Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLI, вып. 2, 1961 г.

О РАСХОДЕ МОЩНОСТИ ПРИ КОЛОНКОВОМ БУРЕНИИ

О. С. Головин

Бурение скважин сопровождается затратой определенного количества энергии, которая расходуется на преодоление трения в наземном оборудовании, на вращение колонны бурильных труб, разрушение породы на забое и трение бурового наконечника о породу.

В статье произведен анализ формул мощности и даны результаты проведенных экспериментальных исследований двух составляющих мощности: 1) на разрушение породы и трение бурового наконечника; 2) на вращение колонны бурильных труб.

Забойная мощность в зависимости от применяемых истирающих материалов вычисляется по следующим формулам.

1. При бурении твердыми сплавами используются формулы: Н. А. Сорокина [6], В. Ф. Беспяткина [3], И. А. Остроушко [12], Е. Ф. Эпштейна [19], Л. А. Шрейнера [18]. В дальнейшем эти формулы будут нумероваться соответственно (1), (2), (3), (4), (5). В общем виде они выражаются зависимостью

$$N_1 = f(\sigma h \beta z P_0 f_1 v), \qquad (1)-(5)$$

где N_1 — мощность, необходимая для разрушения породы и преодоления трения коронки о породу;
σ — показатель прочности породы;
h — глубина внедрения резца в породу;
β — угол заточки резца;
z — число резцов в коронке;
P_0 — осевая нагрузка на коронку;
f — коэффициент трения материала резцов о породу;
v — средняя окружная скорость коронки.

2. При дробовом бурении могут быть использованы формулы И. А. Остроушко [12] и В. Н. Молчанова [10].

3. При вращении колонны бурильных труб мощность расходуется на преодоление трения бурильных труб о промывочную жидкость и промывочной жидкости о стенки скважины, а также колонны штанг о стенки скважины. Для определения этой мощности имеется ряд эмпирических формул. В общем виде они выражаются зависимостью

$$N_2 = B\gamma_1 L d^{x_0} n^{y_0}, \qquad (6)$$

где N_2 — мощность на холостое вращение колонны бурильных труб;
γ — удельный вес промывочной жидкости;
B — опытный коэффициент;
L — глубина скважины;
d — диаметр бурильных труб;
n — число оборотов в минуту.

Показатели степени x_0 и y_0 в различных формулах находятся соответственно в пределах $1 \leqslant x_0 \leqslant 2$; $1 \leqslant y_0 \leqslant 3$.

Кроме указанных эмпирических формул имеются две формулы, полученные аналитическим путем [1].

Методика экспериментальных работ

Работы проводились в лабораторных и полевых условиях. В первом случае в лаборатории кафедры техники разведки Ленинградского горного института определялась мощность, идущая на разрушение породы и трение бурового наконечника. Установка была оборудована станком КА-2М-300 с трансмиссией со ступенчатыми шкивами и насосом М-100/30 с приводом от отдельных электродвигателей. Специальное приспособление на буровом станке регистрировало величину проходки с точностью $\pm 0{,}5$ *мм*. Для поддержания постоянного значения осевого давления станок был оборудован регулятором С. А. Волкова. Мощность измерялась по схеме Арона двумя ваттметрами, включенными в цепь электродвигателя станка. Для этого использовался комплект измерительных приборов КМП-10. Наряду с ваттметрами для более точного определения забойной мощности применялся тормоз Прони с динамометром, при помощи которого работа, производимая коронкой на забое, заменялась работой трения колодок тормоза о колонковую трубу. Точность измерения $\pm 0{,}1$ *кгм*.

Число оборотов горизонтального вала станка измерялось тахометром ИО-11. Величина проходки и затрата мощности фиксировались через определенные промежутки времени (5, 10, 15 *мин*). Условия проведения лабораторных исследований следующие:

Диаметр бурового наконечника, *мм* 65; 75; 85; 100; 115
Число оборотов шпинделя, *об/мин* 90, 125, 310
Нагрузка на коронку, *кг* . . . . . 100—800
Количество промывочной жидкости, *л/мин* . . . . . 10—80
Тип бурового наконечника — твердосплавные и дробовые коронки
Истирающий материал — резцы формы Г-53, чугунная и стальная дробь-сечка диаметром 2,5—3 *мм*
Способ питания дробью — разовое, вес порции дроби 300 — 500 *г*
Горные породы — крупнозернистый гранит, среднезернистый кварцевый диорит, мрамор, мелкозернистое габбро, габбро-диабаз

Из величин, характеризующих физико-механические свойства горной породы, были определены временное сопротивление породы одноосному сжатию и коэффициенты трения резцов о породу (для мрамора и диорита). Остальные параметры, необходимые для расчета мощности по формулам (1)—(5), были приняты в зависимости от $\sigma_{сж}$ или взяты из справочной литературы.

