

ВЫБОР СПОСОБА БУРЕНИЯ ШПУРОВ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ВО ВЫБРОСООПАСНЫХ УСЛОВИЯХ

Соискатель А.Ю. Грицаенко, к.т.н., доцент С.В. Кононыхин, ksv1944@mail.ru, шахта им. Калинина И.М. Корниенко, ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

Ключевые слова. Вертикальная цапфа, шарошечное долото, передача усилия непосредственно на шарошку, наклонная торцевая поверхность, полусферическая форма забоя, малый диаметр шпура.

Цель. Решить проблему бурения шпуров малого диаметра, во выбросоопасных условиях, с использованием нового способа бурения, основанном на изменении условия передачи нагрузок в шарошечном долоте.

Актуальность. Потребность в бурении шпуров и скважин на больших глубинах (свыше 1000 м), при проходке горных выработок в условиях опасных по выбросам угольной пыли и метана, вызывает необходимость в поиске нового бурового инструмента и способа бурения.

Анализ последних исследований и публикаций. Рассмотренный в данной работе способ бурения будет не совсем корректно назвать шарошечным, несмотря на то, что в нём используется шарошка. Понятие шарошечное бурение в 20-ом веке связано у большинства специалистов с вращением конусной шарошки установленной для вращения на консольной цапфе, которая установлена на консольно закреплённой, на корпусе долота, лапе. Такая конструкция шарошечного долота имеет недостатки из-за ограниченной жёсткости конструкции, вызывающей недопустимые вибрации бурового станка и невозможность применения в трещиноватых породах [1]. Известно применение одношарошечных долот, нашедших широкое применение на Северном Кавказе, при бурении Верхнее меловых отложений [2]. Особенностью этих долот является наличие одной шарошки, установленной на консольно закреплённой цапфе и появление, при бурении, на зубках режущих составляющих нагрузок по мере их удаления от венца перекатывания. Принцип работы этих долот нами использован в прототипе долота, выбранного для сравнения предлагаемому способу бурения. Способ шарошечного бурения

Новизна. В данной работе рассмотрен способ работы бурового долота позволяющего передавать осевое усилие непосредственно на шарошку, а вертикально установленная цапфа используется как точка опоры для шарошки и помогает преобразовать момент вращения корпуса долота вокруг оси скважины в момент воздействия зубков шарошки в другой плоскости и создать разрушающее воздействие на забой. Кроме этого, рассмотренный в работе способ бурения позволяет разработать конструкцию шарошечного долота для бурения шпуров диаметром менее 76 мм. Предлагаемый к рассмотрению в данной работе способ защищён ранее охранным документом частично как буровое шарошечное долото с вертикальной цапфой [2]. Термин вертикальная цапфа нами используется как отличительный признак нового способа воздействия зубков шарошки на поверхность забоя шпура, или скважины и новый способ передачи осевого усилия на забой.

Объект исследования. В данной работе рассмотрен способ работы бурового долота, рис. 1, в котором имеются две опорные контактирующие поверхности: одна между корпусом 1 с наклонной торцевой поверхностью 2 корпуса и торцевой поверхностью 3 полусферической шарошки 4. Другая поверхность находится между сферической поверхностью 5 вертикальной цапфы 6 и внутренней сферической поверхностью шарошки 7. Осевое усилие от корпуса 1, через его наклонную торцевую поверхность 2 передаётся непосредственно на торцевую часть 3 шарошки 4, а вертикально установленная цапфа 6 используется как точка опоры для шарошки и помогает преобразовать момент вращения корпуса долота вокруг оси скважины в момент воздействия зубков 8 шарошки в другой

плоскости и создать разрушающее воздействие на забой. В шарошку 4 на резьбе вкручена гайка 9 которая своей сферической поверхностью удерживается на сферической поверхности цапфы 6 и удерживает шарошку на цапфе от смещения при подъёме из скважины. Шарошка армирована твёрдосплавными зубками 8.

