

УДК 622.24.051

А.М. Бочковский, канд. техн. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ СИЛОВОГО ЦЕНТРА АЛМАЗНОГО ДОЛОТА

The procedure of definition of coordinates of the power center of a diamond bit is developed. Calculations are executed and the actual arrangement of the power centers in used bits and drill heads is shown. New tools with the minimal deviation of the power center are created.

При бурении скважины к алмазному долоту (рис. 1) прикладывают осевую нагрузку и вращают его с определенной скоростью, вследствие чего вставки долота, преодолевая сопротивление горной породы, формируют общий крутящий момент долота, состоящий из крутящих моментов отдельных вставок.

Крутящие моменты от алмазных вставок, как правило, не уравновешены относительно геометрической оси долота и определяют собственную ось, которая называется главной центральной осью инерции, или силовой осью. Силовая ось может совпадать с геометрической осью или не совпадать и находиться от нее на определенном расстоянии. Задачей нашего исследования является определение этого расстояния.

Не скомпенсированные относительно геометрической оси крутящие моменты образуют силовую ось, смещенную от оси вращения. При этом алмазное долото работает неустойчиво, с повышенными вибрациями, процесс разрушения породы нестабильный, наблюдается повышенный износ рабочей и калибрующей поверхностей, снижаются технико-экономические показатели бурения. Чтобы исключить такие условия эксплуатации, необходимо разработать новые конструкции долот и режимы бурения, обеспечивающие уравновешивание крутящих моментов относительно геометрической оси – оси вращения. В свою очередь это предусматривает разработку методики для определения координат силового центра алмазного долота.

В подобных вращающихся инструментах или частях машин при несовпадении главной центральной оси инерции с осью вращения производится балансировка, приводящая в итоге к совмещению осей. Для алмазных долот процесс балансировки в заводских условиях не возможен, поскольку не известны крутящие моменты для алмазных вставок, формирующиеся только при разрушении породы на забое скважины.

В этой связи необходимо разработать расчетные методы определения крутящих моментов и координат главной центральной оси инерции (силового центра) на рабочей поверхности долота.

Исходными данными для разработки являются алмазное долото, оснащенное определенным количеством вставок, его геометрические размеры, координаты вставок на рабочей поверхности, физико-механические свойства породы и режим бурения.



Рис. 1. Общий вид алмазного долота ИСМ 214,3 Т

Для решения задачи поместим горизонтальную проекцию рабочей поверхности долота в координатные оси X, Y на произвольном расстоянии X_0, Y_0 от геометрического центра долота (рис. 2).

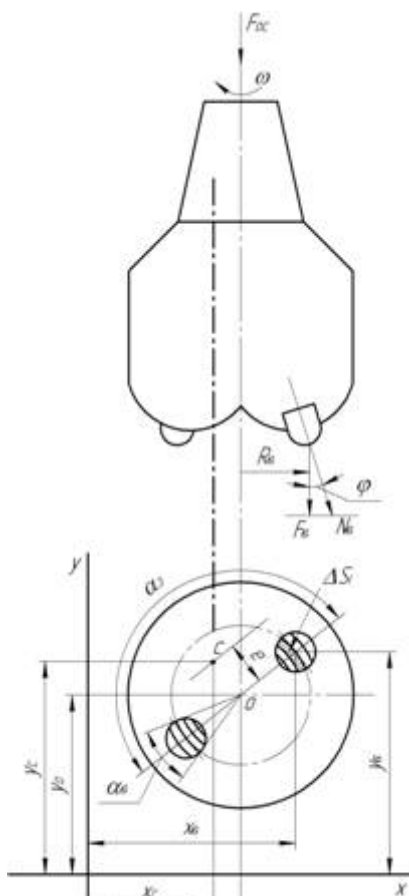


Рис. 2. Схема рабочей поверхности алмазного долота для расчета координат силового центра

Определим крутящий момент для каждой i -й вставки:

$$M_i = N_{vi} K_{pi} R_{vi}, \quad (1)$$

где N_v – нормальная нагрузка на вставку; K_p – коэффициент сопротивления резанию; R_v – радиус от геометрической оси долота до центра вставки.

Общий крутящий момент долота представляет собой сумму крутящих моментов всех вставок:

$$M_0 = \sum_{i=1}^m N_{vi} K_{pi} R_{vi}, \quad (2)$$

где m – количество вставок на рабочей поверхности долота.

Нормальную нагрузку на вставку алмазного долота находим как сумму нагрузок по кольцевым участкам этой вставки:

$$N_v = \sum_{i=1}^l P_i \Delta S_i, \quad (3)$$

где l – количество кольцевых участков на рабочей поверхности вставки, зависящее от принятого шага расчета; P – контактное давление в кольцевом участке; ΔS – площадь кольцевого участка вставки.

Контактное давление по рабочей поверхности вставок алмазного долота – величина переменная, обусловленная энергоемкостью разрушения, коэффициентом сопротивления резанию, уровнем оснащенности и другими факторами.