Экспериментальными работами в полевых условиях определялись затраты мощности в процессе бурения при холостом вращении штанг и в момент подъема инструмента. Работы велись при следующих условиях:

Глубина скважин 200—1100 *м*
Тип бурового наконечника — твердосплавные и дробовые коронки
Диаметр бурового наконечника 75; 92, 110 *мм*

Нагрузка на забой	500—1300 *кг*
Число оборотов шпинделя	65—480 *об/мин*
Количество промывочной жидкости	20—150 *л/мин*
Тип и диаметры бурильных труб	50; 63,5 *мм*, муфтово-замковое соединение
Тип станка	ЗИФ-650А; Б-3; XL
Способ питания	разовая засыпка
Вес порции дроби	300—500 *г*

Результаты экспериментальных работ

1. При бурении твердыми сплавами. Забойная мощность в зависимости от диаметра бурения и режимных параметров лежит в диапазонах 0,3—3 *квт*, что подтверждается исследованиями МГРИ [8]. Расчетные значения мощностей лежат примерно в тех же пределах, но различные формулы дают разное приближение к опытным данным. По формуле (1) при бурении мрамора значения мощности завышаются в 1,5—2 раза (рис. 1, *а, б*).

При бурении по диориту и мрамору незаточенными резцами расчетные значения мощности близки опытным, расхождение их не более 30% (рис. 1, *в, г*). Также завышенные результаты (до 150%) дает формула (2) В. Ф. Беспяткина (см. рис. 1, *а, б*).

Мощности, подсчитанные по формулам (3)—(5), во всех случаях почти совпадают друг с другом (разница не превышает 5%), но по сравнению с опытными данными они занижены в среднем на 30—50%.

Различие расчетных значений мощностей, вычисленных по формулам (3)—(5), объясняется различной характеристикой показателя прочности горной породы. В первом случае таким показателем является временное сопротивление породы сжатию, во втором — сопротивление породы скалыванию или сдвигу. Как известно, сопротивление сжатию в стесненных условиях (объемное сжатие) гораздо больше касательных напряжений [6], что и объясняет завышение мощности, найденной по формуле (1). То же относится и к твердым породам (в нашем случае диориту), но в силу весьма малой глубины внедрения резца мощность на разрушение будет

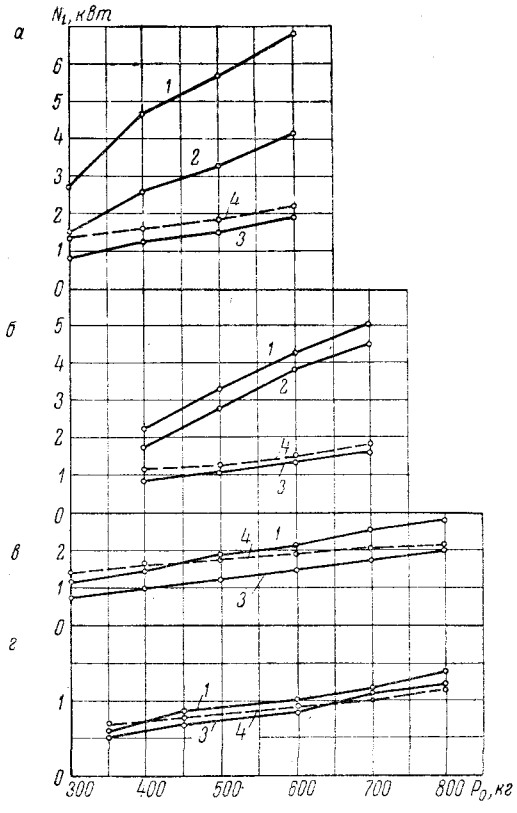


Рис. 1. Сравнение расчетных и опытных значений забойной мощности в зависимости от нагрузки на коронку при бурении по мрамору (310 *об/мин*) и диориту (125 *об/мин*):