Объектом исследования принято долото, реализующее новый, двухпорный, способ работы долота. Присвоение новому способу работы долота своего названия является необходимым условием для его отличия от существующих. На рис. 1а и 1б показана принципиальная схема бурового долота с вертикальной цапфой, рис. 1а- вид прямо, рис. 1б- вид с боку.

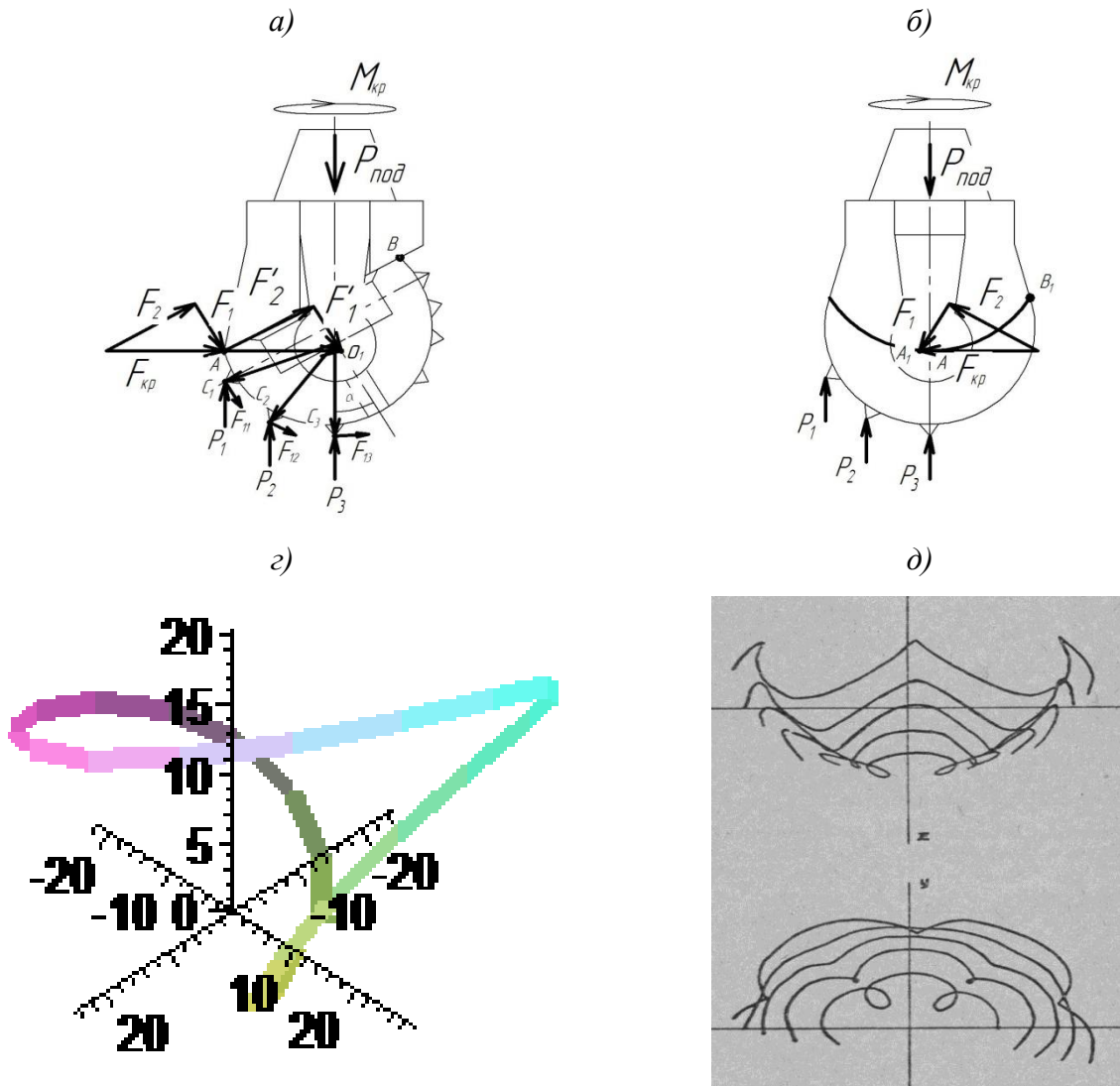


Рис.1 – Принципиальная схема бурового долота с вертикальной цапфой:

