

УДК 622.24.051.551+622.143

В.Г. Сынков, С.В. Кононыхин, А.И. Повзун, П.С. Кернис

ИССЛЕДОВАНИЕ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА С УДАРНЫМ И РЕЖУЩИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТВЕРДОСПДАВНЫХ ЗУБКОВ НА ЗАБОЙ

Красноармейский индустриальный институт ГВУЗ "Донецкий национальный технический университет"

В статье приведены результаты исследования технологических показателей бурения одношарошечного долота с вертикальной цапфой и трёхшарошечного долота при бурении взрывных скважин диаметром 215,9 мм в известняке крепостью 8 по шкале проф. М.М. Протодьяконова. Применение одношарошечного долота с вертикальной цапфой способствовало повышению скорости бурения, снижению энергоёмкости процесса и значительному уменьшению уровня вибраций на патроне вращателя бурового станка.

Ключевые слова: долото одношарошечное, вертикальная цапфа, скорость и энергоёмкость бурения, уровень вибраций.

Введение

Величина сопротивления породы при разрушении является основной характеристикой рабочего процесса, определяющей его энергоёмкость, скорость бурения и другие показатели. Сопротивление обуславливается как свойствами горных пород, так и способом воздействия на породу, конструкцией инструмента и т. д. Разрушение породы при ударном бурении происходит в результате преобразования кинетической энергии ударника в работу деформации породного массива. При этом в зависимости от физико-механических свойств и конструкции инструмента часть ударного импульса будет отражаться обратно в инструмент и далее в ударный механизм, не производя полезной работы. По величине отраженного импульса можно определить степень использования энергии удара, характеризующую эффективность применения того или иного инструмента [1]. 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 трёхшарошечными долотами довольно часто сопровождается возникновением большого уровня вибраций бурового станка, приводит к снижению частоты вращения

бурового става и снижению усилия подачи. Что в свою очередь снижает производительность бурения. Последнее обстоятельство связано с наличием трёх наклонных цапф, консольно закреплённых в корпусе трёхшарошечного долота, которые снижают жесткость всей конструкции долота, ограничивают возможности по передаче энергии ударного импульса и воспринимают реакцию забоя на долото. 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 твёрдосплавного зубка. От направления и энергии воздействия породоразрушающего твердосплавного зубка зависит результат единичного скола породы на поверхности забоя, и, следовательно, производительность бурения скважины. Поэтому разработке и исследованию новых типов шарошечных долот уделяется большое внимание.

Анализ исследований и публикаций

Одношарошечные долота известны давно. Одношарошечные долота нашли широкое применение при бурении скважин для добычи нефти и газа на Северном Кавказе, где при разрушении верхнее - меловых отложений долота обеспечивают скорость проходки в 2 -3 раза выше, чем трёхшарошечные [2,3]. Одношарошечные долота с вертикальной цапфой испытывались авторами при бурении скважины большого диаметра (1м) снизу в верх при проходке технической скважины для спуска угля с верхнего на нижний горизонт установкой «Стрела-77» с планетарным рабочим органом [4,5]. Однако наличие между горизонтами пород разной крепости усложняло получение достоверной оценки технологических параметров бурения долот с вертикальной цапфой. Условием выбора места для сравнительных испытаний трёх типов буровых долот явилось наличие большого массива однородной, неизменяющейся по свойствам, горной породы.

В работе [6] приведена кинематика одношарошечного долота, которое совершает сложное движение, связанное с перекачиванием твердосплавных зубков, совершающих ударное воздействие на забой скважины, и срезанием выступов горной породы, оставшихся между зубками. Одношарошечное долото с вертикальной цапфой позволяет передать осевое усилие от бурового става через корпус долота непосредственно на шарошку, что, повышает жесткость долота и снижает уровень вибраций бурового станка при бурении взрывных скважин на карьерах по добыче известняка.

