

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО РЕЖИМА ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ

*Инж. Б. А. КАТАНОВ*

Кемеровский горный институт

При выборе оптимального режима бурения следует иметь в виду, что режим бурения (т. е. число оборотов бурового инструмента и осевое давление) обуславливает производительность бурения и износ бурового инструмента. При этом в общем случае вращательного бурения резанием увеличение осевого давления и числа оборотов бурового инструмента влечет за собой, с одной стороны, увеличение скорости бурения и производительности труда бурильщиков, а с другой — повышение износа бурового инструмента и расхода энергии, затрачиваемой на бурение.

Оптимальным следует считать такой режим бурения, при котором суммарные затраты на бурение 1 пог. м скважины (с учетом всех факторов) будут минимальными. Средняя стоимость бурения 1 пог. м скважины:

$$m = \frac{M}{L_c}, \quad (1)$$

где  $L_c$  — суммарная длина пробуренных станком скважин за единицу времени (например, месяц) при условии нормальной его эксплуатации в данных горногеологических условиях;

$M$  — суммарные затраты на бурение, руб.

$$M = M_3 + M_{6и} + M_э + M_a. \quad (2)$$

Здесь  $M_3$  — расходы на заработную плату (в том числе и начисления);

$M_{6и}$  — расходы на буровой инструмент;

$M_э$  — расходы на электроэнергию;

$M_a$  — амортизационные отчисления.

Расходы на заработную плату при прямой сдельной оплате можно принять пропорциональными общей длине пробуренных скважин:

$$M_3 = K_3 L_c, \quad (3)$$

где  $K_3$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от организации работ, горногеологических условий и других факторов.

Расходы на буровой инструмент:

$$M_{6и} = \frac{M'_6}{l_6} L_c, \quad (4)$$

где  $M'_6$  — стоимость комплекта бурового инструмента (буровых штанг и коронок), руб.;

$l_6$  — средняя стойкость комплекта, пог. м скважины.

Амортизационные отчисления  $M_a$  определяются на основании существующих цен на буровые станки и принятых норм отчисления ( $M_a = \text{const}$ ).

Расходы на электроэнергию при прочих равных условиях можно принять пропорциональными длине пробуренных скважин, т. е.

$$M_3 \approx K_3 L_c. \quad (5)$$

Расходы на электроэнергию сравнительно невелики. Например, при шнековом вращательном бурении скважин они не превышают 1—5% общих затрат на бурение.

Подставляя значение  $M_3$ ,  $M_{60}$ ,  $M_3$  и  $M_3$  из равенств (2)—(5) в формулу (1), получим:

$$m = (K_3 + K_3) + \frac{M'_6}{l_6} + \frac{K_A}{L_c}. \quad (6)$$

Проанализируем величины, входящие в эту формулу:  $K_A$  — постоянная величина, не зависящая от режимных параметров (осевого давления  $C$  и числа оборотов бурового инструмента в минуту  $n$ ).

Значение  $L_c$  можно определить как:

$$L_c = z h n t, \quad (7)$$

где  $z$  — число перьев коронки (обычно  $z=2$ );

$h$  — глубина внедрения коронки в породу;

$t$  — чистое время бурения, пропорциональное (при нормальной эксплуатации) общему времени работы станка.

Если принять, что при этом зависимость  $h=f(C)$  имеет линейный характер, а  $z=\text{const}$  и  $t=\text{const}$ , то

$$L_c = K_L C n, \quad (8)$$

где  $K_L$  — коэффициент пропорциональности.

Величина износа буровых коронок при вращательном (например, при шнековом) бурении в большинстве случаев пропорциональна работе трения, которая определяется как [1]:

$$A_{\text{тр}} = C n f t \pi D, \quad (9)$$

где  $f$  — коэффициент трения материала коронки по породе;

$D$  — диаметр скважины.

Принимая  $f=\text{const}$ ,  $t=\text{const}$  и  $D=\text{const}$ , имеем:

$$A_{\text{тр}} = K_A C n. \quad (10)$$

Так как стойкость буровых штанг можно принять пропорциональной стойкости коронок, то средняя стойкость комплекта для данных горно-геологических условий будет обратно пропорциональна работе трения, т. е.:

$$l_6 = \frac{K'_A}{C n}, \quad (11)$$

где  $K_A$  и  $K'_A$  — коэффициенты пропорциональности.