а) принципиальная схема, вид прямо, б) вид с боку, в) траектория зубка за один оборот вращения корпуса, г) траектории зубков расположенных на одной образующей полусферы шарошки, вид прямо и вид с верху.

Долото работает следующим образом. Действие усилия P передаётся через наклонную торцевую поверхность корпуса долота 2 на торцевую часть 3 полусферической шарошки 4 и зубками 8 на поверхность забоя. Внедрению зубков 8 в породу забоя скважины на значительную глубину препятствуют силы P_1 , P_2 , и P_3 и другие в местах контакта зубков шарошки с забоем, которые удерживают шарошку от вращения силами трения между контактирующими частями шарошки вместе с корпусом долота при его вращении. К корпусу 1 прикладывается крутящий момент для его вращения $M_{кр}$. Крутящий момент прикладывается набегающей частью скошенной торцевой поверхности корпуса к торцевой

поверхности шарошки по линии АВ, рис. 1а. Крутящий момент можно представить как произведение силы $F_{кр}$ на плечо $АО_1$. Силу $F_{кр}$ можно разложить на две составляющие F_1 перпендикулярно наклонной торцевой поверхности шарошки и F_2 вдоль этой поверхности. Шарошка удерживается от смещения вдоль наклонной торцевой поверхности корпуса своей сферической поверхностью, контактирующей со сферической поверхностью на цапфе с центром в точке O_1 . Сила F_1 перераспределяется на зубки, контактирующие с забоем в точках C_1, C_2, C_3 . В каждой из этих точек на забой действуют разрушающие породу забоя моменты равные произведению сил в этих точках на плечи OC_1, OC_2, OC_3 . При повороте корпуса долота точка А перемещается по окружности, рис. 1б, и усилие F_1 перемещается на другой ряд зубков. На рис. 1 в показана траектория одного из зубков, полученная расчётным путем. На рис. 1 г показаны траектории зубков очерченных на забое. Рассчитанные траектории зубков совпадают со следами реальных зубков оставленными на забое во время бурения экспериментальным долотом.

Последовательность выполнения работы.

Бурение проводилось на буровом стенде последовательно долотом с вертикальной цапфой диаметром 76 мм и трёхшарошечным долотом Ш- 76 горной породы крепостью $f = 8$ по шкале проф. М.М. Протоdjяконова. Исследования проводились с использованием двухфакторного эксперимента. Изменялись значения двух факторов- X_1 -скорости бурения и X_2 -усилия подачи на трёх уровнях. В табл.1 представлены натуральные и кодированные значения изменяемых факторов. При бурении фиксировались технологические и динамические показатели. Механическая скорость бурения определялась путем замера отрезка скважин, пробуренной в известняковом блоке, и времени, расходуемого на бурение $V=h/t$, м/мин. глубина внедрения долота за один оборот $h=V/\omega$, мм/об., N – затрачиваемая мощность, энергоемкость бурения $\Theta=60 N /V$, мДж/м, $M= N /V$, Нм, D -дисперсия колебаний долота и f - частота продольных колебаний первой гармоники определялась путём записи осциллограмм полученных путём их тензометрической обработки. Результаты измерения технологических показателей бурения одношарошечным долотом и матрица планирования эксперимента представлены в табл.2.

