Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1985, т.105

УДК 622.243.061.64.084

ФОРМИРОВАНИЕ СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ АЛМАЗНОГО БУРЕНИЯ

А.В.САХАРОВ

Процесс бурения представляет собой результат двух совместных воздействий: осевого усилия на коронку и частоты вращения, проявляющийся в виде механической скорости бурения и скорости износа алмазной коронки.

Привод подачи стремится развить процесс внедрения каждого алмаза, а привод вращения, с одной стороны, как бы препятствует внедрению алмазов, смещая их по забою скважины, а с другой, помогает непрерывному процессу углубки, не позволяя алмазам зашламоваться и обеспечивая режим бурения на линейном участке характеристики $v_M = f(F)$, где F - осевая нагрузка. Нарушение оптимального отношения осевой нагрузки к частоте вращения может привести к процессу заполирования торца алмазной коронки или к увеличению непроизводительных затрат мощности на забое скважины.

Механическая скорость бурения как результат действия этих двух процессов несет в себе информацию о ситуации на забое скважины. Поэтому, чтобы судить, правильно ли выбран режим бурения, необходимо знать, как формируется величина механической скорости бурения. Разработка математических моделей механической скорости бурения, удельной работы разрушения горной породы, адекватно отражающих процесс разрушения при бурении, обеспечит возможность точного прогнозирования ресурса алмазной коронки в конкретных условиях и выбор оптимальных заданий по нагрузке и частоте вращения на его основе.

Для упрощения анализа процесса углубки рассмотрена работа импрегнированной алмазной коронки, у которой статические зависимости механической скорости бурения от управляющих параметров (осевой нагрузки и частоты вращения) не зависят от времени работы коронки. При рассмотрении процесса внедрения единичного алмаза принят упругохрупкий характер разрушения горной породы. В таком процессе разрушения можно выделить две стадии скорости $v_a(t)$ внедрения алмаза: стадию активного разрушения горной породы, сопровождающегося увеличением объема разрушения, и стадия пассивного разрушения горной породы (измельчения) без увеличения объема разрушения, сопровождающаяся процессом зашламования алмаза.

Динамику процессов, протекающих на контакте алмаза с забоем, отражает единичный акт разрушения. Зная параметры импульсов силы и скорости, можно выявить среднее установившееся значение механической скорости бурения. Процесс внедрения алмаза является следствием разрушения горной поро-

ды импульсом силы $F_a(t)$, который он передает на контакт. В установившемся режиме $F_a = pS_a$, где F_a – нагрузка на один алмаз; p – давление; S_a – площадь контакта алмаза с забоем.

Для импрегнированной коронки можно записать

$$p = F/(NS_a + S_м), \qquad (1)$$

где F – осевая нагрузка на коронку; N – число торцевых алмазов; $S_м$ – площадь торца матрицы.

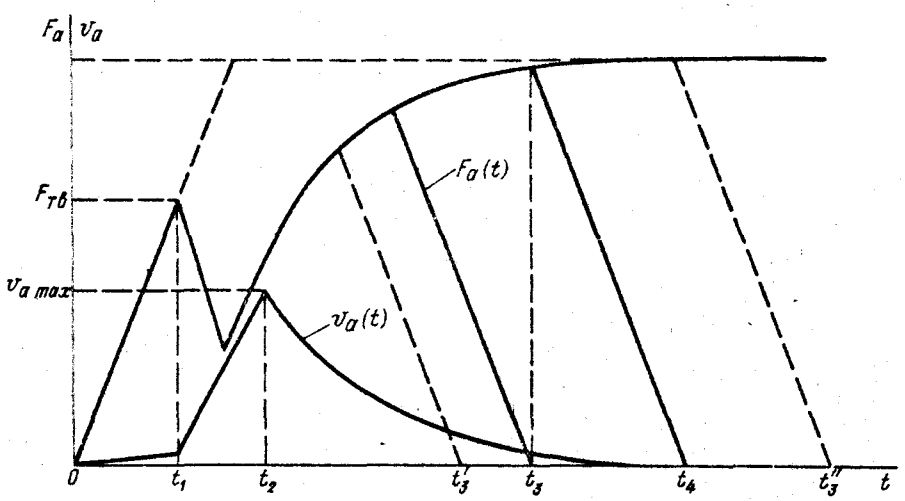
Удельная нагрузка

$$F_у = \frac{F}{N} = \frac{p(NS_a + S_м)}{N} = F_a + p\frac{S_м}{N}$$

или

$$F_a = F_у - pS_м/N. \qquad (2)$$

В момент времени $t = 0$ алмаз начинает надвигаться на неразрушенную площадку забоя (см. рисунок). За время t_1 усилие $F_a(t)$ достигает значения $F_{тб}$, соответствующего пределу твердости горной породы, что приводит к разрушению горной породы и началу процесса $v_a(t)$ углубки алмаза. Скорость углубки алмаза достигает максимального значения $v_{a\,max}$ в момент t_2. Усилие $F_a(t)$ с момента t_1 падает за счет снижения прочности частично разрушенной горной породы. Падение усилия $F_a(t)$ происходит до тех пор, пока увеличивается объем разрушенной породы. В момент, когда объем разрушенной породы стабилизируется и начинается процесс переизмельчения горной породы, алмаз начинает запламовываться и усилие $F_a(t)$ снова начинает расти, достигая в момент t_3 установившегося значения F_a. Задний фронт импульса силы $F_a(t)$ возникает в момент, когда алмаз начинает уходить из разрушенной зоны. Оптимальное значение частоты вращения соответствует мо-



Динамические характеристики единичного акта разрушения

менту t_3, когда $F_a(t)$ достигает установившегося значения. В этот момент заканчивается процесс углубки, и скорость внедрения падает до нуля. Увеличение частоты вращения приводит к преждевременному прерыванию импульса скорости $v_a(t)$ в момент t_3'. Снижение частоты вращения (момент t_3'') приводит к увеличению импульса силы, однако эффективное значение импульса скорости остается неизменным, что приводит к непроизводительному увеличению потребляемой мощности.

