Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXVI, вып. 1, 1958 г.

О ПОТЕРЯХ МОЩНОСТИ В ПОВЕРХНОСТНОМ ОБОРУДОВАНИИ АГРЕГАТОВ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ

О. С. ГОЛОВИН

Колонковое бурение нашло широкое применение в геологоразведочном деле и горной промышленности. Парк станков колонкового бурения пополняется новыми марками. Имеются агрегаты для бурения в самых различных геологических условиях и самых различных глубин скважин (от 50—100 до 1000—1500 *м* и выше).

Однако, несмотря на большой объем буровых работ и их длительное применение, вопросам привода буровых установок уделялось очень мало внимания. В предлагаемой статье рассматривается часть общего вопроса о мощности, необходимой для ведения процесса бурения скважин.

Известно, что в процессе проходки буровой скважины, энергия, развиваемая двигателем, теряется в поверхностном оборудовании, расходуется на вращение колонны бурильных труб, разрушение горной породы на забое и трение бурового наконечника, на осуществление циркуляции промывочной жидкости по штангам и скважине, а также на процесс спуско-подъемных операций.

Так как спуско-подъемные операции являются последовательным процессом (ведущимся вне процесса бурения), то и мощность, необходимая для осуществления этой операции, определяется отдельно. Потери мощности в поверхностном оборудовании зависят от многих факторов, из которых важнейшими являются скорость перемещения подвижных частей механизма, общее состояние механизма, температура и характер смазки, время работы, т. е.

$$N_1 = kf(n,\ c^\circ,\ t), \tag{1}$$

где N_1 — потеря мощности в поверхностном оборудовании;

k — опытный коэффициент, значение которого для разных типов бурового оборудования различно;

n — число оборотов исполнительного звена механизма.

Естественно, что в одной теоретической формуле учесть все эти явления затруднительно. Поэтому потери мощности в этом случае обычно определяются по экспериментальным формулам. Этим вопросом в свое время занимались ряд научно-исследовательских организаций, главным образом нефтяной промышленности (ГЭЭИ, ГРОЗнии, Азэлектропром, Энергетический институт им. И. Г. Есьмина АН АзССР и др.). В результате был получен ряд экспериментальных формул применительно

к установкам роторного бурения. Общий вид формул можно выразить зависимостью

$$N_1 = kn^x, \tag{2}$$

где x — показатель степени при n.

Численное значение показателя степени x находится в пределах 1—2, т. е. $1 \leqslant x \leqslant 2$ и, по мнению некоторых авторов [6], зависит от состояния поверхностного оборудования. Если оборудование исправно, детали тщательно пригнаны, то показатель степени равен 1, т. е. затрачиваемая мощность пропорциональна числу оборотов. При плохом состоянии оборудования (наличие люфтов, эксцентриситетов и т. п.) вращающиеся части механизма в результате действия центробежных сил касаются крышек и кожухов, поглощая при этом дополнительную энергию [6]. В последнем случае x будет больше единицы (в формуле Б. М. Плюща и в формуле Мирзбекова $x = 1{,}5$; в формуле П. П. Шумилова $x = 1{,}33$, в формуле В. С. Федорова $x = 2$ [6].

Как указано, опытные коэффициенты k были выведены для роторных установок, поэтому они (как и формулы в целом), естественно, не пригодны для агрегатов колонкового бурения. Между тем в отношении потерь мощностей в агрегатах колонкового бурения в литературе почти нет никаких указаний.

Для выяснения абсолютных значений мощности, необходимой для привода поверхностного оборудования в колонковом бурении, а также установления закономерности изменения мощности с изменением числа оборотов исполнительного звена механизма, нами был проведен ряд экспериментальных работ. При этом были исследованы и другие составляющие мощности, идущей на процесс бурения.

Опытные работы проводились как в полевых, так и лабораторных условиях. Полевые работы были проведены в Серговской ГРП треста Ворошиловградуглегеология МУП УССР летом 1955 г., а лабораторные — в лаборатории кафедры техники разведки Ленинградского горного института. В табл. 1 приведены значения потерь мощности для некоторых типов станков и насосов, которые удалось установить в результате экспериментальных работ.

Для определения показателя степени при n для каждого типа механизма воспользуемся методом наименьших квадратов. Потерю мощности в механизме выразим, как и прежде, через функцию числа оборотов. При наличии i скоростей можно получить столько же условных уравнений

$$\left.\begin{aligned} N_1 &= kn_1^x \\ N_2 &= kn_2^x \\ &\cdots \\ N_i &= kn_i^x \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Приведем эти уравнения к линейным

$$\left.\begin{aligned} \lg N_1 &= \lg k + x \lg n_1 \\ \lg N_2 &= \lg k + x \lg n_2 \\ &\cdots \\ \lg N_i &= \lg k + x \lg n_i \end{aligned}\right\}, \tag{4}$$

где неизвестны k и x.