Коэффициент  $K_3$  в выражении (6) представляет собой расходы по заработной плате на бурение 1 пог. м скважины и определяется в конечном счете (при прочих равных условиях) скоростью чистого бурения:

$$v_6 = z h n. \quad (12)$$

Расходы по заработной плате  $K_3$  будут обратно пропорциональны скорости чистого бурения, а, следовательно, можно принять:

$$K_3 = \frac{K}{C n}, \quad (13)$$

где  $K$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции бурового инструмента и от значения  $h=f(C)$ .

Значением  $K_3$  (6), ввиду незначительности затрат на электроэнергию, можно пренебречь.

Подставляя полученные значения  $L_c$ ,  $l_6$  и  $K_3$  из равенств (8), (11) и (13) в формулу (6), будем иметь:

$$m = \frac{K}{Cn} + \frac{M'_6}{K'_A} Cn + \frac{K_a}{K_L Cn}. \quad (14)$$

Приняв

$$A = \left( K + \frac{K_a}{K_L} \right) \text{ и } B = \frac{M'_6}{K'_A},$$

после преобразований получим:

$$m = \frac{A}{Cn} + BCn. \quad (15)$$

Для определения значений  $C$  и  $n$ , при которых  $m$  имеет минимальное значение, найдем частные производные функции  $m = \varphi(C, n)$ , соответствующей равенству (15).

Необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} \varphi'_n(C, n) = 0, \\ \varphi'_c(C, n) = 0. \end{cases} \quad (16)$$

Как легко убедиться, эта система в данном случае сводится к одному уравнению с двумя неизвестными и имеет множество решений. Это означает, что нельзя найти определенные значения  $C$  и  $n$ , соответствующие  $m_{\min}$ .

Можно, однако, определить значение произведения  $(Cn)$ , соответствующее минимальному  $m$ . Для этого необходимо найти первую производную функции  $m = \varphi(Cn)$  и, приравняв ее нулю, решить полученное уравнение.

$$Cn = \sqrt{\frac{A}{B}}. \quad (17)$$

Из равенств (15) и (17) имеем:

$$m_{\min} = 2 \sqrt{AB}. \quad (18)$$

Подставив в это равенство значения  $A$  и  $B$ , получим:

$$m_{\min} = 2 \sqrt{\left( K + \frac{K_a}{K_L} \right) \frac{M'_6}{K'_A}}. \quad (19)$$

Таким образом, в случае линейной зависимости  $h = \varphi(C)$  значение  $m_{\min}$  определится значением произведения величин  $Cn$ . Это означает, что  $m_{\min}$  при прочих равных условиях, может быть достигнуто не при каких-либо определенных значениях  $C$  и  $n$ , а при бесчисленном множестве их значений, определяемых равенством (17).

Вопрос о выборе наиболее экономически целесообразного режима, таким образом, решается для каждого конкретного случая определением значений постоянных  $A$  и  $B$ . При этом, например, при автоматическом регулировании режима бурения, для сохранения соотношения  $C$  и  $n$ , соответствующего  $m_{\min}$  (при меняющихся внешних условиях), не требуется одновременного изменения обоих режимных параметров, а достаточно

производить изменение лишь одного из них в пределах, обеспечивающих соотношение, выражаемое равенством (17).

Изложенное позволяет заключить, что решение вопроса о наиболее экономически целесообразном режиме бурения сводится к установлению характера закономерности  $h=f_1(C)$ , необходимой для вычисления  $K_L$  и  $K$ , и  $l_6=f_2(C, n)$ , нужной, в свою очередь, для вычисления  $K'_A$ .

Определение стоимостных параметров  $K_a$  и  $M'_6$  практически не представляет трудностей.

Характер зависимости  $h=f_1(C)$  прежде всего определяется конструкцией бурового инструмента (коронки). Например, буровая коронка, применяемая для сухого шпорового бурения пород средней крепости, армирована по торцу пластинками твердого сплава формы Г-53 и представляет собой систему плоских твердосплавных штампов (пуансонов), внедряемых в породу под действием осевого давления.

Установлено [2, 3, 4], что при внедрении плоского пуансона в породу имеет место зависимость  $C=\varphi(h)$ .

Эта зависимость близка линейной лишь на ограниченных участках и при условии вдавливания в хрупкую породу.

В ряде случаев (при значительных  $h$ ) зависимость определяется кривыми типа параболы [4].

