

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА, ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ ПРИ БУРЕНИИ

*Соискатель А.Ю. Грицаенко, д.т.н., проф. С.В. Борщевский, к.т.н., доц. С.В. Кононыхин, к.т.н., проф. И.В. Купенко, ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»*

**Актуальность.** При бурении шпуров и скважин для взрывных работ одной из главных задач является выбор бурового инструмента для бурения конкретных горных пород, спектр которых очень широк – от мягких и пластичных до крепких, хрупких, абразивных и трещиноватых. В настоящее время для бурения взрывных скважин на открытых горных работах, в породах средней крепости и пластичных, широкое распространение получили трёхшарошечные долота, заменившие ударный буровой инструмент. Однако жесткость шарошечных долот значительно меньше, ударного и режущего бурового инструмента за счет установки шарошек на цапфах, консольно закрепленных на лапах, консольно установленных в корпусе долота. В результате использования такой конструкции бурового инструмента ограничен рост его производительности и эффективности из-за возникновения высокого уровня вибраций бурового станка. Попытки наложения продольных колебаний на систему подачи бурового става, также приостановлены, из-за возникновения высокого уровня вибраций бурового станка при бурении. Бурение трещиноватых горных пород также становится проблемным из-за появления высокого уровня вибраций бурового станка.

Бурение ударным инструментом предусматривает формирование энергии ударного импульса в буровом агрегате и передаче его на забой скважины. При тензометрировании и записи ударного импульса можно проследить его первоначальную форму, а затем изменённую после отражения от забоя. При шарошечном бурении ударный импульс формируется на забое скважины путём преобразования вращательного движения корпуса долота в перекачивание шарошки с зубками по забою. При этом корпус шарошечного долота воспринимает отраженный от породы забоя импульс энергии, который воспринимается тензодатчиком, установленным на буровом стае вблизи корпуса долота, и передаётся дальше на устройство подачи бурового станка. Поэтому отраженный от забоя сигнал может служить мерилем качества процесса разрушения на забое.

**Новизна.** Для повышения жесткости бурового инструмента разработано новое одношарошечное долото с вертикальной цапфой [1], позволяющее передавать осевое усилие от корпуса долота непосредственно на шарошку, которая установлена под углом к корпусу долота и соединена с ним вертикальной цапфой со сферическим подшипником, а усилие от корпуса долота на шарошку передаётся через радиально-упорный подшипник. Испытание таких одношарошечных долот при бурении скважин в породах средней крепости и пластичных показало их более высокую эффективность по скорости бурения и снижению уровня вибраций на долоте и буровом стае [2, 3].

**Объект исследования.** В работе приведены результаты исследования технологических и конструктивных показателей бурения одношарошечных долот с вертикальными цапфами при бурении взрывных скважин диаметром 76 мм в известняке крепостью 8 по шкале проф. М. М. Протодьяконова.

**Ключевые слова:** долото одношарошечное, вертикальная цапфа, скорость бурения, дисперсия и частота продольные колебания.

**Цель работы** – установить функциональную зависимость между конструктивными параметрами долот и режимными параметрами бурения для оценки технологических, динамических и частотных показателей бурения одношарошечными долотами  
**Последовательность выполнения работы.** Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях на буровом стенде путём реализации D-оптимального, рототабельного пятифакторного плана с числом опытов N=42, каждый фактор реализован

на трёх уровнях, с повторением каждого опыта. Запись динамических нагрузок велась по двум каналам одновременно для продольных и крутильных колебаний.

В качестве факторов, оказывающих влияние на технологические параметры бурения, были приняты:  $X_1$ -угол наклона шарошек долот, ( $Q=20^0, 25^0$  и  $30^0$ );  $X_2$ -число зубчатых венцов на каждой шарошке, ( $n=4, 5$  и  $6$  шт);  $X_3$ -расстояние между зубками в зубчатом венце, ( $l=12, 14$  и  $16$  мм);  $X_4$ -усилие подачи на забой, ( $F=26, 47, 60$  кН);  $X_5$ -частота вращения долота, ( $\omega=100, 150, 300$  об/мин.).

Конструктивные и режимные параметры бурения представлены в таблице 1. В качестве измерительной аппаратуры использовался осциллограф, тензоусилитель, тензодатчики. Записи колебаний обрабатывались по соответствующей методике. После обработки осциллограмм и разложения записей колебаний в ряд Фурье спектр колебаний разложен на пять гармоник. Для каждой из пяти гармоник рассчитана дисперсия и спектр частот входящих в состав этой гармоники.