Постановка задач исследования

Для возможности использования нового долота в перемеживающихся по физико-механическим свойствам породах необходимы дополнительные исследования его технологических показателей бурения в крепких породах и сравнение с показателями известных долот. Целью работы является исследова-

дование технологических показателей бурения нового бурового инструмента. *Задачей исследований* является сравнительный анализ технологических параметров одношарошечного долота с вертикальной цапфой и трехшарошечного долота IAB-215,9ТП.

Изложение основного материала и результаты

На рис. 1 представлено буровое долото с вертикальной цапфой и опорой скольжения диаметром 42 мм. Это долото можно использовать как модель долота большого диаметра и для бурения шпуров.

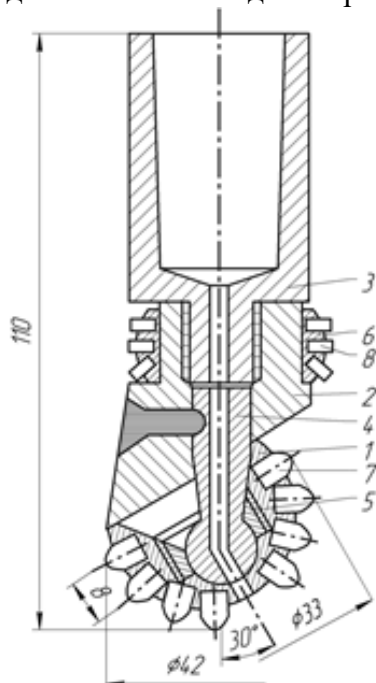


Рис. 1. Одношарошечное долото

Долото состоит из шарошки 1, корпуса 2, ниппеля 3, цапфы 4, гайки 5, втулки 6, зубков 7, твердосплавных вставок 8. Сборка долота производится следующим образом. Цапфа 4, своей сферической частью, устанавливается в шарошку 1, сверху устанавливается гайка 5, которая завинчивается в шарошку с оставлением необходимого зазора для свободного движения шарошки на цапфе и фиксируется от смещения. Цапфа 4 в сборе с шарошкой вставляется в отверстие корпуса и фиксируется от смещения. На корпус 2 одевается втулка 6, армированная твердосплавными вставками 8, и навинчивается ниппель 3. Шарошка 1 армируется твердосплавными зубками 7.

Долото работает следующим образом. При вращении корпуса долота, шарошка при отсутствии контакта с забоем за счет сил трения увлекается и вращается вместе с корпусом. При воздействии долота на забой штырьки 7 внедряются в породу, шарошка 1 удерживается от вращения. Корпус 2 своей наклонной торцевой поверхностью скользит по торцевой поверхности шарошки 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 сферической поверхности на вертикальной цапфе, которые удерживают буровую головку от смещения и позволяют преобразовать момент вращения корпуса долота в момент шарошки, действующий на забой в плоскости, проходящей через ось вращения корпуса долота. Под действием момента сил, действующих на шарошку, она изменяет свое положение, наклоняясь относительно центра сферического подшипника в разные стороны по мере вращения наклонной торцевой поверхности корпуса долота. Одним из своих зубчатых венцов шарошка обкатывается по забою,

зубья остальных венцов перемещаются по забою со скольжением, разрушая его в местах контакта. Втулка, касаясь твердосплавными вставками 8 стенки скважины, удерживает долото от смещения.