Увеличение осевой нагрузки F форсирует процесс нарастания удельного усилия и импульса скорости и его эффективного значения. При этом импульс скорости смещается в сторону уменьшения времени t_1 запаздывания. Это позволяет увеличить частоту вращения, не снижая эффективного значения импульса скорости $v_a(t)$.

Запишем результирующие параметры единичного акта внедрения алмаза в горную породу. Углубка алмаза

$$\ell=\int_0^{t_3} v_a(t)\,dt=\int_{t_1}^{t_2}\frac{v_{a\,max}}{t_2-t_1}\,(t-t_1)\,dt+\int_{t_2}^{t_3} v_{a\,max}\;e^{-b(t-t_2)}\,dt=$$

$$=v_{a\,max}\left\{\frac{t_2-t_1}{2}+\frac{1}{b}\left[1-e^{-b(t_3-t_2)}\right]\right\},$$

где b – декремент затухания.

Если число алмазов, расположенных по окружности, $N_{окр}$, то углубка за оборот

$$\ell_{об}=N_{окр}\,\ell=N_{окр}\,v_{a\,max}\left\{\frac{t_2-t_1}{2}+\frac{1}{b}\left[1-e^{-b(t_3-t_2)}\right]\right\},$$

а механическая скорость бурения

$$v_м=\frac{\ell_{об}}{T}=\ell_{об}\;n=N_{окр}\,n\,v_{a\,max}\left\{\frac{t_2-t_1}{2}+\frac{1}{b}\left[1-e^{-b(t_3-t_2)}\right]\right\}, \quad (3)$$

где T и n – период и частота вращения.

Так как $v_{a\,max}=k\,F_a\,/\,\sigma_{сж}S_a$ (здесь k – коэффициент пропорциональности; $\sigma_{сж}$ – предел прочности шламовых частиц), то с учетом уравнения (2)

$$v_{a\,max}=\frac{k}{\sigma_{сж}}\left(F_y-p\,\frac{S_м}{N}\right)=\frac{k}{S_a\,\sigma_{сж}N}\left(F-pS_м\right);$$

$$v_м=\frac{k\,N_{окр}\,(F-pS_м)\,n}{\sigma_{сж}NS_a}\left\{\frac{t_2-t_1}{2}+\frac{1}{b}\left[1-e^{-b(t_3-t_2)}\right]\right\}. \quad (4)$$

Запишем формулу (4) с учетом (I)

$$v_м=\frac{k\,N_{окр}\,F(S_{торц}-S_м)\,n}{\sigma_{сж}NS_{торц}S_a}\left\{\frac{t_2-t_1}{2}+\frac{1}{b}\left[1-e^{-b(t_3-t_2)}\right]\right\}=$$

$$= \frac{k N_{окр} S_a F n}{\sigma_{сж} S_{торц} S_a} \left\{ \frac{t_2 - t_1}{2} + \frac{1}{b} \left[1 - e^{-b(t_3 - t_2)} \right] \right\} =$$

$$= \frac{k k_1 F n}{\sigma_{сж}} \left\{ \frac{t_2 - t_1}{2} + \frac{1}{b} \left[1 - e^{-b(t_3 - t_2)} \right] \right\}, \qquad (5)$$

где $S_{торц} = (N S_a + S_м)$ – площадь торца коронки; $k_1 = N_{окр} / S_{торц}$.

Оценивая формулу (5), можно заметить, что на величину механической скорости бурения влияют прочность горной породы, технологический режим бурения и конструкция коронки. Два последних фактора следует выбирать так, чтобы в конкретной горной породе всегда было обеспечено максимальное значение механической скорости бурения.

Приняв время t_3 за время затухания импульса $v_a(t)$ до значения, равного $0{,}05\, v_{a\,max}$, можно определить для конкретной нагрузки максимальную частоту вращения. При известном диаметре пятна контакта алмаза и среднем радиусе r коронки частота вращения

$$n = d_a / 2\pi r\, t_3 = \sqrt{\frac{4 S_a}{\pi}} \Big/ 2\pi r\, t_3 . \qquad (6)$$

При такой частоте вращения удельная работа разрушения в единичном акте внедрения будет иметь минимальную величину, т.е. процесс бурения будет происходить с минимальными затратами мощности.

Практически момент t_3 соответствует моменту, когда при увеличении частоты вращения нарушается пропорциональная зависимость $v_{мех} = f(n)$ при $F = const$ и механическая скорость начинает выполаживаться.

Если позволяют условия эксплуатации, следует увеличить осевую нагрузку и затем снова увеличивать частоту вращения до тех пор, пока снова не начнется выполаживание механической скорости бурения.

Конструкция коронки должна обеспечивать увеличение конструктивного коэффициента k_1 и, в то же время, максимум эффективного значения импульса скорости $v_a(t)$. С этих позиций вопрос выбора оптимальных значений числа алмазов $N_{окр}$, расположенных по окружности коронки, и их величины является предметом дальнейших исследований с целью повышения эффективности процесса алмазного бурения.