**Таблица 1**

**Натуральные и кодированные значения факторов**

Факторы		Уровни факторов			Интервал варьирования
		-1	0	+1	
Конструктивные	$X_1$ - угол наклона шарошки, $Q^0$ , градусы	20	25	30	5
	$X_2$ - число зубчатых венцов шарошки, $n$ , штук	4	5	6	1
	$X_3$ - расстояние между зубками, $l$ , мм	12	14	16	2
Режимные	$X_4$ - усилие подачи на забой, $F$ , кН	26	43	60	17
	$X_5$ - частота вращения долота, $\omega$ , об. / мин.	100	200	300	100

**Результаты** проведенной работы. В работе приведены результаты и анализ следующих параметров: скорость бурения, дисперсия и частота первой гармоники продольных колебаний. Результаты исследования представлены в виде уравнений регрессии (1,2,3) для скорости бурения, дисперсии и частоты продольных колебаний на первой гармонике, полученных в результате обработки экспериментальных данных по известным методикам. Для удобства и наглядности анализа исследований каждое аналитическое выражение сопровождается графическим материалом, состоящим из двух рисунков, каждый из которых в четырёхмерном пространстве показывает исследуемые зависимости. Четвёртое измерение на каждом рисунке представлено дискретным в виде трёх поверхностей отклика выполненных для одношарошечных долот с одним из трёх углов наклона шарошки.

*1. Уравнение регрессии для скорости бурения*

$$Y_1 = 0.14876 + 0.03462X_1 + 0.00878X_2 + 0.00662X_3 + 0.04193X_4 + 0.08685X_5 + 0.00227X_1X_2 + 0.00098X_1X_3 + 0.01127X_1X_4 + 0.0208X_1X_5 - 0.013X_2X_3 + 0.00133X_2X_4 - 0.001X_2X_5 - 0.0096X_3X_4 - 0.0014X_3X_5 + 0.02011X_4X_5 + 0.01X_1^2 + 0.00574X_2^2 - 0.0075X_3^2 - 0.0338X_4^2 + 0.05349X_5^2 \quad (1)$$

*2. Уравнение регрессии для дисперсии первой гармоники*

$$Y_2 = 392.2 + 188.6X_1 - 203.5X_2 + 61.9X_3 + 76.7X_4 - 87.67X_5 - 147.1X_1X_2 + 66.4X_1X_3 - 73.4X_1X_4 - 44.2X_1X_5 - 53.1X_2X_3 + 45.2X_2X_4 - 53.1X_2X_5 + 168.3X_3X_4 - 209.9X_3X_5 + 96.9X_4X_5 - 160.2X_1^2 + 269.3X_2^2 + 122.8X_3^2 - 1.731X_4^2 + 111.8X_5^2 \quad (2)$$

*3. Уравнение регрессии для частоты первой гармоники*

$$Y_3 = 22.25 + 2.205882X_1 + 0.911765X_3 + 2.705882X_4 + 3.823529X_5 - 2.375X_1X_2 - 0.8125X_1X_3 - 0.25X_1X_4 + 1.0X_1X_5 + 1.4375X_2X_3 + 2.75X_2X_4 - 0.875X_2X_5 + 5.0625X_3X_4 + 4.6875X_3X_5 + 2.875X_4X_5 - 5.75X_1^2 + 4.75X_2^2 - 0.75X_3^2 - 0.25X_4^2 + 1.75X_5^2 \quad (3)$$

На рис. 1а показаны зависимости скорости бурения одношарошечными долотами с углами наклона шарошек  $Q=30^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$  и  $20^{\circ}$ . Последовательность перечисления поверхностей отклика для углов наклона долот соответствует порядку их размещения на всех рисунках по высоте. Первым перечисляется долото с углом наклона для верхней поверхности и так далее.

Скорость бурения возрастает с увеличением усилия подачи и частоты вращения для всех долот. Скорость бурения возрастает с увеличением усилия подачи несколько нелинейно. При малых усилиях подачи скорость бурения достигает экстремума - максимума при среднем усилии подачи  $F=0$  усл. ед. и небольшой частоте вращения  $\omega=0,5$  усл. ед.

На рис. 1б показана зависимость скорости бурения от вооружения шарошки долота – числа рядов зубков и расстояния между зубками. Скорость бурения возрастает с увеличением числа рядов с зубками и от увеличения расстояния между зубками для всех долот. Причём закономерности изменения скорости бурения для всех долот при  $Q=20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$  и  $30^{\circ}$  одинаковы.