а — диаметр коронки 100 *мм*, 12 резцов формы Г-53; *б* — диаметр коронки 75 *мм*, 6 резцов формы Г-53; *в* — диаметр коронки 85 *мм*, 8 резцов формы Г-53 незаточенных; *г* — диаметр коронки 85 *мм*, 14 резцов пластинчатых

Мощность по формулам:

1 — Н. А. Сорокина; *2* — В. Ф. Беспяткина; *3* — И. А. Остроушко, Е. Ф. Эпштейна, Л. А. Шрейнера, *4* — опытные значения мощности

также очень мала. Поэтому общую энергию на забое будет определять в основном работа трения, которая всеми указанными выше авторами определяется одинаково.

Завышение расчетного значения мощности по формуле (2) обусловлено, по-видимому, наличием в формуле составляющей, определяющей работу, которая идет на преодоление горизонтальной реакции, возникающей в результате осевого давления на резец. Резец, вероятно, производить этой работы не будет, так как под действием внешней осевой силы и возникающих при этом реактивных сил и сил трения он будет находиться в равновесии. Если на основании этих рассуждений из общей работы резца исключить работу на преодоление горизонтальной реакции, то полученные значения близки значениям, вычисленным по формулам (3)—(5).

В формулах (1)—(5) основным критерием, характеризующим физико-механические свойства горных пород, является временное сопротивление породы сжатию или скалыванию. Некоторые исследователи считают, что при разрушении породы главную роль играют нормальные растягивающие напряжения [14]. В то же время такие показатели прочности, как временное сопротивление сжатию, растяжению, скалыванию, для условий резания пород считаются некоторыми исследователями непригодными, поскольку даже в относительно однородных породах механические характеристики неодинаковы. Предлагается поэтому ввести энергетический показатель крепости — удельную энергию процесса разрушения [14].

При бурении резцовыми коронками небольшие изменения механических свойств горных пород не имеют значения, так как мощность на разрушение горной породы относительно мала. Однако и здесь для характеристики горных пород целесообразно ввести коэффициент крепости f, как это имеет место в горнодобывающей промышленности при определении нагрузок на исполнительные звенья врубовых машин, горных комбайнов, экскаваторов и т. д.

Некоторые исследователи [11] для определения параметров, характеризующих процесс бурения, дают эмпирические зависимости. Хотя найденная по ним мощность может дать большую точность, область применения их ограничена, поскольку опытные коэффициенты получены для небольшого числа горных пород.

Однако и по существующим формулам можно достаточно точно определить забойную мощность.

Исходя из данных эксперимента, формулу (1) целесообразно использовать при бурении твердых пород выше VII категории по ЕНВ 1953 г. Формулы (3)—(5) дают удовлетворительные результаты как в условиях бурения мрамора, так и диорита. Но они не в полной мере учитывают все сопротивления, встречаемые резцами (деформации смятия, трение на передней грани резца и др.). Поэтому для большого приближения к опытным данным нами в эти формулы введен опытный коэффициент, равный 1,41 *.

2. **При бурении дробью.** Как видно из табл. 1, мощность, подсчитанная по формуле И. А. Остроушко, значительно отличается от опытных данных (на 80—200%, а иногда и больше), главным образом, в сторону завышения. Отсутствие численных значений коэффициента трения не позволило использовать формулу В. Н. Молчанова для сравнения расчетных величин мощности с фактическими.

---

* При определении коэффициента использовались также экспериментальные данные Ф. А. Шамшева [4].