Функция  $l_6=f_2(C, n)$  тоже может иметь более сложный, не линейный характер [1]. Однако при нелинейном характере этих зависимостей ход решения задачи по определению наиболее экономически целесообразного режима бурения аналогичен изложенному выше, хотя при этом и могут быть получены несколько иные результаты. Если, например, зависимость  $h=\varphi(C)$  будет иметь параболический, а не линейный характер, то равенства (8), (13), (14) и (15) примут вид:

$$L_c = K'_L n C^{1/2}, \quad (20)$$

$$K_s = K' \frac{1}{nC^{1/2}}, \quad (21)$$

$$m = \frac{K}{nC^{1/2}} + \frac{M'_6}{K'_A} C n + \frac{K_a}{K'_L n C^{1/2}}, \quad (22)$$

$$m = \frac{A}{nC^{1/2}} + B n C. \quad (23)$$

Анализ равенства (23) показывает, что в этом случае отыскание значений  $m_{\min}$  несколько сложнее, т. к. условие (17) будет недействительно. Однако и в этом случае общий характер закономерности сохраняется. Так, например, при  $C=\text{const}$  зависимость  $m=\varphi(n)$  та же, что и в предыдущем случае, а при одновременном изменении обоих аргументов влияние  $C$  на величину  $m$  несколько больше, чем в рассмотренном ранее случае.

Расчеты по приводимым нами формулам показывают, что при бурении скважины диаметром 140 ÷ 150 мм по породам вскрыши средней крепости ( $j=3 \div 6$  по шкале М. М. Протоdjeяконова) станком СВБ-2 режим работы станка при  $n=200$  об/мин является экономически менее целесообразным, нежели при  $n=120$  об/мин. Это подтверждено также данными практики.

Бурение пород вскрыши станком СВБ-2 с числом оборотов  $n=200$  об/мин экономически невыгодно. Для экономически эффективного бурения более крепких пород данного диапазона ( $f=3 \div 6$ ) целесообразно было бы иметь вторую скорость вращения бурового става 70-80 об/мин.

### Выводы

1. При определении экономически целесообразного режима бурения необходимо учитывать влияние материальных затрат на стоимость бурения 1 пог. м скважины.

2. Оптимальным режимом бурения следует считать такой режим, при котором затраты на бурение 1 пог. м скважины будут минимальными.

3. Оптимальный режим бурения определяется характером зависимости глубины внедрения коронки от осевого давления  $h-\varphi(C)$  и износостойкости бурового инструмента от режимных параметров  $l_0=\varphi(C, n)$ . При этом каждому конкретному случаю будет соответствовать свой оптимальный режим.

4. Приводимые в статье формулы помогут осуществить выбор из всех возможных режимов наиболее экономически целесообразного или подобрать диапазон необходимого изменения  $C$  и  $n$  для обеспечения оптимального режима при меняющихся условиях бурения.

5. Формулы позволяют также производить определение примерных (расчетных) абсолютных значений величины затрат на бурение 1 пог. м скважины для различных условий, что необходимо, например, для сравнения экономической эффективности различных способов бурения для данных конкретных условий, при решении вопроса об области применения вращательного бурения и т. д.

6. Выведенные закономерности могут быть использованы при проектировании систем автоматического регулирования режимов бурения.

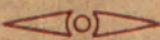
### ЛИТЕРАТУРА

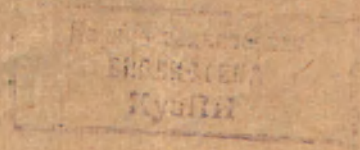
1. Элштейн Е. Ф. Износ твердых сплавов при трении по горным породам при колонковом разведочном бурении. Гостоптехиздат, 1952.
2. Федоров В. С. Научные основы режимов бурения. Гостоптехиздат, 1951.
3. Шрейнер Л. А. Физические основы механики горных пород. Гостоптехиздат, 1950.
4. Владиславлев В. С. К теории работы долота на забое. Буровые долота. Материалы Всесоюзного совещания нефтяников. Гостоптехиздат, 1955.

