

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БУРЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН ШАРОШЕЧНЫМИ ДОЛОТАМИ С РАЗЛИЧНОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ ЦАПФ

Постановка проблемы, её связь с научными и практическими задачами. Разрушение горных пород при бурении является одним из факторов, влияющих на производительность проходки скважины. Разработка нового породоразрушающего инструмента является важной задачей, так как бурение скважин трехшарошечными долотами довольно часто сопровождается возникновением большого уровня вибраций бурового станка, приводит к снижению частоты вращения бурового става и снижению усилия подачи [1], [2], что в свою очередь снижает производительность бурения.

В шарошечном долоте происходят сложные процессы, связанные с генерацией ударных импульсов при перекачивании шарошек по забою скважины и формированию под каждым твердосплавным зубком ядра уплотнения из породы забоя, которое, затем сдвигаясь в стороны, производит боковые сколы вокруг твердосплавного зубка. От направления и энергии воздействия породоразрушающего твердосплавного зубка зависит результат единичного скола породы на поверхности забоя, и, следовательно, производительность бурения скважины.

Анализ исследований и публикаций. Одношарошечные долота с вертикальной цапфой были испытаны при проходке технической скважины большого диаметра снизу вверх для спуска угля с верхнего на нижний горизонт установкой «Стрела-77» [5]. Однако наличие между горизонтами пород разной крепости усложняло получение достоверной оценки технологических параметров бурения долот с вертикальной цапфой.

Постановка задач исследования. Целью настоящей работы является разработка одношарошечного долота с вертикальной цапфой такой конструкции, которое позволило бы передавать осевое усилие через его корпус непосредственно на шарошку [3]. Задачами исследований являются проведение испытания разработанной конструкции долота. Условием выбора места бурения является наличие большого массива однородной по свойствам горной породы (таким массивом может быть, например, Центральный карьер Докучаевского флюсо-доломитного комбината).

Изложение основного материала и результаты. Предлагаемое одношарошечное долото с вертикальной цапфой (рис.1) состоит из шарошки 1, корпуса 2, цапфы 3, сферического подшипника 4, гайки 5, радиально-упорного подшипника 6, гаек 7-9, твердосплавных зубков 10.

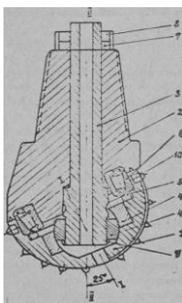


Рис. 1. Одношарошечное долото с вертикальной цапфой

При воздействии долота на забой твердосплавные зубки 10 внедряются в породу; шарошка 1 удерживается от вращения. При вращении корпуса долота 2 он своей наклонной торцевой поверхностью через радиально-упорный подшипник 6 воздействует на шарошку 1, которая изменяет свое положение относительно забоя, наклоняясь в разные стороны по мере вращения корпуса. На шарошку действуют силы со стороны торцевой поверхности корпуса и со стороны сферического подшипника, установленного на вертикальной цапфе, которые удерживают буровую головку от смещения [4].

Испытания долота были проведены в производственных условиях Докучаевского флюсо-доломитного комбината на горизонте +141 м Центрального карьера при бурении по известняку (крепость $f = 8$ по шкале проф. М.М. Протодяконова) с целью изучения влияния режимных параметров бурения на его производительность и выявление наиболее эффективной конструкции долота. Испытания проводились для разработанных одношарошечных долот с вертикальной цапфой [1] ОДВ-215,9-30. Выходными регистрируемыми факторами были время бурения одного метра скважины, ток и напряжение электродвигателя ротора, уровень вибраций бурового става. Уровень вибрации измеряли прибором ИШВ-1, датчик ускорений которого установлен на патроне ротора бурового станка. По результатам замеров были рассчитаны скорость бурения и мощность, потребляемая при бурении электродвигателем ротора бурового става. Энергоемкость бурения вычисляли путем деления затрачиваемой мощности на скорость бурения одного метра скважины.

Оптимальные параметры процесса бурения определяли как оптимальные области допустимых значений факторов X_1, X_2 (табл.1).

Таблица 1

Значения варьируемых факторов		
Показатели	Физический смысл фактора	
	Усилие подачи бурового долота на забой, Р, кН	Частота вращения бурового става, W, рад./с
Уровни фактора	X ₁	X ₂
-1	90	5
0	135	10
+1	180	15

Оптимальные области ограничены поверхностями уровня функций отклика по каждому параметру оптимизации. Параметры оптимизации режима бурения представлены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры оптимизации режима бурения			
№ п.п.	Код параметра оптимизации	Физический смысл параметра оптимизации	Граничные значения функции отклика
1	Y ₁	Скорость бурения, м/мин.	Не менее 0,25
2	Y ₂	Энергоемкость бурения, мДж/м	Не более 7
3	Y ₃	Уровень вибраций станка, дБ	Не более 75

Результаты экспериментальных исследований долота представлены в таблице 3, а матрица плана эксперимента – в таблице 4.