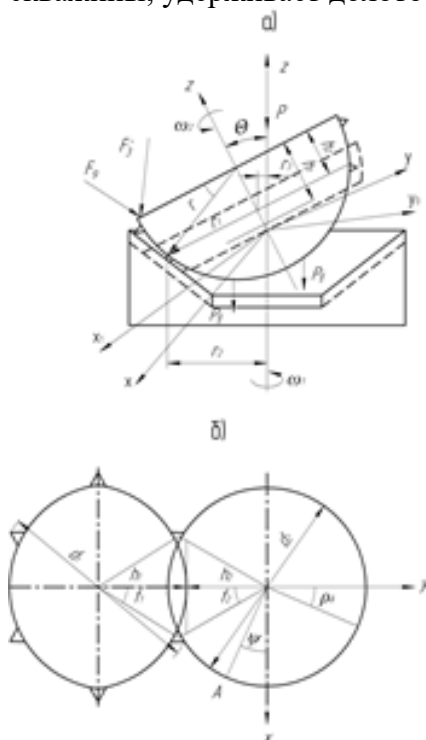


Рис. 2. Кинематическая схема взаимодействия шарошки долота с забоем

Для реализации кинематической схемы бурового долота по рис. 1 необходимо представить шарошку долота в виде полушферы контактирующей с корпусом по торцевой наклонной поверхности. Для установки второй точки опоры между корпусом и шарошкой необходимо в точке пересечения осей шарошки и долота установить сферический подшипник и соединить вертикальной цапфой корпус долота с внутренней обоймой подшипника.

Шарошка одношарошечного бурового долота имеет несколько зубчатых венцов, одним из них она перекачивается по забою без скольжения, остальные венцы перекачиваются со скольжением. Величина скольжения зубков тем больше, чем дальше зубчатый венец удален от венца перекачивания. Венец перекачивания шарошки и радиус забоя (рис. 2), с которым контактирует венец перекачивания, находится из следующего соотношения.

$$r_1 = \sqrt{r^2 - h_2^2}, \quad (1)$$

где r_1 – радиус зубчатого венца, м;
 r – радиус шарошки, м;
 h_2 – расстояние от центра сферы наружной поверхности шарошки до зубчатого венца, м.

Радиус забоя, по которому обкатывается зубчатый венец находится из геометрического построения, рис. 2.

$$r_2 = r_1 \cos \alpha + (h_1 - h_2) \sin \alpha \quad (2)$$

где r_2 – радиус забоя скважины, м;
 α – угол наклона оси шарошки, град.;
 h_1 – расстояние от центра сферы наружной поверхности шарошки до зубчатого венца, м.

Передаточное отношение между шарошкой и забоем находится как отношение

$$i = \frac{r_2}{r_1} \quad (3)$$

Положение шарошки относительно данной системы отсчета может определяться координатами ее точек по поверхности, а движение - уравнениями, выражающими эти параметры как функции времени. Движение шарошки, как и любой системы точек, относительно данной системы отсчета будет известно, если знать движение каждой точки относительно той же системы.

Система уравнений, определяющих закон движения точек на поверхности шарошки, ось которой пересекается с осью долота [7] имеет следующий вид.

$$\begin{aligned} X &= r_2 \sin\psi - r_1 \sin\varphi \cos\psi - r_1 (1 - \cos\varphi) \sin\psi \cos\alpha \\ Y &= r_2 \cos\psi + r_1 \sin\varphi \sin\psi - r_1 (1 - \cos\varphi) \cos\psi \cos\alpha \\ Z &= r_1 (1 - \cos\varphi) \sin\alpha \end{aligned} \quad (4)$$

Где: r_1 – радиус венца перекатывания шарошки, м;

r_2 - радиус окружности на забое скважины по которой перекатывается венец шарошки, м.;

ψ - угол поворота долота, град.;

φ - угол поворота шарошки, град;

α - угол наклона оси шарошки к оси долота, град.

Радиус окружности забоя скважины, по которой перекатывается венец шарошки, зависит от смещения точки пересечения осей долота и шарошки. Отношение d_1/d_2 возрастает с увеличением h_1 , для долота $d = 42$, $\alpha = 30$ град., при $h_1 = 5.5$ мм. отношение $d_1/d_2 > 1$, т.е. относительно забоя зубчатый венец будет вращаться в обратную сторону от направления вращения корпуса. С увеличением h_1 уменьшается отношение радиуса зубчатого венца к радиусу забоя для всех зубчатых венцов и приводит к уменьшению скольжения их по забою.

Выводы. Зубки долот совершают по забою скважины сложное движение, сочетающее перекатывание и скольжение, что позволяет им реализовать ударные и режущие нагрузки.