Таблица 1

Натуральные и кодированные значения факторов

Факторы варьирования, кодированные и натуральные		Уровни факторов			Интервал варьирования -1
		-1	0	+1	
X_1	F – усилие подачи на забой, кН	20	40	60	20
X_2	ω - частота вращения долота, об./мин	100	200	300	100

Матрица планирования и результаты эксперимента приведены в таблице 2.

По результатам обработки экспериментальных данных полученных при бурении одношарошечным долотом получены следующие уравнения регрессии.

$$Y_1=0,219+0,077x_1+0,085x_2+0,0455x_1x_2-0,055x_1^2+0,017x_2^2 \quad (1)$$

$$Y_2=0,460+0,10825x_1-0,08142x_2-0,02513x_1x_2+0,0336x_1^2+0,0661x_2^2 \quad (2)$$

$$Y_3=7,545+2,0167x_1+1,35x_2-0,45x_1x_2-1,516x_1^2+0,33354x_2^2 \quad (3)$$

$$Y_4=4,718+0,203x_1-0,0878x_2-0,158x_1 x_2+0,65x_1^2-0,0017x_2^2; \quad (4)$$

$$Y_5=0,3417+0,1258x_1-0,1308x_2-0,085x_1x_2-0,0475x_1^2+0,0825x_2^2; \quad (5)$$

$$Y_6=448,5-34,83x_1-137,5x_2+109,75x_1x_2+78,85x_1^2+57,85x_2^2 \quad (6)$$

$$Y_7=13,56+3,67x_1+8,17x_2+0,25x_1x_2+12,6x_1^2+0,167x_2^2 \quad (7)$$

Таблица 2

Результаты исследования технологических показателей бурения долотом с вертикальной цапфой ОД-76.

N	Кодирован. обозначен.		V1, м/мин.	V2, м/мин.	h ₁ , мм /об	h ₂ , мм /об	N ₁ , кВт т	N ₂ , кВт т	Э ₁ , мДж/ м	Э ₂ , мДж/ м	M ₁ , Н*м	M ₂ , Н*м	D, Н ²	f, Гц
	X ₁ , (F)	X ₂ , (ω)												
1	-1	-1	0,10 0	0,06 8	1,0	0,5 8	3,3	3,4	2,0 3	3,0 0	0,3 1	0,3 3	924	16
2	-1	0	0,08 1	0,07 0	0,4 1	0,3 2	4,1	3,2	2,9 8	2,7 5	0,1 9	0,1 5	519	12
3	-1	+1	0,15 3	0,11 7	0,5 1	0,3 9	5,8	5,6	2,2 3	2,9	0,1 7	0,1 9	359	27
4	0	-1	0,11 5	0,12 5	1,1 5	1,2 5	5,2	5,4	2,5 2	2,7	0,4 9	0,5 1	571	18
5	0	0	0,21 4	0,23 6	1,0 7	1,1 8	7,4	7,6	2,1 0	2, 7	0,3 5	0,3 6	453	25
6	0	+1	0,36 4	0,32 8	1,2 1	1,0 9	10, 6	10, 4	1,7 3	1,9	0,3 4	0,3 3	437	31
7	+1	-1	0,15 0	0,12 8	1,5 0	1,2 8	8,4	7,4	3,3 6	3,5	0,8 0	0,7 0	594	17
8	+1	0	0,21 7	0,27 6	1,0 9	1,3 8	8,4	8,5	2,3 2	1,9	0,4 0	0,4 1	531	32
9	+1	+1	0,44 4	0,30 0	1,4 8	1,0 0	9,9	7,0	1,4 5	1,4 0	0,3 2	0,2 2	468	30
Ср.зн.1-шар.			0.194		0,526		0,389		4,291		0,3755		539. 5	23,1

На рис. 2а показана зависимость технологических показателей бурения одношарошечного долота от усилия подачи для всех семи показателей бурения в различных масштабах для возможности выбора оптимального усилия подачи при бурении одношарошечным долотом.