Таблица 1

Механизм	Число об/мин	Полная мощность по ваттметру, *вт*	Мощность, потребляемая электродвигателем, *вт*	Потеря мощности в поверхностном оборудовании, *вт*
Станок ЗИВ-75	140	900—1000	660	240—340
	280	1100—1130	660	440—470
	560	1450—1520	660	790—860
Станок КА-2М-300	130	900—960	500	400—460
	315	1200—1320	600	600—720
Станок КАМ-500	68	1200—1320	780	420—540
	112	1440—1500	780	660—720
	190	1680—1740	780	900—960
Станок Б-3 (БС-1200)	70	1300—1440	700	600—740
	140	1520—1590	700	820—890
	280	1800—2160	700	1100—1460
Станок XL	65	1300	700	600
	130	2150	700	1450
	260	3000	700	2300
Насос ЗИФ-Р 200/40 (KSP)	86	1440—1800	700	740—1100
Насос М-100/30	71	810—1050	600	210—450

Применяя указанный способ (наименьших квадратов), приходим к системе двух нормальных уравнений с двумя неизвестными

$$\left.\begin{aligned} i\lg k + x\sum_1^i \lg n_i - \sum_1^i \lg N_i = 0, \\ \lg k\sum_1^i (\lg n_i)^2 + x\sum_1^i (\lg n_i)^2 - \sum_1^i (\lg n_i \lg N_i) = 0, \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

где i — число скоростей станка.

Решая эту систему относительно x, получаем

$$x = -\frac{i\sum_1^i (\lg n_i \lg N_i) - \sum_1^i \lg N_i \sum_1^i \lg n_i}{i\sum_1^i (\lg n_i)^2 - \left(\sum_1^i \lg n_i\right)^2}. \qquad (6)$$

В результате подсчета получены численные значения x, сведенные в табл. 2. Показатель степени, как видно из таблицы, во всех случаях

Таблица 2

Характеристика	Тип механизма						
	Станок КА-2М-300	Станок ЗИВ-75	Станок КАМ-500	Станок Б-3 (БС-1200)	Станок XL	Насос ЗИФ-Р 200/40 (KSP)	Насос М 100/30
x	0,46—0,51	0,61—0,86	0,57—0,77	0,78—0,88	0,95		
k	(9,06—11,97)$\times 10^{-3}$	(6,41—7,46)$\times 10^{-3}$	(18,1—20,84)$\times 10^{-3}$	(19,28—23,5)$\times 10^{-3}$	33,27 $\times 10^{-3}$	(26,2—39)$\times 10^{-3}$	(9—18)$\times 10^{-3}$

меньше единицы. Если бы процесс протекал совершенно идеально, то, по-видимому, с увеличением числа оборотов мощность пропорционально увеличивалась бы, так как энергия расходуется на преодоление трения между двигающимися частями механизма, а работа трения пропорциональна пути, т. е. числу оборотов. Согласно же нашим исследованиям, мощность растет медленнее, чем число оборотов, что объясняется двумя причинами.

1. Способом изменения числа оборотов. Число оборотов станка изменяется при помощи коробки скоростей. Это приводит к тому, что изменение числа оборотов шпинделя станка не влечет за собой изменения скорости вращения ведущего звена станка (приводного шкива, фрикционной муфты, первичных валов и т. д.), т. е. некоторые звенья механизма вращаются с постоянной скоростью.

2. Изменением коэффициента трения при изменении скорости движения отдельных элементов станка.

Ряд исследований в области теории трения показал, что коэффициент трения сам по себе величина непостоянная, зависящая от многих факторов, уменьшается с увеличением скорости движения трущихся поверхностей [2]. Следствием такого положения является относительное уменьшение силы трения, а следовательно, и энергии для преодоления этой силы трения при увеличении числа оборотов.

Таким образом, показатель степени n колеблется в пределах 0,6—0,9. Поэтому без особой погрешности можно принять в среднем $x = 0{,}75$.

Тогда

$$N_1 = k\sqrt[4]{n^3}\ квт. \tag{7}$$

Значение опытного коэффициента k можно найти из выражения

$$\lg k = \frac{\sum_1^i \lg N_i - 0{,}75 \sum_1^i \lg n_i}{i}, \tag{8}$$

а численные значения k приведены в табл. 2.

Сравнение численных значений мощностей, полученных по формуле (7), со значениями, полученными экспериментально, (табл. 3), показывает, что максимальные расхождения составляют 21% в двух случаях, а в основном не превышают 12%. Это вполне допустимо для практических расчетов.