Исследования проводились для одношарошечного долота с вертикальной цапфой ОДВ-215,9-30, и трехшарошечного долота IAB-215,9ТП в производственных условиях при бурении взрывных скважин по известняку крепостью $f=8$ по шкале проф. М.М. Протодяконова. Выходными регистрируемыми факторами были время бурения одного метра скважины, ток и напряжение электродвигателя ротора, уровень вибраций бурового става. Уровень вибрации U, дБА измеряли прибором ИШВ-1, датчик ускорений которого установлен на патроне ротора бурового станка. По результатам замеров были рассчитаны скорость бурения V, м/мин и мощность, потребляемая при бурении электродвигателем ротора бурового става. Энергоемкость бурения E, мДж/м вычисляли путем деления затрачиваемой мощности на скорость бурения одного метра скважины.

Бурение проводилось при различных режимных параметрах. Усилие подачи на долото P , кН (X_1) и частота вращения бурового инструмента W , рад/с (X_2) изменялось на трёх уровнях. Средние значения результатов экспериментальных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты экспериментальных исследований долот двух типов

№, п.п	Варьируемые факторы				Измеряемые параметры					
	Кодированные		Натуральные		ОДВ-215,9-30 Одношарошечное долото			IAB-215,9ТП Трёхшарошечное долото		
	X_1	X_2	P , кН	W , рад/с	Y_{11} , V, м/мин	Y_{21} , E, мДж/м	Y_{31} , U, дБА	Y_{12} , V, м/мин	Y_{22} , E, мДж/м	Y_{32} , U, дБА
1	-1	-1	90	5,0	0,223	7,1	34	0,207	3,6	63
2	-1	0	90	10,0	0,343	6,6	35	0,250	5,8	75
3	-1	1	90	15,0	0,457	6,0	36	0,300	6,2	75
4	0	-1	135	5,0	0,278	5,7	34	0,24	3,6	65
5	0	0	135	10,0	0,425	5,2	35	0,345	4,7	70
6	0	1	135	15,0	0,500	4,8	36	0,370	5,4	65
7	1	-1	180	5,0	0,336	4,7	33	0,370	5,4	65
8	1	0	180	10,0	0,497	4,2	34	0,265	3,6	64
9	1	1	180	15,0	0,539	4,0	36	0,422	3,7	64
Средние значения параметров					0,459	5,37	34,78	0,313	4,64	66,7
Сравнительные значения относительно трёхшарошечного долота					1,466	1,157	-1,92	1	1	1

Обработка результатов эксперимента и определение значимости коэффициентов уравнения регрессии позволили получить полиномиальные модели. Статистический анализ полученных результатов включает проверку двух статистических гипотез: о значимости полученных коэффициентов модели; об адекватности представления результатов эксперимента найденным уравнениям регрессии [8, 9].

Коэффициенты уравнения регрессии подставлены в полиномиальной форме вида

$$Y_1 = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2; \quad (5)$$

Для каждого из долот по технологическим параметрам вычисленные коэффициенты регрессии и подставлены в уравнения (6-11).

$$Y_{11} = 0,423 + 0,058X_1 + 0,109X_2 - 0,008X_1X_2 - 0,002X_1^2 - 0,033X_2^2; \quad (6)$$

$$Y_{21} = 5,2 - 1,133X_1 - 0,45X_2 + 0,1X_1X_2 + 0,2X_1^2 + 0,05X_2^2; \quad (7)$$

$$Y_{31} = 34,889 - 0,333X_1 + 1,166X_2 + 0,25X_1X_2 - 0,333X_1^2 + 0,167X_2^2; \quad (8)$$

$$Y_{12} = 0,345 + 0,057X_1 + 0,062X_2 + 0,014X_1X_2 - 0,008X_1^2 - 0,039X_2^2; \quad (9)$$

$$Y_{22} = 4,655 + -0,517X_1 + 1,0X_2 - 0,25X_1X_2 - 0,117X_1^2 - 0,133X_2^2; \quad (10)$$

$$Y_{32} = 69,555 - 4,167X_1 + 1,333X_2 - 4,0X_1X_2 + 0,167X_1^2 - 4,333X_2^2; \quad (11)$$