Таблица 1

Порода	$\sigma_{сж}$, кг/см²	Диаметр дробовой коронки, мм	Число оборотов коронки, об/мин	Давление на коронку, кг	Экспериментальная мощность, квт	Расчетные значения мощности, квт		Расхождение с экспериментальными данными, %	
						по формуле И. А. Остроушко	по формуле (7)	формулы И. А. Остроушко	формулы (7)
Крупнозернистый гранит	1060	75	90	360	0,67	0,38	0,56	—75	—20
		75	310	300	1,63	1,31	1,58	—24	—3
Габбро	1730	65	90	300	0,44	0,83	0,40	+87	—10
		75	90	400	0,54	1,08	0,58	+100	+7
		85	125	400	0,48	2,04	0,96	+325	+100
Среднезернистое габбро	2350	85	90	400	0,63	1,70	0,65	+170	+3
Кварцевое габбро	2430	75	125	360	0,65	1,45	0,57	+125	—14
		75	310	325	1,06	3,60	1,28	+240	+21
		85	310	400	1,95	4,9	1,9	+150	—3

Формула И. А. Остроушко содержит коэффициенты μ и k_0 [12], выбранные без достаточного обоснования. Величину одного из этих коэффициентов, определяющих количество работоспособной дроби под торцом коронки и обусловливающих в конечном итоге забойную мощность, по нашим данным, следует брать в два раза меньше. Необходимо учесть также и относительную громоздкость в вычислении мощности.

В то же время можно найти такую зависимость для определения мощности, в которой не фигурирует такая неопределенная величина, как число работоспособных дробинок. Для этого удобна формула, определяющая усилия при перекатывании шарика-дробинки при первоначальном допущении, что разрушение производится целой дробью. Указанное усилие

$$q_0 = \frac{2p_0 f_к}{d_0},$$

где p_0 — сила, придавливающая дробинку к забою, *кг*;
$f_к$ — коэффициент трения качения;
d_0 — диаметр дроби, *см*.
Число активно работающих дробинок

$$i = \frac{P_0}{p_0},$$

где P_0 — осевое давление на забой, *кг*.

Общее окружное усилие, необходимое для перемещения целой дроби,

$$Q = q_0 i = \frac{2P_0 f_к}{d_0}.$$

Однако свободному перемещению дробинок будут мешать как частицы бурового шлама, своевременно не вынесенного промывочной жидкостью, так и колотая дробь. Частицы колотой дроби будут одновременно производить полезную работу по разрушению породы (скалыванию), царапанию [12] и работу трения скольжения. Кроме того, сама коронка будет частично скользить по дроби. Для преодоления всех этих

сопротивлений к коронке необходимо приложить некоторое добавочное усилие, величина которого зависит от степени шламообразования, физико-механических свойств горных пород, качества коронки, механической прочности дроби, режимных параметров. Поэтому последнее выражение представим в виде

$$Q = A\frac{2P_0}{d_0},$$

где $A = a_1 f_к$;

a_1 — коэффициент, учитывающий все добавочные сопротивления.

Численные значения коэффициента A, найденные нами методом наименьших квадратов при обработке экспериментальных данных, для пород различной крепости применительно к бурению чугунной дробью и коронками, изготовленными из стали 3, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Порода	$\sigma_{сж}$, *кг/см²*	A
Гранит крупнозернистый . .	1060	$(6{,}2-6{,}5)\cdot10^{-2}$
Среднезернистый кварцевый диорит	1750	$(5{,}9-6{,}0)\cdot10^{-2}$
Мелкозернистое габбро . . .	2350	$5{,}6\cdot10^{-2}$
Габбро-диабаз	2430	$4{,}5\cdot10^{-2}$

При одинаковых режимных параметрах с увеличением крепости породы мощность на ее разрушение уменьшается. Это, по-видимому, объясняется уменьшением коэффициента трения качения и тем обстоятельством, что основную работу разрушения выполняет целая дробь, а колотая, если и производит полезную работу, то весьма незначительную и к тому же быстро истирается.

Таким образом, мощность на дробовое бурение

$$N_1 = A\frac{P_0 v}{51 d_0},\ квт. \qquad (7)$$

В табл. 1 приведены значения мощности, вычисленные по формуле (7). Расхождения этих значений с опытными в большинстве случаев не превышают 25%, следовательно, формула (7) вполне приемлема для практики.

Замеры мощности и фиксирование скорости бурения подтверждают положение о том, что максимальная скорость бурения наблюдается тогда, когда на забое имеется смесь целой и колотой дроби. Этому моменту, как правило, соответствует увеличение расхода мощности, т. е. кривая мощности до некоторой степени повторяет кривую скорости (рис. 2).

