коронки с широкими рез-

нами. Так, например, если мы увеличим количество резцов коронки в 4 раза и соответственно увеличим осевое давление, механическая скорость бурения возрастет за счет увеличения  $P$  в 4 раза и упадет за счет увеличения количества резцов в 2 раза, т. е. в общей сложности механическая скорость бурения возрастает в 2 раза.

При увеличении ширины резца от 2 до 8 мм механическая скорость бурения увеличится за счет возможного увеличения осевого давления в 4 раза и упадет за счет увеличения ширины резца в 2 раза, в общей сложности повышение механической скорости бурения будет в 2 раза.

Таким образом, при небольшой глубине и малом диаметре скважины, а также при работе прочным снарядом или снарядом с протекторами, когда можно давать значительные осевые нагрузки, коронки следует выбирать с большим количеством резцов или резцами повышенной ширины. В том случае, когда перечисленные выше условия отсутствуют и когда наиболее опасным моментом является прочность колонны штанг и осевые давления создаются небольшой величины, коронки следует подбирать с меньшим количеством резцов и резцами малой ширины.

При увеличении ширины и количества резцов уменьшится их износ, а, следовательно, падение механической скорости бурения с течением времени будет соответственно меньше, и длина рейса увеличится. Все это, в конечном счете, приведет к повышению производительности бурения. Фактор износа следует учитывать также и при выборе минимального значения количества резцов в коронке.

Уменьшение выхода резцов из тела коронки может также сказаться на механической скорости бурения, так как выбуренный шлам будет находиться в стесненных условиях и поэтому часть энергии будет расходоваться на вторичное дробление породы. Поэтому одновременно с уменьшением выхода резца из тела коронки следует в большей степени обнажать переднюю грань резца за счет специального выреза.

Такой вырез, как мы уже рассматривали в предыдущих статьях, устранит возможность создания нароста из уплотненной породы, возникающего при бурении вследствие ограниченного пространства впереди резца между торцом коронки и забоем скважины. Кроме того, наличие вырезов перед резцом благоприятно с точки зрения выноса выбуренных частиц. Действительно, поток промывочной жидкости будет устремляться в эти вырезы впереди резцов и выносить шлам непосредственно из-под резцов.

Увеличение скорости вращения коронки, как мы видели из результатов экспериментов, не приводит к увеличению окружного усилия. Поэтому с точки зрения прочности резцов для увеличения оборотов нет ограничений.

Таким образом, преимущественное повышение осевого давления следует производить до  $P_{кр}$ , выше которого возможна поломка резцов. Далее для повышения механической скорости бурения следует увеличивать скорость вращения коронки до полного использования мощности станка (мощности, которую можно доставить на забой скважины).

Но при повышении технологических параметров бурения следует также учитывать прочность и условия работы буровой колонны.

Повышение осевого давления приводит к большому изгибу снаряда: сила, прижимающая буровую колонку к стенкам скважины, увеличивается, следовательно, увеличивается трение и износ штанг. При увеличении числа оборотов увеличиваются центробежные силы, прижимающие снаряд к стенкам скважины, что ведет также к износу штанг, большим потерям энергии и снижению осевого давления на коронку, а последнее ведет к снижению механической скорости бурения.

Наконец, при больших скоростях вращения снаряда вследствие наличия длинного передаточного вала при относительно больших диаметрах скважин возникает сильная вибрация станка и колонковой трубы. Сильная вибрация станка может привести к его поломке, поэтому работа на больших скоростях при существующих условиях бурения практически невозможна. Вибрация колонковой трубы приводит к выкрашиванию кромки резцов в коронке и разрушению выбуренного столбика керна. В результате наличия раздробленной породы и потока промывной жидкости, направленного в зазор между коронкой и столбиком керна, происходит его самозаклинка. При этом чем больше осевое давление, тем сильнее расклинивание керна, тем ниже механическая скорость бурения. Для снижения самозаклинки керна, очевидно, следует устранить вибрацию колонковой трубы и использовать обратную промывку или установить насос, отсасывающий из колонковой трубы промывочную жидкость вместе со шламом и крупными кусочками породы.

