Особенности кинематики шарошечных долот большого диаметра при реактивно-турбинном бурении

Д. Ю. СЕРИКОВ *– к.т.н., Доцент Российского Государственного Университета нефти и газа имени И. М. Губкина*

В данной статье рассмотрены особенности кинематики многошарошечных долот большого диаметра в условиях реактивно-турбинного бурения. Осуществлен анализ кинематики шарошки бурового долота работающего с проскальзыванием вооружения по забою. Определены факторы, влияющие на величину и направления проскальзывания зубьев вооружения по забою скважины. Выявлены недостатки геометрии вооружения шарошечных долот, предназначенных для сплошного бурения, при использовании их в агрегатах РТБ. Проведенное исследование, позволяет сделать вывод о том, что изготовление долот увеличенного диаметра с использованием секций от стандартных корпусных долот для сплошного бурения является не рациональным, так как геометрия вооружения обычных долот не учитывает особенностей взаимодействия зубьев вооружения с поверхностью забоя в условиях РТБ.

Несмотря на мировой экономический кризис, в настоящее время в различных отраслях промышленности у нас в стране и за рубежом, существует устойчивая потребность в сооружении скважин диаметром от 0,5 до 6 м и глубиной 1000 м и более. Такие скважины необходимы для бурения под кондукторы сверх глубоких нефтегазовых и разведочных скважин, для сооружения нефтяных шахт, рудников и других специфических целей. Одним из наиболее эффективных способов бурения таких скважин является, разработанный учеными и конструкторами ОАО НПО «Буровая техника» – ВНИИБТ, способ реактивно-турбинного бурения (РТБ).

Бурение способом РТБ осуществляется с помощью специального забойного агрегата, состоящего из нескольких, параллельно работающих и жестко связанных между собой турбобуров с долотами. Нагнетаемая по трубам промывочная жидкость приводит во вращение валы турбобуров забойного агрегата, которые в свою очередь, передают его шарошечным буровым долотам (рис. 1). Агрегат вращается самостоятельно под действием сил реакции забоя, в результате чего долота ограниченного диаметра обрабатывают всю площадь забоя большого диаметра [1,2].

Агрегаты для реактивно-турбинного бурения могут выполняться из 2, 3, 4 и более параллельно расположенных турбобуров, жестко связанных между собой поперечными траверсами. Верхняя траверса крепится к бурильной колонне. Нижняя сторона верхней траверсы присоединяется к корпусам турбобуров. Верхняя траверса полая с каналами через нее из бурильной колонны промывочная жидкость поступает в турбобуры и далее в долота и скважину. Нижняя траверса жестко связывает нижнюю часть корпусов турбобуров. На ней устанавливаются грузы. Как правило, они имеют цилиндрическую форму с отверстиями, через которые проходят корпуса турбобуров. При реактивно-турбинном бурении на поверхности монтируют обычное буровое оборудование, используемое при бурении глубоких нефтегазовых скважин. На бурильных трубах к забою опускают агрегат с турбобурами с присоединенными к их валам шарошечными долотами. С помощью установленных на поверхности насосов промывочную жидкость через шланги, вертлюг и бурильные трубы подают в турбины агрегата, где гидравлическая энергия потока жидкости преобразуется в механическую энергию валов, вращающих долота по часовой стрелке.