На рис. 2 а показаны графики зависимости а) скорости бурения; б) углубления за оборот; в) мощности затрачиваемой на бурение; г) энергоёмкости бурения; д) момента на долоте; е) дисперсии первой гармоники; ж) частоты первой гармоники; одношарошечного долота от усилия подачи. С увеличением усилия подачи с 20 кН до 60 кН скорость бурения возрастает с 0,147 м/мин. до 0,39 м/мин., рис. 2а. Углубление за один оборот возрастает 0,39 мм до 0,57 мм., рис. 2а. Потребляемая мощность затрачиваемая на бурение при увеличении усилия подачи с 20 кН 50 кН возрастает с 5,8 кВт до 9,8 кВт, а затем снижается до 9,3 кВт, рис. 2а, Энергоёмкость бурения при возрастании усилия подачи с 20 кН до 39 кН снижается с 5,22 мДж до 4,62 мДж, а затем возрастает с увеличением усилия подачи до 5,9 мДж, рис. 2а. Момент на долоте возрастает с увеличением усилия подачи до 48 кН также возрастает до величины 0,305 кН. Дисперсия первой гармоники колебаний долота с увеличением усилия подачи до 32 кН снижается с 370 ед. до 350 ед., а затем с увеличением усилия подачи до 60 кН возрастает до 550 ед. Зависимость частоты первой гармоники имеет экстремальную зависимость от изменения усилия подачи, минимальное значение которой в 22 Гц достигается при усиллии подачи на долото в 37 кН, рис. 2а. Затем с увеличением усилия

подачи до 60 кН частота первой гармоники возрастает и достигает значения 38 Гц. При уменьшении усилия подачи до 20 кН частота первой гармоники также возрастает до значения 31 Гц.