Сопоставление величин мощности, полученных при бурении чугунной дробью, смесью и стальной сечкой (опыты проведены студентом Б. Лузиным) при одних и тех же режимных параметрах, показывают, что максимального значения мощность достигает при бурении чугунной дробью, минимального — стальной сечкой. Поэтому при пользовании формулой (7) в последних двух случаях величину коэффициента A следовало бы уменьшить. Однако, учитывая тенденцию стальной дроби к более интенсивному разбуриванию стенок скважины по сравнению с чугунной дробью, значение коэффициента A можно оставить прежним.

3. **Мощность на вращение колонны бурильных труб.** Бурильные трубы работают в чрезвычайно разнообразных условиях, поэтому ни одна из существующих формул полностью не соответствует данным экспериментов (рис. 3). Можно говорить лишь о приближении расчетных значений, вычисленных по некоторым формулам, к опытным данным в определенных интервалах глубин и скоростей вращения труб. Так, для труб диаметром 50 *мм* более или менее удовлетворительные результаты дает формула В. С. Федорова в диапазоне скоростей 150—350 *об/мин* и в интервале глубин 500—1000 *м*.

Очень распространенная формула Шумилова—Минина, уточненная М. Г. Васильевым, в 4—5 раз завышает значение мощности [2]. Она может быть использована лишь при введении понижающего коэффициента, ориентировочно равного 0,2—0,25. Остальные формулы сильно завышают (например, формула ГЭЭИ) или весьма занижают значение мощности (формула Ю. А. Аменздде и Б. А. Азимова [1]). Формула Б. М. Плюща [15] при небольших скоростях (до 70—80 *об/мин*) дает удовлетворительные расчетные значения.

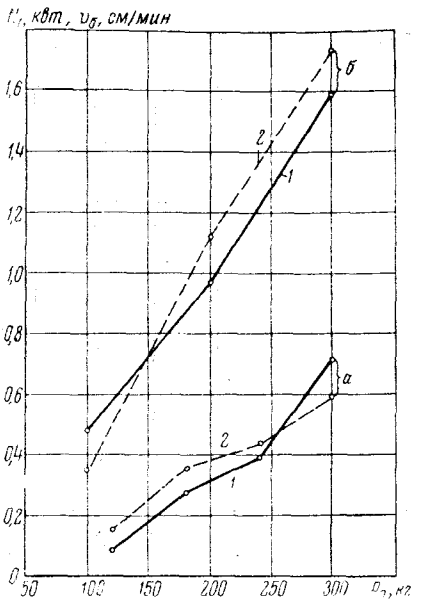


Рис. 2. Зависимость мощности и скорости бурения от давления при бурении дробью крупнозернистого гранита при числе оборотов коронки (диаметр коронки 75 *мм*);
а — 90 *об/мин*; *б* — 310 *об/мин*
1 — мощность; *2* — скорость

В указанных формулах мощность находится в прямо пропорциональной зависимости от глубины скважины. Однако работы Московского геологоразведочного института показали, что имеет место степенная зависимость мощности от глубины, причем показатель степени меньше единицы [8]. Поэтому предложенную МГРИ (А. Н. Кирсановым и В. П. Зиненко) эмпирическую формулу можно считать приемлемой для указанных авторами условий (диаметры скважин и бурильных труб соответственно 92 и 50 *мм*).

В процессе бурения для вращения колонны бурильных труб требуется добавочная мощность, необходимая для преодоления трения о стенки скважины, которое обусловлено сжатием нижней части колонны. Величину указанной мощности можно определить на основании следующих соображений.

Как известно, в потере устойчивости колонны центробежные силы играют главную роль [17]. Допустим, что отдельная полуволна в сжатой части колонны в результате действия центробежных сил получила первоначальное искривление, ограниченное стенками скважины и выраженное уравнением

$$y = f_0 \sin \frac{\pi x}{l},$$

где f_0 — максимальная стрела прогиба.

Из теории устойчивости упругих систем известно, что величина прогиба сжатого стержня, нагруженного осевой силой P_0 и имеющего первоначальное искривление, выражается уравнением

$$y_1 = \frac{1}{1-a} f_0 \sin \frac{\pi x}{l},$$

где $a = \frac{P_0}{P_{кр}}$;

$P_{кр}$ — критическая Эйлерова сила.