В соответствии с полученными уравнениями регрессии в трехмерном пространстве построены диаграммы поверхностей функций отклика, которые показывают зависимость каждого технологического параметра (скорости бурения Y_1 , энергоёмкости бурения Y_2 и уровня вибраций Y_3 на патроне ротора бурового станка) при бурении долотами: одношарошечным долотом с вертикальной цапфой ОДВ-215,9-30 и трёхшарошечным IAB-215,9ТП, 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. 3, а). С увеличением частоты вращения бурового става скорость бурения достигает экстремального значения $V=0,32$ м/мин. при $W=10$ рад./с и $P=90$ кН и $V=0,48$ м/мин. при $W=10$ рад./с и $P=90$ кН. Снижение скорости бурения при дальнейшем повышении частоты вращения долота можно объяснить снижением глубины внедрения зубков долота и эффективности скола породы в забое скважины.

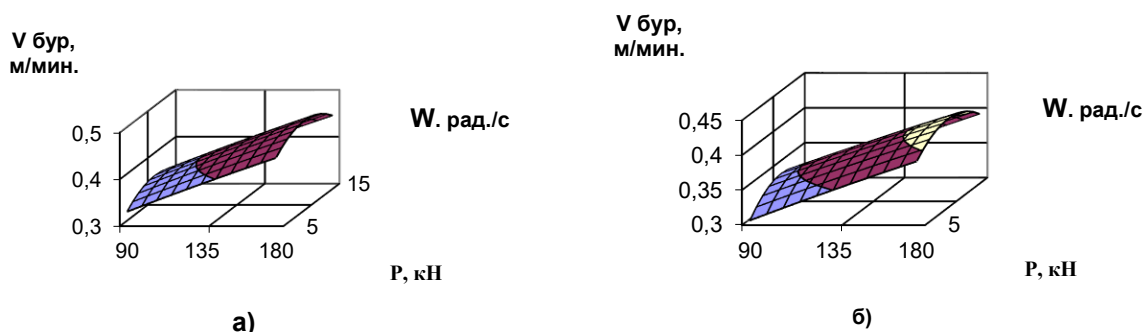


Рис. 3. Диаграмма для скорости бурения $V_{\text{бур}}$, м/мин. с: (а) одношарошечным долотом ОДВ-215,9-30 и (б) трёхшарошечным долотом - IAB-215,9ТП

Для трёхшарошечного долота IAB-215,9ТП скорость бурения линейно возрастает с увеличением усилия подачи (рис. 3, б). С увеличением частоты вращения скорость бурения также возрастает до своего экстремального значения, приобретаемого при $W=10$ рад/с. Снижение скорости бурения при дальнейшем повышении частоты вращения долота можно объяснить снижением глубины внедрения зубков долота и эффективности скола породы в забое скважины.

Энергоёмкость бурения для одношарошечного долота с вертикальной цапфой ОДВ-215,9-30 снижается с увеличением усилия подачи с $E=6,7$ мДж/м до $E=4,2$ мДж/м по линейной зависимости (рис. 4, а). При небольшом усилии подачи $P=90$ кН увеличение частоты вращения от $W=5$ рад/с до $W=10$ рад/с энергоёмкость бурения снижается с $E=6,7$ мДж/м до $E=6,5$ мДж/м, затем при $W=15$ рад/с возрастает до $E=6,7$ мДж/м. При максимальном усилии подачи $P=180$ кН изменение частоты вращения бурового

става не влияет на энергоёмкость бурения (она остаётся постоянной $E=4,2$ мДж/м).

Энергоёмкость бурения для трёхшарошечного долота IAB-215,9ТП снижается с увеличением усилия подачи (рис. 4, б). С увеличением частоты вращения скорость бурения также снижается до своего экстремального значения при $W=10$ рад/с и при небольшом усилии подачи $P=90$ кН. При максимальном усилии подачи $P=180$ кН и частоте вращения $W=10$ рад/с она равна максимальному значению.