Рекомендована  
кафедрой горных машин  
и рудничного транспорта КГИ

Поступила в редакцию  
7 декабря 1959 г.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
  
ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ



# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

МИНИСТЕРСТВА ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

№ 12

*Горный журнал*

1960

## СОДЕРЖАНИЕ

А. Г. Фролов, С. И. Козловский. Комплексная механизация работ на поверхности шахт . . . . .	3
<b>Разработка месторождений полезных ископаемых</b>	
В. И. Тяжелов. Выбор рациональных схем экскавации при бестранспортной системе разработки для Черемховского месторождения . . . . .	15
И. С. Богословский. Еще раз о коротких шахтных полях . . . . .	25
А. М. Варшавский. Эксплуатация электрооборудования транспортно-отвальных мостов на карьерах Украины . . . . .	31
<b>Маркшейдерское дело</b>	
Д. А. Казаковский. Маркшейдерское дело на современном этапе . . . . .	39
В. А. Ростковский. О новых методах оценки точности измерений . . . . .	43
А. П. Легар. Исследование зависимости временного сопротивления грунта сжатно от объемного веса и влажности . . . . .	53
<b>Экономика и организация горной промышленности</b>	
Д. П. Родин. О понимании корреляции в горноэкономической литературе . . . . .	63
А. И. Богатырев. Влияние суточного режима работы на ритмичность производства . . . . .	67
<b>Проветривание шахт и рудников. Техника безопасности</b>	
В. И. Елгазин. О создании безопасной и гигиенической системы вентиляции ручных электросверл . . . . .	75
И. И. Медведев, М. А. Патрушев. Пути снижения утечек воздуха на Соликамском калийном руднике . . . . .	79
<b>Горное машиностроение. Горные машины и механизация</b>	
Ю. Н. Казак. Исследование диаграмм нагрузки на исполнительный орган выемочной машины при разрушении карагандинских углей . . . . .	83
Б. А. Катанов. Определение экономически целесообразного режима вращательного бурения . . . . .	91
О. Д. Алимов, И. Г. Басов, Н. С. Колодяжный. Электрический привод подъемного механизма манипулятора . . . . .	97
<b>Рудничный транспорт</b>	
П. М. Овсянников. К вопросу о продольной и поперечной загрузке вагонов . . . . .	101

## Электрификация и автоматизация горных работ

В. М. Качеровский, В. Л. Бенин. Определение параметров роторной цепи асинхронного двигателя при дроссельном управлении . . . . .	109
И. Н. Голомидов, М. Г. Пирушко, Э. С. Черныи. Электромашинная система управления сверхмощными экскаваторами . . . . .	115
С. А. Волотковский, В. Д. Фурсов. Автоматизация управления линиями ленточных конвейеров на рудных шахтах и карьерах . . . . .	117
В. Д. Белый, М. М. Федоров. Влияние материала колодок на конструкцию тормозной системы . . . . .	129
А. Г. Панасяиц. Практический метод расчета кузова шахтных скипов . . . . .	135
В. И. Кряжев. О кинетической энергии, теряемой с потоком воздуха при выходе из вентиляционной установки . . . . .	141

### Обогащение полезных ископаемых

Д. С. Емельянов, В. М. Назаренко, В. А. Кремер. Регуляторы флотации каменных углей . . . . .	149
В. А. Шебанов. О выборе режима флотации газовых углей . . . . .	155
Ф. П. Белаш, А. И. Андреева. Флотация гематита, маршита и магнетита жирными кислотами в различных средах . . . . .	165

### Хроника и научная информация

Н. С. Поляков. Работы Днепропетровского горного института по совершенствованию технологии и техники горной промышленности . . . . .	171
И. К. Арсланов. Тульский горный институт расширяется . . . . .	96

---

**Редакционная коллегия:** доц. *В. М. Арашкевич*,  
 доц. *П. В. Ваганов* (зам. ответственного редактора),  
 проф. *А. И. Веселов*, доц. *Г. И. Вилесов*,  
 проф. *С. А. Волотковский*, проф. *Л. В. Гладилин*,  
 проф. *Г. М. Еланчик*, доц. *И. Ф. Ефремов*,  
 доц. *О. А. Залесов* (зам. ответственного редактора),  
 доц. *К. В. Зибзиев*, проф. *П. Э. Зурков*,  
 проф. *П. И. Кокорин*, проф. *А. И. Ксенофонтова*,  
 доц. *И. П. Кузнецов*, доц. *П. И. Кутюхин*,  
 доц. *П. Н. Назаров*, доц. *Ю. С. Петров* (зам.  
 ответственного редактора), доц. *С. Д. Постнов*,  
 проф. *Г. П. Саковцев*, доц. *И. И. Русский*,  
 проф. *С. Г. Солопов*, проф. *А. О. Спиваксаский*,  
 проф. *А. Ф. Суханов*, проф. *А. В. Тспичев*,  
 проф. *А. Е. Трон*, проф. *С. А. Федоров*

**Ответственный редактор** доктор технических наук проф. *А. Е. Трон*