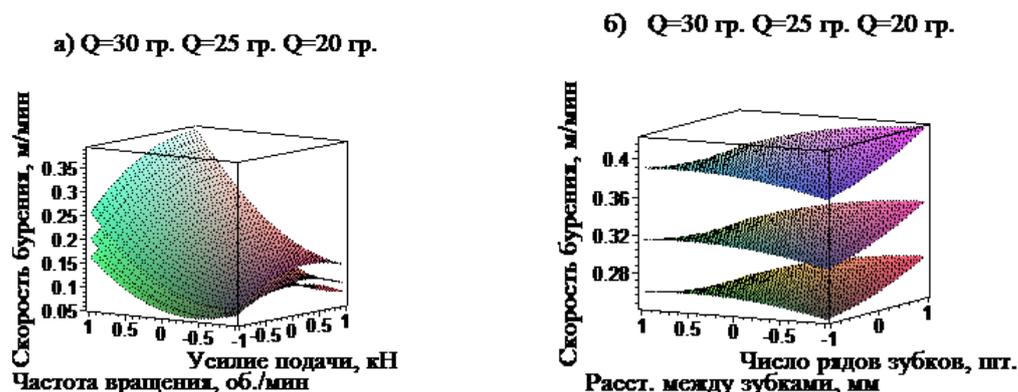


Рис. 1. - Зависимость скорости бурения долотами с наклоном шарошек под углом  $Q=20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$  и  $30^{\circ}$  от:

а) усилия подачи и частоты вращения долот; б) числа рядов зубков и расстояния между зубками шарошки.

На рис.2а показана зависимость дисперсии продольных колебаний от усилия подачи и частоты вращения. Для долота с углом наклона шарошки  $30^{\circ}$  увеличение усилия подачи и частоты вращения снижает дисперсию продольных колебаний во всём диапазоне изменения режимных параметров. Дисперсия изменяется от  $D=1200$  усл. ед. до  $D=530$  усл. ед. В диапазонах (от  $F=+0,5$  до  $F=+1,0$ ) для усилия подачи и частоты вращения (от  $\omega=+0,5$  до  $\omega=+1,0$ ) форма поверхности близкая к плоской.

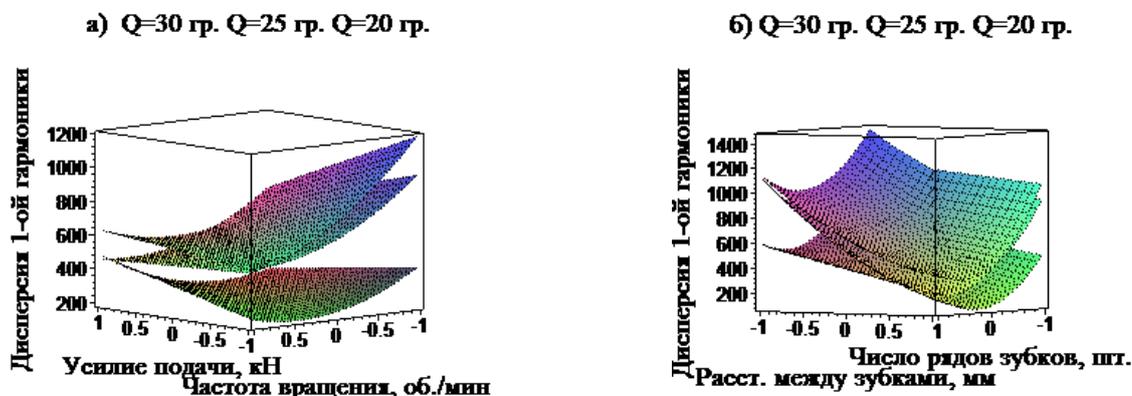


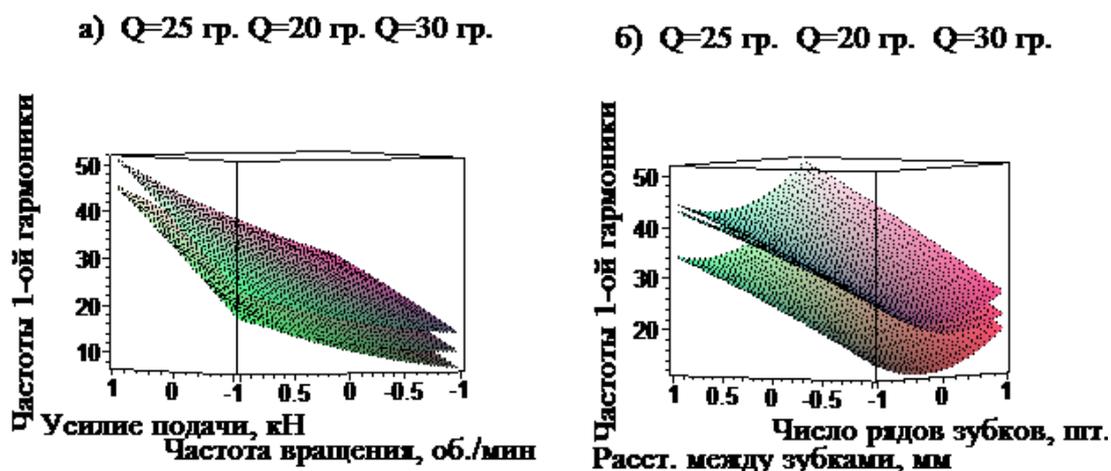
Рис. 2. - Зависимость дисперсии 1-ой гармоники продольных колебаний при бурении одношарошечными долотами с наклоном шарошки под углом  $Q=20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$  и  $30^{\circ}$  от:

а) усилия подачи и частоты вращения долот; б) числа рядов зубков и расстояния между зубками шарошки.