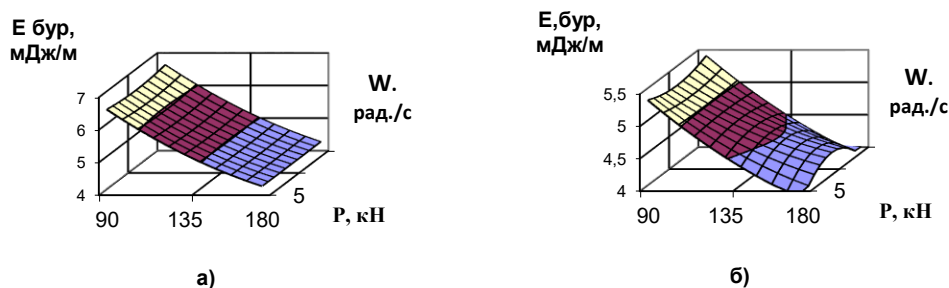


Рис. 4. Диаграмма для энергоёмкости бурения $E_{\text{бур}}$, мДж/м с: (а) одношарошечным долотом ОДВ-215,9-30 и (б) трёхшарошечным долотом - IAB-215,9ТП

Для одношарошечного долота с вертикальной цапфой ОДВ-215,9-30 уровень вибраций возрастает с увеличением усилия подачи и достигает экстремального (максимального) значения при усилии $P=135$ кН (рис. 5, а). С повышением частоты вращения уровень вибраций повышается и достигает наибольшей величины $U=34,9$ дБ при $W=10$ рад/с. Минимального значения $U=34,3$ дБ уровень вибраций достигает при максимальном усилии подачи $P=180$ кН и частоте вращения $W=10$ рад/с (рис. 5, а).

Для трёхшарошечного долота IAB - 215,9ТП уровень вибраций снижается с увеличением усилия подачи по закону, близкому к пропорциональному (рис. 5, б).

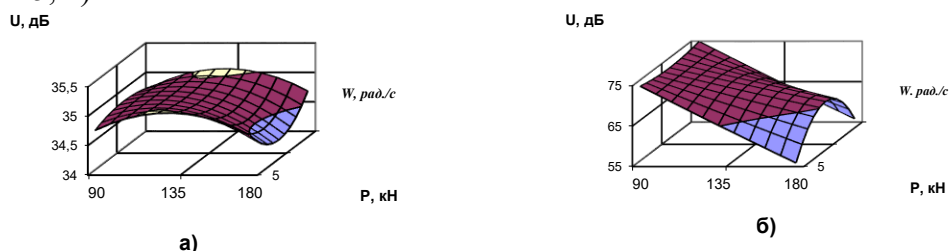


Рис. 5. Диаграмма для уровня вибраций буровой машины с: а) одношарошечным долотом ОДВ-215,9-30; б) трёхшарошечным долотом IAB-215,9ТП

С увеличением частоты вращения уровень вибраций при $P = 90$ кН снижается от 75 дБ до 72 дБ при $W=10$ рад/с, а затем возрастает. При максимальном усилии подачи $P=180$ кН с увеличением частоты вращения до

$W=10$ рад/с уровень вибраций возрастает более значительно (от 55 дБ до 65 дБ), которое достигается при $W=10$ рад/с.

Выводы

Сравнение средних значений технологических параметров бурения долот показывает, что скорость бурения и энергоёмкость одношарошечного долота выше трёхшарошечного соответственно в 1,47 и 1,16 раза. Уровень вибраций одношарошечного долота в 1,92 раза ниже, а стойкость долота в 1,4 раза выше этих показателей, чем для трёхшарошечного долота. Передача осевого усилия от корпуса долота на шарошку позволяет увеличить передачу энергии её движения непосредственно на забой, а не через наклонные цапфы, как в трёхшарошечном долоте. Последнее обстоятельство позволяет ожидать, что при бурении пород трещиноватых и перемеживающихся по физико-механическим свойствам одношарошечное долото покажет лучшие результаты, чем трёхшарошечное.