Результатом изгиба снаряда, его трения о стенки скважины, вибрации колонковой трубы, способствующей выкрашиванию резцов и самозаклинке керна при повышенных технологических параметрах бурения и т. д., является, как показывают наблюдения исследователей [4], тот факт, что при колонковом бурении с увеличением осевого давления и скорости вращения снаряда после увеличения механической скорости до  $v_{\max}$  происходит ее падение. Этот факт существенно ограничивает повышение механической скорости бурения, поэтому с ним следует также считаться при выборе оптимальных технологических режимов бурения.

Таким образом, большим тормозом для повышения механической скорости бурения является наличие длинного передаточного вала, поэтому следует стремиться либо к снижению потерь энергии на трение снаряда о стенки скважин, либо совсем отказаться от штангового способа и перейти к бесштанговому способу бурения.

Одним из способов снижения трения колонны бурильных труб является применение протекторов диаметром, соответствующим диаметру скважины, закрепляемых на штангах на подшипниках.

В процессе бурения с течением времени бурения резцы изнашиваются, а в результате этого глубина внедрения резцов уменьшается. Уменьшается и окружное усилие, поэтому для повышения механической скорости бурения следует увеличивать осевое давление до  $F_{кр}$ , чему благоприятствует пониженное окружное усилие.

Необходимо, чтобы в течение всего процесса бурения окружное усилие не превышало  $F_{кр}$  (окружного усилия, свыше которого возможна поломка резцов), с другой стороны, окружное усилие в целях получения максимальной величины механической скорости бурения должно быть максимальным, что зависит от прочности резцов коронки ( $F_{кр}$ ), т. е. необходимо, чтобы  $F_{\max} = F_{кр}$  в процессе бурения было постоянным, максимально допустимым. Поддержание постоянного значения  $F$  в процессе бурения для сменного мастера является невыполнимой задачей, поэтому необходимо разработать конструкцию автоматического регулятора, способного реагировать на изменение  $F$  вследствие притупления резцов или других каких-либо причин.

Видимо, исходить нужно из постоянства для данных условий скорости вращения снаряда и мощности, расходуемой на процесс бурения, т. е.

$$F = \frac{N_{\text{const}}}{v_{\text{const}}} = \text{const.}$$

Если иметь бесступенчатую передачу, что достигается при использовании для передачи энергии масла, то при постоянных значениях в процессе бурения по мере износа резцов будет уменьшаться  $F$ , но так как давление масла в гидросистеме будет оставаться постоянным, то за счет снижения окружных усилий большая часть масла будет поступать для создания осевого давления. Увеличение давления будет происходить до тех пор, пока  $F$  не примет своего первоначального значения, т. е. пока не будет восстановлено равенство:

$$N = Fv.$$

Таким образом, за счет бесступенчатой передачи можно достичь автоматической регулировки технологических режимов бурения.

Из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Для увеличения механической скорости бурения следует стремиться к повышению до некоторого предела параметров  $P$  и  $n$  с преимущественным повышением  $P$ .

2. При достаточно прочном снаряде для создания возможности повышения прочности резцов и повышения за счет этого осевых давлений следует применять коронки повышенной прочности (с большим количеством резцов или резами большой ширины).

3. Для ликвидации ограничивающего повышение скорости бурения фактора и снижения бесполезной работы следует либо устранить изгиб штанг и трение их о стенки скважины за счет специальных протекторов, либо совсем отказаться от штангового способа бурения.

4. Для снижения самозаклинки керна в колонковой трубе при бурении следует либо применять обратную промывку, либо над колонковой трубой устанавливать отсасывающий насос.

5. Для автоматического регулирования режимов бурения и бесступенчатой передачи энергии на коронку следует создать буровую машину с гидравлическим приводом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Федоров. Научные основы режимов бурения. Гостоптехиздат, 1951.
2. Р. Шеферд. Физические свойства и буримость горных пород. Углетехиздат, 1956.
3. Е. Ф. Эпштейн. Износ твердых сплавов при трении по горным породам при колонковом бурении. Гостоптехиздат, 1952.
4. А. С. Станишевский, А. П. Руденко, Ю. В. Бакланов, Г. М. Захаров, О. В. Иванов, И. С. Любич, А. Н. Ягодин. Режимы колонкового бурения. ОНТИ, ВИТР, вып. 27, 1960.