Для долота с углом наклона шарошки 25 град. поверхность отклика представлена в виде экстремальной зависимости минимальное значение которой проходит через следующие точки на поверхности отклика: одна точка на поверхности отклика, ( $F=+1,0 \omega=0$ ) вторая точка ( $F=-1,0 \omega=-0$ ). Причём дисперсия по линии перегиба возрастает с увеличением усилия подачи с 500 до 540 усл. ед. После линии перегиба дисперсия возрастает с увеличением усилия подачи и частоты вращения. Для долота с углом наклона шарошки  $Q=20$  град. поверхность отклика также представлена в виде экстремальной зависимости. Перегиб поверхности, её минимум, проходит по линии через следующие точки на поверхности отклика ( $F=+1,0 \omega=-0,5$ ) и вторая точка ( $F=-1,0 \omega=+0,5$ ). в виде экстремальной зависимости минимальное значение которой проходит через следующие точки на поверхности отклика: одна точка на поверхности отклика, ( $F=+1,0 \omega=0$ ) вторая точка ( $F=-1,0 \omega=+0,5$ ). После линии перегиба дисперсия на долоте возрастает с изменением частоты вращения и усилия подачи в обе стороны - при увеличении и уменьшении. Линию перегиба на поверхности отклика можно считать областью рациональных режимных параметров.

На рис. 2б показана зависимость дисперсии 1-ой гармоники продольных колебаний от числа рядов зубков и расстояния между зубками. поверхности отклика для всех долот имеют экстремальную зависимость от числа рядов зубков шарошки, минимальное значение дисперсии достигается при среднем значении числа рядов.

На рис. 3а показана зависимость частоты продольных колебаний 1-ой гармоники от усилия подачи и частоты вращения одношарошечных долот с углами наклона шарошек  $Q=20^0, 25^0$  и  $30^0$ .



**Рис. 3.** - Зависимость частоты 1-ой гармоники продольных колебаний при бурении одношарошечными долотами с наклоном шарошки под углом  $Q=25^0, 20^0$  и  $30^0$  от:

а) усилия подачи и частоты вращения долот; б) числа рядов зубков и расстояния между зубками.

Поверхности близки к плоским, параллельным плоскостям показывающим, что частоты первой гармоники возрастают пропорционально увеличению усилия подачи и частоты вращения. На рис. 3б показана зависимость частоты продольных колебаний 1-ой гармоники от числа рядов зубков и расстояния между зубками. Увеличение расстояния между зубками увеличивает частоту а изменение числа рядов зубков форму поверхности делает экстремальной, минимум экстремума достигается при среднем значении числа рядов зубков.

**Выводы.** Исследования показали увеличение скорости бурения и снижение уровня вибраций при бурении долотом с более жесткой конструкцией. Отраженный от забоя сигнал, в виде импульса энергии, можно использовать для создания автоматической системы регулирования режимных параметров бурения шарошечным буровым инструментом в связи

с постоянно изменяющимися физикомеханическими свойствами горных пород забоя скважины и динамическими характеристиками бурового става по мере изменения его длины за счёт углубления скважины. Амплитудофазочастотную характеристику отраженного сигнала рекомендуется использовать для формирования дополнительных импульсов при наложении вибраций на буровой став с шарошечным долотом повышенной жесткости его конструкции.

#### **Библиографический список:**

1. А. с. № 859 588 СССР. Одношарошечное долото / Харлашкин К.Н., Кононыхин С.В., Манакин А.П., [и др.]. Оpubл. 1981. Бюлл. № 32.
2. Харлашкин К.Н. Исследование влияния конструктивных параметров одношарошечных долот на кинематику шарошки / К.Н. Харлашкин, С.В. Кононыхин // Сборник научных трудов "Горные, строительные и дорожные машины" - К.: Изд - во "Техника", 1981. - № 32. - С. 55 - 60.
3. Кононихін С.В. Исследование траекторий движения зубков одношарошечного долота с вертикальной цапфой. // С.В. Кононихін Збірник матеріалів II регіональної науково – практичної конференції «Сучасні аспекти механізації енергоємних виробництв». / 25 квітня 2013р., К І І ДонНТУ. Красноармійськ. С. 48- 53.