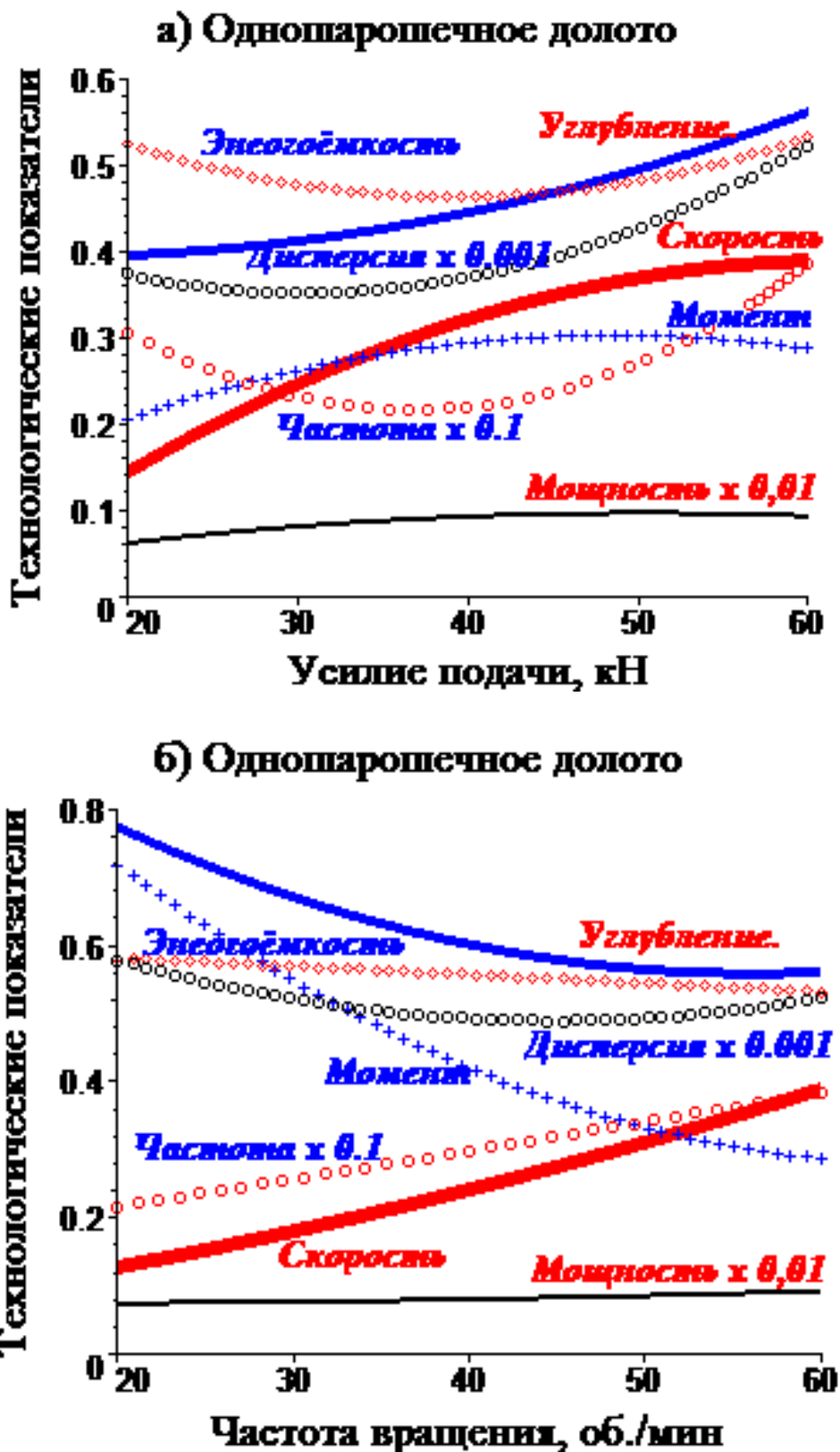


Рис. 2. Зависимость технологических показателей бурения одношарошечного долота: а) от усилия подачи, б) от частоты вращения для: скорости бурения, углубления за оборот, мощности затрачиваемой на бурение, энергоёмкости бурения, момента на долоте, дисперсии первой гармоники, частоты первой гармоники.

На рис. 2 б показаны графики зависимости а) скорости бурения, б) углубления за оборот, в) мощности затрачиваемой на бурение, г) энергоёмкости бурения, д) момента на долоте, е) дисперсии первой гармоники, ж) частоты первой гармоники от частоты вращения долота при одинаковом усилии подачи $F=60$ кН.

На рис. 2б показано, что с увеличением частоты вращения со 100 об/мин до 300 об/мин скорость бурения возрастает с 0,147 м/мин до 0,39 м/мин, углубление за один оборот снижается 0,775 мм до 0,55 мм, рис. 2б, потребляемая мощность, затрачиваемая на бурение, при увеличении частоты вращения со 100 об/мин до 300 об/мин возрастает с 7,5 кВт до 9,3 кВт, рис. 2б, Энергоёмкость бурения при возрастании частоты вращения со 100 об/мин до 300 об/мин снижается с 5,82 мДж до 5,32 мДж, рис. 2б. Момент на долоте с увеличением частоты вращения со 100 об/мин до 300 об/мин уменьшается с 0,72 кН до 0,28 кН, рис. 2б. Дисперсия первой гармоники колебаний долота с увеличением частоты вращения со 100 об/мин до 225 об/мин снижается с 580 до 482, а затем с увеличением усилия частоты вращения до 300 об/мин возрастает до 520. Частота первой гармоники с увеличением частоты вращения со 100 об/мин до 300 об/мин возрастает по линейному закону с 21 Гц до 38 Гц, рис. 2б.