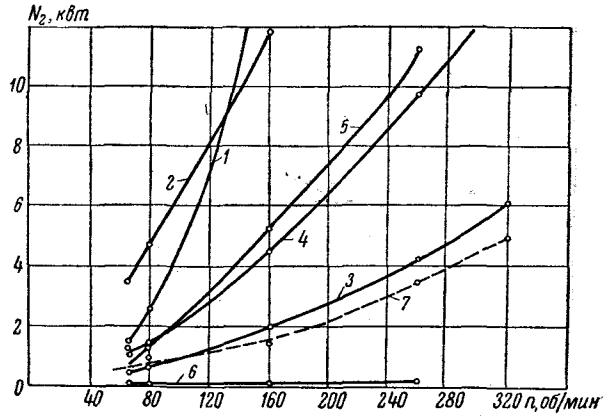


Рис. 3. Сравнение расчетных и фактических значений потери мощности в зависимости от числа оборотов колонны при холостом вращении (глубина скважины 500 *м*, диаметр штанг 50 *мм*).

По формулам:

1 — ГЭЭИ; *2* — П. П. Шумилова; *3* — В. С. Федорова; *4* — Б. М. Плюща; *5* — Г. М. Гевиняна; *6* — Ю. А. Аменэаде и Б. А. Азимова; *7* — опытные значения мощности

Максимальный прогиб будет при $x = \frac{l}{2}$, т. е.

$$y_{max} = f_1 = \frac{1}{1-a} f_0.$$

Так как прогиб полуволны ограничен стенками скважины, то избыточная величина прогиба $f_1 - f_0$ должна быть компенсирована некоторой поперечной силой. Это и будет сила, с которой вершина полуволны упирается в стенку скважины. Для ее определения В. С. Федоров и Л. Е. Симонянц предлагают представить изогнутую полуволну как балку, лежащую на двух опорах и нагруженную поперечной силой [16]. Тогда величина этой силы, а следовательно, сила нажима гребня полуволны на стенки скважины для наших условий будет

$$R = \frac{48EI}{l^3}(f_1 - f_0) = \frac{48EI}{l^3} f_0 \left(\frac{1}{1 - \frac{P_0}{P_{кр}}} - 1 \right),$$

где E — модуль упругости, *кг/см*^{2};

I — экваториальный момент инерции, *см*^{4};

$$f_0 = \frac{D-d}{2}, \text{ см};$$

P_0 — осевая сила, действующая на полуволну, *кг*;

D — диаметр скважины, *см*;

d — наружный диаметр бурильных труб, *см*.

Значение P_0 для каждой полуволны зависит от длин, а следовательно, и веса расположенных выше полуволн.

Обозначим через l_0 длину полуволны в нейтральной части, K — коэффициент относительного уменьшения длины полуволны (примем для простоты для всей сжатой части колонны K одинаковым). Тогда, выражая через l_0 и K длину каждой из расположенных ниже полуволн и находя для них величины силы R, получим суммарную силу, действующую на стенки скважины,

$$R_{\text{с}} = C \frac{\frac{1-K^{m+1}}{1-K}}{1-a\frac{1-K^{m+1}}{1-K}K^{2m}} \frac{m}{2K^m}, \qquad (8)$$

где

$$C = \frac{48EI}{l_0^3} f_0 a = 4{,}9 f_0 q;$$

m — число полуволн сжатой части колонны;

$$a = \frac{P_0}{P_{\text{кр}}} = \frac{l_0 q}{\frac{\pi^2 EI}{l_0^2}} = \frac{l_0^3 q}{\pi^2 EI};$$

q — вес 1 *пог. см* бурильных труб, *кг*.

При бурении с дополнительной нагрузкой на забой за величину q следует принимать отношение осевой нагрузки к длине колонны.

Число полуволн, по определению Л. Е. Симонянца [13], приближенно можно найти по формуле

$$m = \frac{2L_{\text{сж}}}{l_0 + l_{\min}},$$

а величину коэффициента по формуле

$$K = 1 - \frac{l_0^2 - l_{\min}^2}{2L_{\text{сж}}} \frac{1}{l_0},$$

где $L_{\text{сж}}$ — длина сжатой части колонны, *м*;

$l_{\min}$ — минимальная длина полуволны, *м*.