1. *Киклевич И.А.* Интенсификация шарошечного бурения наложением колебаний на усилие подачи / И.А. Киклевич, А.А. Краснопольский, К.Н. Харлашкин // Донецк: НИГРИ, 1970. 36 с.
2. *Матвеев Г.И.* Пути повышения эффективности одношарошечных долот / Г.И. Матвеев // Бурение. – 1973.- вып.12. - С. 11-13.
3. *Зубарев А.В.* Одношарошечные долота. / А.В. Зубарев, Г.И. Матвеев, Ю.В. Рыжиков и др. – М. Недра, 1971. -176 с.
4. *А.с. № 859 588 СССР.* Одношарошечно е долото / К.Н. Харлашкин, С.В. Кононыхин, А.П. Манакин, [и др.] // Оpubл. 1981. Бюлл. № 32.
5. *Кононыхин С.В.* Производственные испытания одношарошечных долот с вертикальной цапфой при бурении скважины большого диаметра / С.В. Кононыхин, А.И. Повзун // Збірник матеріалів IV регіональної науково - практичної конференції "Проблеми гірничої технології". - Красноармійськ, КП ДонНТУ. - 2014. - С. 206-213.
6. *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 2013 р., КИИ ДонНТУ. Красноармійськ. С. 48- 53.
7. *Шамансуров Л.А.* Кинематика шарошечных долот / Л.А. Шамансуров, Г.Л. Стеглянов // Ташкент: ФАН УзССР, 1977. – 103 с.
8. *Голикова Т.И.* Свойства D - оптимальных планов и методы их построения / Т.И. Голикова, Микешина // Новые идеи в планировании эксперимента. – М.: 1969. - С. 34-39.
9. *Кафаров В.В.* Методы кибернетики в химии и химической технологии / В.В. Кафаров. – М.: Изд - во "Химия", 1971. – 496 с.

В.Г. Синков, С.В. Кононихін, О.І. Повзун, П.С. Керніс

ДОСЛІДЖЕННЯ БУРОВОГО ІНСТРУМЕНТА З УДАРНОЮ І РІЗАЛЬНОЮ ДІЄЮ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ЗУБКІВ НА ЗАБІЙ

У статті наведено результати досліджень технологічних параметрів буріння одношарошечного долота з вертикальною цапфою і тришарошечного долота під час буріння вибухових свердловин діаметром 215,9 мм у вапняку міцністю 8 за шкалою проф. М.М. Протодьяконова. Застосування одношарошечного долота з вертикальною цапфою підвищило швидкість буріння, знизило енергоємність процесу і значно зменшило рівень вібрацій на патроні обертача бурового станка.

Ключові слова: долото одношарошечне, вертикальна цапфа, швидкість і енергоємність буріння, рівень вібрацій.

V.G. Synkov, S.V. Kononykhin, O.I. Povzun, P.S. Kernis

RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF BLASTHOLE DRILLING WITH CUTTER DRILLING BITS WHICH HAVE PINS OF DIFFERENT REGIDITY

Some results of comparative tests of the one-cutter drilling bits with vertical and sloping pins are given in the article. It also gives the results of the three-cutter drilling bit test while drilling a blasthole which is 215,9 mm in diameter for blasting work at the Central open pit of Dokuchayevsk flux-dolomite intergrated works by rock-drilling machine 2СБШ-200. In the process of drilling the speed and power capacity needed for the blasthole drilling and the level of vibrations on the cartridge of the boring head were measured. It was concluded that the use of the one-cutter drilling bit with a vertical pin conducted the drilling speed increase, power consumption decrease and a considerable drop of the vibration level on the cartridge of the boring head.

Keywords: one-cutter drilling bit, vertical pin, drilling speed, power consumption, a level of vibrations.