Таблица 1

Результаты исследования технологических показателей бурения трёхшарошечным долотом Ш-76

№ п	Кодирован. Обозначен.		Технологические показатели бурения трёхшарошечного долота, Ш-76											
	X ₁ , (F)	X ₂ , (ω)	V ₁ , м/мин	V ₂ , м/мин	h ₁ , мм/об.	h ₂ , мм/об.	N ₁ , кВт	N ₂ , кВт	Э ₁ , мДж/м	Э ₂ , мДж/м	M ₁ , Н*м	M ₂ , Н*м	D, ед.	f, Гц
1	-1	-1	0,048	0,053	0,480	0,530	2,9	3,1	3,625	3,509	0,290	0,310	2480	14
2	-1	0	0,079	0,083	0,395	0,415	4,9	5,1	3,721	3,687	0,245	0,255	6570	21
3	-1	+1	0,117	0,110	0,390	0,367	7,9	8,4	4,051	4,582	0,263	0,280	1540	33
4	0	-1	0,067	0,057	0,670	0,570	5,6	5,2	5,015	5,474	0,560	0,520	700	9
5	0	0	0,081	0,082	0,405	0,410	6,7	6,9	4,963	5,049	0,335	0,345	1184	13
6	0	+1	0,144	0,147	0,480	0,490	9,3	9,5	3,875	3,877	0,310	0,317	1110	19
7	+1	-1	0,083	0,070	0,830	0,700	5,6	5,2	4,048	4,457	0,560	0,520	5500	19
8	+1	0	0,125	0,129	0,625	0,645	8,1	9,3	3,888	4,326	0,405	0,465	2210	32
9	+1	+1	0,163	0,160	0,543	0,533	12,2	11,2	4,491	4,200	0,407	0,373	2255	39

Выводы: Скорость бурения одношарошечным и трёхшарошечным долотами, в заданном диапазоне режимных параметров, возрастает с увеличением усилия подачи и частоты вращения. Для одношарошечного долота рекомендуется увеличивать режимные параметры бурения по усилию подачи и частоте вращения по причине невысокого уровня дисперсии 1-ой гармоники колебаний на буровом станке. Для трёхшарошечного долота рекомендуется ограничить увеличение режимных параметров бурения величинами $F=40$ кН и $\omega=200$ об/мин, чтобы не допускать высокий уровень вибраций бурового станка.

Бурение одношарошечным долотом показало его преимущество перед трёхшарошечным долотом по скорости бурения выше в 1,9 раза, и уровню вибраций (дисперсии колебаний) меньше в 5 раз. При примерно одинаковых остальных технологических показателях : потребляемой мощности, энергоёмкости бурения, моменте вращения, углублении за один оборот и частоте колебаний бурового става. Рассмотренные

исследования можно принять за основу при разработке бурового долота малого диаметра генерирующего ударные импульсы непосредственно на забое. Использовать конструкцию ОДШ для изготовления долота меньшего диаметра и определить минимальный критический диаметр шарошечного долота.

Библиографический список

1. Зубарев А.В. Одношарошечные долота. / А.В. Зубарев, Г.И. Матвеев, Ю.В. Рыжиков // –М.: Недра, 1971,- 176 с.
2. Одношарошечное долото. / Харлашкин К.Н., Кононыхин С.В., Манакин А.П. и др.// – А. С. СССР №856 588, Б.И. 1981, №32, с. 148.
3. Грицаенко А.Ю. Исследование перспективной конструкции шарошечного долота для бурения шпуров малого диаметра./ А.Ю. Грицаенко, С.В. Борщевский, С.В. Кононыхин, И.В. Купенко // Сборник научных трудов «Проблемы горного дела» - Донецк: Изд-во «ДонНТУ», 2018. №2.- С. 42-52.
4. Кононыхин С.В. Исследование траекторий движения зубков одношарошечного долота с вертикальной цапфой. / С.В. Кононыхин Збірник матеріалів II регіональної науково – практичної конференції «Сучасні аспекти механізації енергоємних виробництв». / 25 квітня 2013р., К І І ДонНТУ. Красноармійськ. С. 48- 53.