При пользовании формулой (8) в расчет необходимо принимать лишь те полуволны, которые несут нагрузку меньше критических. Определение такого количества полуволн приводит к решению кубического уравнения

$$K(K^m)^3 - (K^m)^2 + \frac{1-K}{a} = 0.$$

При положительном дискриминанте вещественный корень

$$m = \frac{\lg\left[\sqrt[3]{\left(\frac{1}{27K^3} - \frac{1-K}{2aK}\right) + \sqrt{\left(\frac{1-K}{2aK} - \frac{1}{27K^3}\right)^2 - \frac{1}{729K^6}}} + \sqrt[3]{\left(\frac{1}{27K^3} - \frac{1-K}{2aK}\right) - \sqrt{\left(\frac{1}{27K^3} - \frac{1-K}{2aK}\right)^2 - \frac{1}{729K^6}}}\right]}{\lg K}.$$

При числе оборотов колонны более 140—150 в минуту значение K близко к единице. В этом случае R_Σ можно представить

$$R_\Sigma = 4{,}9 f_0 q \left[-\frac{m}{a} - \frac{1}{a^2} \ln (1 - am) \right]. \qquad (9)$$

Если в выражение (9) подставить значения a и m, используя известные в буровой механике формулы [6], то

$$R_\Sigma = 4{,}9 f_0 q \left[-\frac{P_0}{q} \frac{n^2}{9 \cdot 10^5} - \right.$$

$$\left. - \frac{n^3}{2 \cdot 10^5} \sqrt{\frac{I}{q}} \ln \left(1 - \frac{0{,}216}{n} \frac{P_0}{q \sqrt{\frac{I}{q}}} \right) \right], \qquad (9')$$

где n — число оборотов шпинделя станка, *об/мин*.

Эта формула применима при

$$q \sqrt{\frac{I}{q}} > 0{,}216 \frac{P_0}{n}.$$

В случае невыполнения этого неравенства в выражении (9) количество полуволн должно быть ограничено величиной

$$m < \frac{1}{a}.$$

Если принять, что сжатая часть колонны вращается вокруг собственной оси, то величина дополнительной мощности

$$N_{доп} = \frac{R_\Sigma f_1' v_к}{102}, \ квт, \qquad (10)$$

где f_1' — коэффициент трения стали о породу (может быть принят равным 0,1 — 0,2);

$v_к$ — окружная скорость вращения колонны бурильных труб, *м/сек*.

В качестве примера практического использования формул (9), (9'), (10) в табл. 3 приведены расчетные значения $N_{доп}$ и опытные, полученные как разность мощностей на вращение опертой на шаровую пяту колонны и холостое вращение колонны бурильных труб диаметром 50 *мм* в обсаженной скважине.

Таблица 3

Осевая нагрузка	Мощность при n = 160 *об/мин*, *квт*		Мощность при n = 330 *об/мин*, *квт*	
	расчетная	фактическая	асчетная	фактическая
500	0,13	0,1—0,24	0,24	0,24—0,36
700	0,18	0,12—0,30	0,42	0,24—0,56
900	0,21	0,42—0,72	0,60	0,48—0,60
1100	0,43	0,42—0,78	0,88	0,54—0,66
1300	0,78	0,72—1,08	1,22	0,54—0,78

Примечание. Глубина скважины 63 *м*; диаметр скважины 110 *мм*.

Реальная работа колонны бурильных труб, конечно, сильно отличается от рассмотренной схемы благодаря развитию продольных и крутильных колебаний и вибраций, являющихся следствием совпадения периода крутильных колебаний с периодом возмущающей силы. Влияние этих факторов на величину расхода мощности следует выяснить в лабораторных условиях; в полевых условиях это сделать трудно, хотя уже создан прибор для одновременного учета этих явлений [5].

В табл. 4 приведено сравнение некоторых расчетных значений мощности по формулам (1)—(5), (7) с фактическими данными (с учетом потерь мощности в станке), полученными в процессе бурения скважин в условиях Донбасса и Челябинского угольного бассейна. Как следует из данных таблицы, указанные формулы могут быть использованы для ориентировочной оценки мощности, потребляемой в процессе бурения, применительно к существующим режимам бурения.