Контактное давление для i -го элемента j -го кольца бурового инструмента составляет [1]:

$$P_{i,j} = \frac{F_{oc}}{2\pi R_j \Delta R K_{zi,j} \frac{K_{pj}}{E_j} \sum_{j=1}^n \frac{E_j}{K_{pj}} \cos \varphi_j}, \quad (4)$$

где F_{oc} – осевая нагрузка на долото; $R, \Delta R$ – радиус и ширина кольцевого участка; $K_{zi} = \frac{\alpha_i}{\alpha_3 \cos \varphi_j}$ – коэффициент оснащенности зоны; α_i – угол рабочего

элемента по окружности радиуса R_j ; α_3 – радиальный угол между исследуемой вставкой и предыдущей по ходу вращения (угол зоны); K_p – коэффициент сопротивления резанию; E – энергоемкость разрушения; n – количество расчетных колец на рабочей поверхности долота; φ – угол наклона поверхности долота к оси абсцисс.

При расчете по формуле (4) энергоемкость разрушения породы для отдельных условий может быть принята постоянной [1] или определена с учетом режимных параметров и свойств породы [2]:

$$E = \frac{K_p Z}{\Delta R} \left[\frac{\nu \alpha_3 \cos \varphi}{2\pi \omega} \right]^{n-1}, \quad (5)$$

где Z, n – экспериментальные коэффициенты, характеризующие процесс разрушения породы, (числовые значения для разных пород приведены в [2; 3]); ν – скорость бурения; ω – скорость вращения долота.

Нагрузку на вставку долота можно определить также по упрощенной формуле [4]:

$$N_{\sigma} = Z \left[\frac{v \alpha_3 \cos \varphi}{2\pi\omega} \right]^n. \quad (6)$$

Таким образом, определив по формулам (3) или (6) нормальные нагрузки на вставки, и подставив их значения в (1) и (2), находим крутящие моменты для каждой из них и долота в целом.

Будем оперировать крутящими моментами для вставок как массами и по законам механики [5] рассчитаем координаты силовой оси – силовой центр долота. Для этого определим статические моменты относительно координатных осей X, Y :

$$S_x = \sum_{i=1}^m M_i Y_i ; \quad (7)$$

$$S_y = \sum_{i=1}^m M_i X_i ; \quad (8)$$

Находим координаты силового центра алмазного долота:

$$X_c = \frac{S_y}{M_0} ; \quad (9)$$

$$Y_c = \frac{S_x}{M_0}. \quad (10)$$

Пересечение линий X_c, Y_c определяет силовой центр долота C в отличие от геометрического центра O . Расстояние между центрами называется эксцентриситетом e или отклонением силовой оси долота.

На основе разработанной методики составлены программы и выполнены расчеты. Фактические значения эксцентриситета для разных конструкций алмазного бурового инструмента и условий бурения приведены в таблице.

Эксцентриситеты для алмазного бурового инструмента при разрушении горных пород разной твердости

Наименование породы	Твердость, $R_{\text{ш}}$, кгс/мм ²	Эксцентриситет e , мм			
		ИСМ 214,3 Т	ИСМ 214,3 СТ	ИСМ АП 214,3 МС	ИСМ 212,7/80 СТ
Аргиллит	45	9,33	6,65	1,02	0,17
Алевролит	60	6,92	4,10	1,07	0,09
Песчаник	66	8,34	5,43	0,96	0,13
Песчаник	80	7,58	4,67	0,91	0,11
Песчаник	99	8,41	5,51	0,77	0,14
Песчаник	136	8,57	5,68	0,81	0,14
Известняк	162	8,59	5,70	0,79	0,14
Песчаник	230	8,20	5,28	0,77	0,13
Песчаник	290	5,26	2,91	0,66	0,06
Габбро	298	7,25	4,38	1,31	0,10

Созданные до разработки методики алмазные долота ИСМ 214,3 Т и ИСМ 214,3 СТ со спиральными схемами расположения вставок имеют значительные отклонения силовой оси. Это явилось одной из причин частого образования кольцевых канавок на рабочей поверхности этих долот. В последних конструкциях алмазного бурового инструмента смещение осей сведено к минимуму, особенно в бурильных головках ИСМ 212,7/80 СТ (рис. 3).

Такое улучшение достигнуто благодаря размещению вставок по методу эквивалентных лезвий, что обеспечило высокое качество инструмента. Долота ИСМ АП 214,3 МС и бурильные головки

ИСМ 212,7/80 СТ успешно применяются при бурении глубоких скважин.

Выводы

1. Сформулированы аналитические зависимости для расчета координат силового центра алмазного долота.

2. Выполнены расчеты и показано фактическое расположение силовых центров в применяемых долотах и бурильных головках.

3. Величина эксцентриситета в большей мере зависит от конструкции инструмента, чем от режима бурения и твердости горных пород.

4. Перспективным направлением является разработка конструкций и режимов бурения, обеспечивающих уравнивание усилий и крутящих моментов относительно геометрической оси бурового инструмента.



Рис. 3. Общий вид бурильной головки ИСМ 212,7/80 СТ

Литература

1. Бочковский А.М., Крангач В.Т. Расчет нагрузок в буровом инструменте // Сверхтвердые материалы. – 1986. – № 6. – С. 36 – 40.
2. Бочковський О.М. Аналітичне дослідження енергоємності руйнування породи під час обертового буріння // Нафтова і газова пром-сть. – 1999. – № 6. – С. 14 – 17.
3. Бочковский А.М. Разрушение горных пород вставками бурового инструмента // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – С. 107 – 113.
4. Бочковский А.М. Разработка и внедрение калибраторов с прерывистыми лопастями // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – С. 19 – 24.
5. Подольский И. С. Строительная механика. Ч. I. Сопротивление материалов. – М.: Изд-во ГТИ, 1930. – 1030 с.

Поступила 09.06.08