Необходимо остановиться на следующем явлении. Мощность, потребная для приведения в действие поверхностного оборудования, работающего с нагрузкой, будет больше, чем мощность, необходимая для приведения в действие того же оборудования, работающего вхолостую. По-видимому, сила трения, зависящая от нормального давления на двигающиеся элементы механизма, в первом случае будет больше, поскольку оборудование находится под нагрузкой. Для преодоления этих сил трения, естественно, нужно затратить большую работу. Для проверки сказанного, в лабораторных условиях станок КА-2М-300 нагружался постепенно и полезная величина мощности определялась по крутящему моменту на шпинделе станка, значение которого было точно известно. Табл. 4 дает представление о характере изменения мощности N_1 от общей суммарной нагрузки на станок.

Проверить это положение для других типов станков не представилось возможности, поэтому выводить какую-либо общую закономерность нет оснований. Между тем в формулу (7) необходимо ввести поправочный коэффициент β.

Для учета этого фактора в качестве самого первого приближения можно рекомендовать $\beta = 1{,}5—2$, тогда формула (7) будет иметь вид

$$N_1 = \beta k \sqrt[4]{n^3} \ квт.$$

Таблица 3

Наименование механизма	Число об/мин.	$N_{1_э}$, найденное опытным путем, *вт*	$N_{1_т}$ подсчитанное по формуле (7), *вт*	Расхождение $\left(1 - \frac{N_{1_э}}{N_{1_т}}\right) 100\%$
Станок ЗИВ-75	140 280 560	240—340 440—470 790—860	260—304 440—515 740—860	8—11,3 0—9 7—0
Станок КА-2М-300	130 315	400—460 600—720	350—460 680—810	12—0 11—12
Станок КАМ-500	68 112 190	420—540 660—720 900—960	430—500 625—720 925—1080	2—7 5—0 3—11
Станок Б-3 (БС-1200)	70 140 280	600—740 820—890 1100—1460	470—570 790—950 1320—1620	21—23 4—6 10—17
Станок XL (ЗИФ-1200А)	65 130 260	600 1450 2300	760 1280 2160	21 11 6
Насос ЗИФ-Р 200/40 (KSP)	86	740—1100	740—1100	—
Насос М-100/30	71	210—450	210—450	

Таблица 4

Число оборотов шпинделя в 1 мин.	Общая мощность, *вт*	Крутящий момент на шпинделе, *кгм*	Полезная мощность, *вт*	Потери мощности в электродвигателе, *вт*	Потери мощности в станке, *вт*
314	1440	0	0	790	650
312	2000	1,5	480	800	720
310	2500	3,0	950	830	720
308	3000	4,0	1260	870	870
307	3500	5,25	1650	870	980
305	4000	6,25	1970	900	1130
302	4500	7,25	2260	950	1290
300	5000	8,5	2700	1000	1300

В заключение отметим, что найденные для станков Б-3 и XL, а также для насоса KSP значения опытных коэффициентов k (табл. 2) с некоторой долей приближения можно рекомендовать соответственно и для станков БС-1200 и ЗИФ-1200А и насосов ЗИФ-200/40.

Выводы

1. В процессе бурения скважины потери мощности в поверхностном оборудовании могут достигать значительных величин (особенно при больших числах оборотов), не учитывать которые нельзя.

2. Эти потери зависят от следующих факторов: конструкции станка или насоса, числа оборотов, степени и температуры смазки, времени работы. Важнейшим из них является число оборотов исполнительного звена механизма.

3. Увеличение потери мощности при соответствующем увеличении скорости вращения происходит медленнее (чем рост скорости).

По нашим исследованиям, показатель степени при n меньше единицы и в среднем принят равным 0,75.

4. Потери мощности в поверхностном оборудовании увеличиваются с увеличением общей нагрузки на станок.

Использованная литература

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. Гостехтеориздат, 1952.
2. Кузнецов В. Д. Физика твердого тела. Томск, Полиграфиздат, 1947.
3. Кулизаде К. Н. и Назаров П. Н. Нормы удельных расходов электроэнергии в нефтедобывающей промышленности. Труды энергетич. ин-та им. И. Г. Есьмана, 1945, т. VI.
4. Плющ Б. М., Эсибян М. А., Саркисов В. М., Даниелян А. А., Иванов П. А. Исследование потерь мощности при роторном бурении глубоких скважин. АНХ, 1948, № 8.
5. Плющ Б. М. О формулах для определения потерь мощности при вращении инструмента при роторном бурении. АНХ, 1949, № 3.
6. Федоров В. С. Научные основы режимов бурения. Гостоптехиздат, 1951.