Таблица 4

Проходимые породы (в момент замера мощности)	Глубина скважины, *м*	Диаметр скважины, *мм*	Число оборотов шпинделя, *об/мин*	Давление на забой, *кг*	Мощность, *квт*	
					фактическая	расчетная (без потерь в поверхностном оборудовании)
Известняк	470	92	65	800	3,0—4,5	2,9
Глинистый сланец . . .	480	92	260	800	10,8—13,0	9,9
Песчаник	520—540	75	160	500—600	5,0—5,7	4,5
Алевролит[1]	436	92	200	1400	6,5	8,7
Глинистый сланец, известняк[2]	1080—1100	92	140	700	7,0—8,5	5,0

[1] С применением тяжелого низа весом 440 *кг*.
[2] С применением тяжелого низа весом 300 *кг*.

Заключение

1. Затраты мощности на отдельные элементы процесса бурения (разрушение породы и трение, холостое вращение бурильных труб, вращение сжатой части колонны) достаточно точно можно определить по приведенным и существующим формулам с учетом рекомендованных поправок.

2. Работы, проведенные кафедрой техники разведки Ленинградского горного института, показали, что при существующем оборудовании и применяемой технологии мощность на процесс бурения скважин глубиной до 1000 *м* не превышает 20—25 *квт*.

3. Работы по исследованию расхода мощности следует продолжить при бескерновом и алмазном способах бурения. То же относится к наклонному и наклонно направленному бурению. Необходимо более детально выяснить влияние тяжелого низа на расход мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амензаде Ю. А. и Азимов Б. А. О методике определения мощности, затрачиваемой на холостое вращение бурильной колонны. «Азербайджанское нефтяное хоз-во», 1948, № 9.

2. Белякова А. С. и Варшавский Г. Е. О мощностях, расходуемых на вращение инструмента при бурении скважин малого диаметра. «Разведка и охрана недр», 1954, № 5.

3. Беспяткин В. Ф. К вопросу об определении мощности, затрачиваемой на бурение колонковым способом. «Разведка недр», 1937, № 5.
4. Боровский Е. В. и Шамшев Ф. А. Изучение технологического процесса бурения. Тр. ЦНИГРИ, 1937, вып. 95.
5. Владиславлев В. С. Разрушение пород при бурении скважин. Гостоптехиздат, 1958.
6. Воздвиженский Б. И. и Васильев М. Г. Буровая механика. Госгеотехиздат, 1954.
7. Динник А. И. Продольный изгиб. Кручение. Изд-во АН СССР, 1955.
8. Кирсанов А. Н. и Зиненко В. П. Новые данные о расходе мощности при колонковом бурении. Бюлл. научно-технич. информации МГ и ОН СССР, 1958, № 3(15).
9. Логунцов Б. М. Определение усилия при резании горных пород. Сб. «Горные машины». Углетехиздат, 1958.
10. Молчанов В. Н. Некоторые вопросы технологии дробового бурения. Автореферат канд. диссертации, 1956.
11. Покровский Г. Н. Основные закономерности при вращательном бурении шпуров с постоянным усилием подачи. Тр. горно-геологич. ин-та Западно-Сибирского филиала АН СССР, 1957, вып. 19.
12. Остроушко И. А. Разрушение горных пород при бурении. Госгеолиздат, 1952.
13. Симонянц Л. Е. Изучение упругой устойчивости свободно вращающихся длинных стержней. Тр. ГРОЗНИИ, 1955, № 15.
14. Топчиев А. В., Любимов Б. Н. Основные экспериментальные и теоретические закономерности процесса резания углей. Сб. «Горные машины». Углетехиздат, 1958.
15. Федоров В. С. Научные основы режимов бурения. Гостоптехиздат, 1951.
16. Федоров В. С. и Симонянц Л. Е. К вопросу о вертикальных перемещениях шарошечных долот при бурении. Тр. ГРОЗНИИ, 1953, № 11.
17. Шищенко С. И. и Саркисов Г. М. Бурильные трубы. Математическая теория их работы и экспериментальные исследования их материалов. Тр. АзНИИ, 1933, вып. XIX.
18. Шрейнер Л. А. Физические основы механики горных пород. Гостоптехиздат, 1950.
19. Эпштейн Е. Ф. Теория бурения — резания горных пород твердыми сплавами. ГОНТИ, 1939.