Таблица 3

Результаты экспериментальных исследований долота					
№ п/п	Р, кН	W, рад/с	ОДВ-215,9-30		
			Y ₇ , V, м/мин	Y ₈ , E, мДж/м	Y ₉ , U, дБ
1	90	5,0	0,223	7,1	34
2	90	10,0	0,343	6,6	35
3	90	15,0	0,457	6,0	36
4	135	5,0	0,278	5,7	34
5	135	10,0	0,425	5,2	35
6	135	15,0	0,500	4,8	36
7	180	5,0	0,336	4,7	33
8	180	10,0	0,497	4,2	34
9	180	15,0	0,539	4,0	36
Среднее значение относительно трехшарошечного долота			0,459	5,37	34,78
Стойкость долота			1,466	1.157	-1,92
			140		

Таблица 4

Матрица плана эксперимента						
№ п/п	X ₀	X ₁	X ₂	X ₁ X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²
1	1	-1	-1	1	1	1
2	1	-1	0	0	1	0
3	1	-1	1	-1	1	1
4	1	0	-1	0	0	1
5	1	0	0	0	0	0
6	1	0	1	0	0	1
7	1	1	-1	-1	1	1
8	1	1	0	0	1	0
9	1	1	1	1	1	1

В качестве критерия оптимальности плана принят критерий D-оптимальности, связанный с оптимизацией объема эллипсоида рассеивания оценок параметров уравнений регрессии. С учетом критерия оптимальности был построен план, который приведен в таблице 4.

Для построенного плана (табл. 4) по методу наименьших квадратов определены коэффициенты уравнений регрессии из выражения (1):

$$b_i = (X^* \cdot X)^{-1} \cdot X^* \cdot Y, \quad (1)$$

где b_i – коэффициент уравнения регрессии;

X – матрица плана эксперимента;

X* – транспонированная матрица плана эксперимента;

(X*·X)⁻¹ – матрица, обратная произведению транспонированной матрицы на матрицу плана эксперимента;

Y – вектор - столбец результатов эксперимента.

Коэффициенты уравнения регрессии подставлены в полиномиальную форму вида

$$Y_1 = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2; \quad (2)$$

Для каждого параметра оптимизации по формуле (1) вычисленные коэффициенты регрессии подставлены в уравнение (2). Уравнения регрессии для каждого параметра оптимизации имеют следующий вид.

$$Y_7 = 0,423 + 0,058 X_1 + 0,109 X_2 - 0,008 X_1 X_2 - 0,002 X_1^2 - 0,033 X_2^2; \quad (3)$$

$$Y_8 = 5,2 - 1,133 X_1 - 0,45 X_2 + 0,1 X_1 X_2 + 0,2 X_1^2 + 0,05 X_2^2; \quad (4)$$

$$Y_9 = 34,889 - 0,333 X_1 + 1,166 X_2 + 0,25 X_1 X_2 - 0,333 X_1^2 + 0,167 X_2^2; \quad (5)$$

В соответствии с полученными уравнениями регрессии в трехмерном пространстве построены диаграммы поверхностей функций отклика, которые показывают зависимость каждого параметра оптимизации от усилия подачи P , кН и частоты вращения бурового става W , рад./с. Для одношарошечного долота с вертикальной цапфой ОДВ-215,9-30 в заданном диапазоне режимных параметров с увеличением усилия подачи скорость бурения возрастает от $V=0,32$ м/мин. до $V=0,48$ м/мин. по почти пропорциональной зависимости (рис. 2, а). Снижение скорости бурения при дальнейшем повышении частоты вращения долота можно объяснить снижением глубины внедрения зубков долота и эффективности скола породы в забое скважины. Энергоемкость бурения снижается с увеличением усилия подачи с $E=6,7$ мДж/м до $E=4,2$ мДж/м по линейной зависимости (рис. 2, б). При максимальном усилии подачи $P=180$ кН изменение частоты вращения бурового става не влияет на энергоемкость бурения (она остаётся постоянной $E=4,2$ мДж/м).

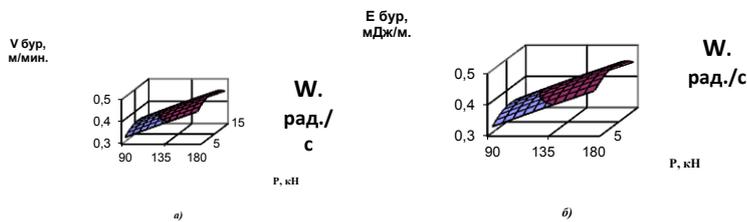


Рис. 2. Зависимость: скорости бурения $V_{\text{бур}}$, м/мин. (а) и энергоемкости бурения $E_{\text{бур}}$, мДж/м (б) одношарошечным долотом ОДВ-215,9-30 от режимных параметров.

Выводы и направление дальнейших исследований. Значения технологических параметров бурения долота показывает, что разработанное одношарошечное долото с вертикальной цапфой является наиболее эффективным. Предлагаемое одношарошечное долото позволяет шарошке перекачиваться по забою попеременно различными зубчатыми венцами, изменяя свою скорость в зависимости от отношения диаметра зубчатого венца к диаметру окружности забоя, по которой этот венец перекачивается. Отсутствие колебаний цапфы в направлении осевой нагрузки увеличивает время контакта зубков с породой, повышает эффективность разрушения породы забоя, что в целом повышает эффективность бурения и снижает вибрацию буровой машины.