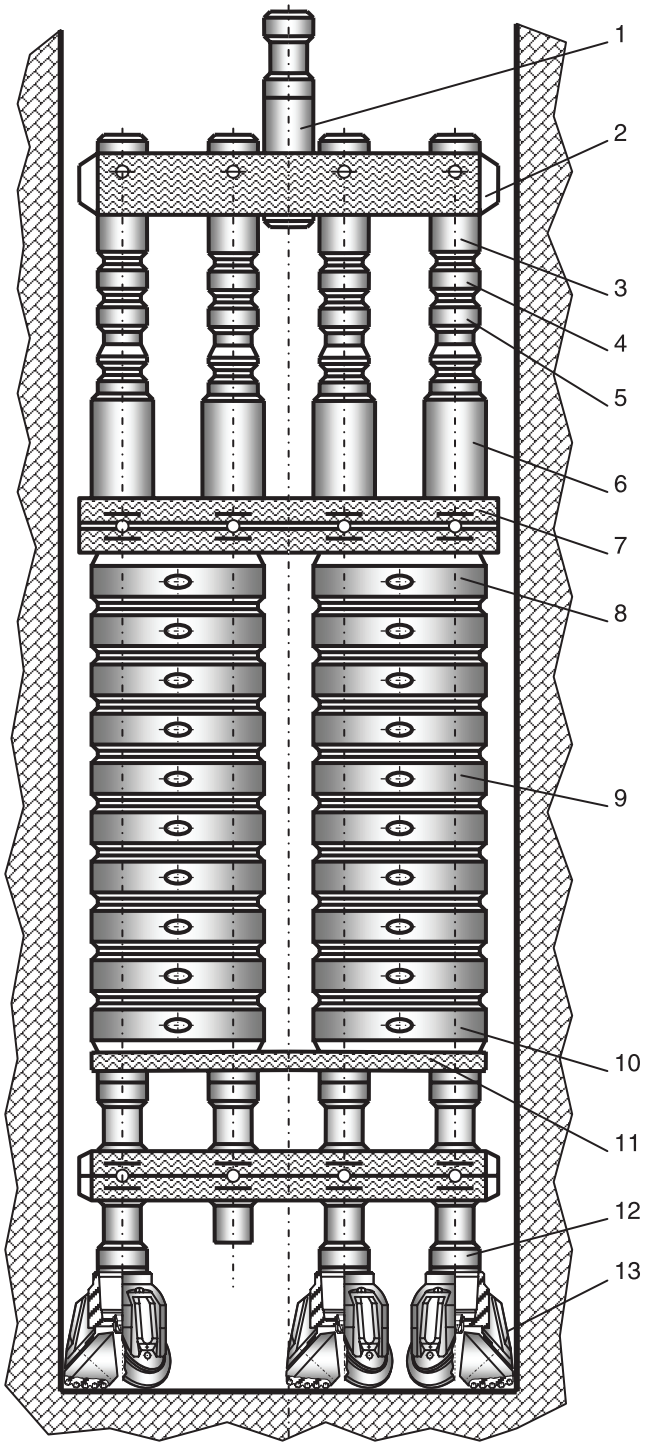

Рис. 1. Реактивно-турбинный бур РТБ6М2-2080

1. *Переводник*
2. *Траверса*
3. *Ниппель*
4. *Переводник предохранительный*
5. *Переводник глухой*
6. *Турбобур*
7. *Хомут верхний*
8. *Груз-утяжелитель верхний*
9. *Груз-утяжелитель средний*
10. *Груз-утяжелитель нижний*
11. *Плита*
12. *Переводник вала*
13. *Долото*

Рис. 2. Трехшарошечное долото увеличенного диаметра ДРБ -750 для РТБ

При возникновении на вале турбобура активного вращательного момента на корпусе турбобура появляется реактивный момент. Суммарный реактивный момент, передающийся на траверсы, осуществляет медленное вращение агрегата против часовой стрелки. Сочетание вращения долот по часовой стрелке с вращением агрегата против часовой стрелки позволяет долотам малого диаметра перекрыть всю площадь большого забоя. В процессе бурения забой очищают от разбуренной породы струями жидкости, выходящими из сопел долот, а вынос ее мелких фракций на поверхность осуществляется восходящим потоком жидкости. Крупные обломки разбуренной породы убираются из забоя в перерывах процесса бурения через бурильные трубы с помощью периодически включаемого эрлифта. Благодаря большой массе грузов, превышающей необходимую осевую нагрузку на забой, бурильная колонна растянута, и система работает как простейший отвес. Поэтому при реактивно-турбинном бурении скважины имеют минимальное отклонение от вертикали.

Для сооружения стволов и скважин диаметрами четыре метра и более способом РТБ, возникла необходимость создания долот увеличенного диаметра (750 мм и более), с целью обеспечения полного перекрытия забоя большого поперечного сечения четырехтурбинными агрегатами.

Так как способ РТБ относиться к планетарному типу бурения, нет необходимости, в использовании долот для сплошного бурения. В связи с этим наиболее простым и эффективным способом создания многошарошечных долот увеличенного диаметра для РТБ является простое увеличение диаметров их корпусов, т.е. разнесение секций на большое удаление от оси вращения долота. Это конструкторское решение позволяет использовать секции от стандартных шарошечных долот корпусного типа. На основе этого принципа была создана целая серия шарошечных долот диаметром 750 мм и более (рис. 2). Однако, ни одна из этих конструкций не позволила в полной мере раскрыть весь потенциал, заложенный в реактивно-турбинном способе бурения. >>>

Многочисленными теоретическими и экспериментальными исследованиями было установлено что, шарошечные долота при РТБ разрушают породу с образованием плоского горизонтального забоя. В связи с этим все шарошки, геометрия вооружения которых не отвечает этому основному условию, заведомо не эффективны.

Чтобы определить основные пути совершенствования геометрии вооружения многошарошечных долот увеличенного диаметра, рассмотрим кинематику шарошек долота, полученного только за счет увеличения диаметра корпуса, вращающегося исключительно вокруг собственной оси (рис. 3).

На (рис. 3.1) представлена кинематическая схема (где: ω_D – угловая скорость вращения долота; ω_1 – угловая скорость вращения первой шарошки; ω_4 – угловая скорость вращения четвертой шарошки; Ω_1 и Ω_4 – величины мгновенных угловых скоростей вращения первой и четвертой шарошек соответственно), на которой шарошки долота увеличенного диаметра представляют собой конусы чистого качения, при этом оси вращения всех шарошек пересекаются с осью вращения долота на поверхности плоского горизонтального забоя.

В этом случае векторное сложение угловых скоростей любой из шарошек с угловой скоростью долота дает вектор результирующей мгновенной скорости, направленный вдоль поверхности забоя и, соответственно образующей шарошки, в сторону от центра вращения долота.

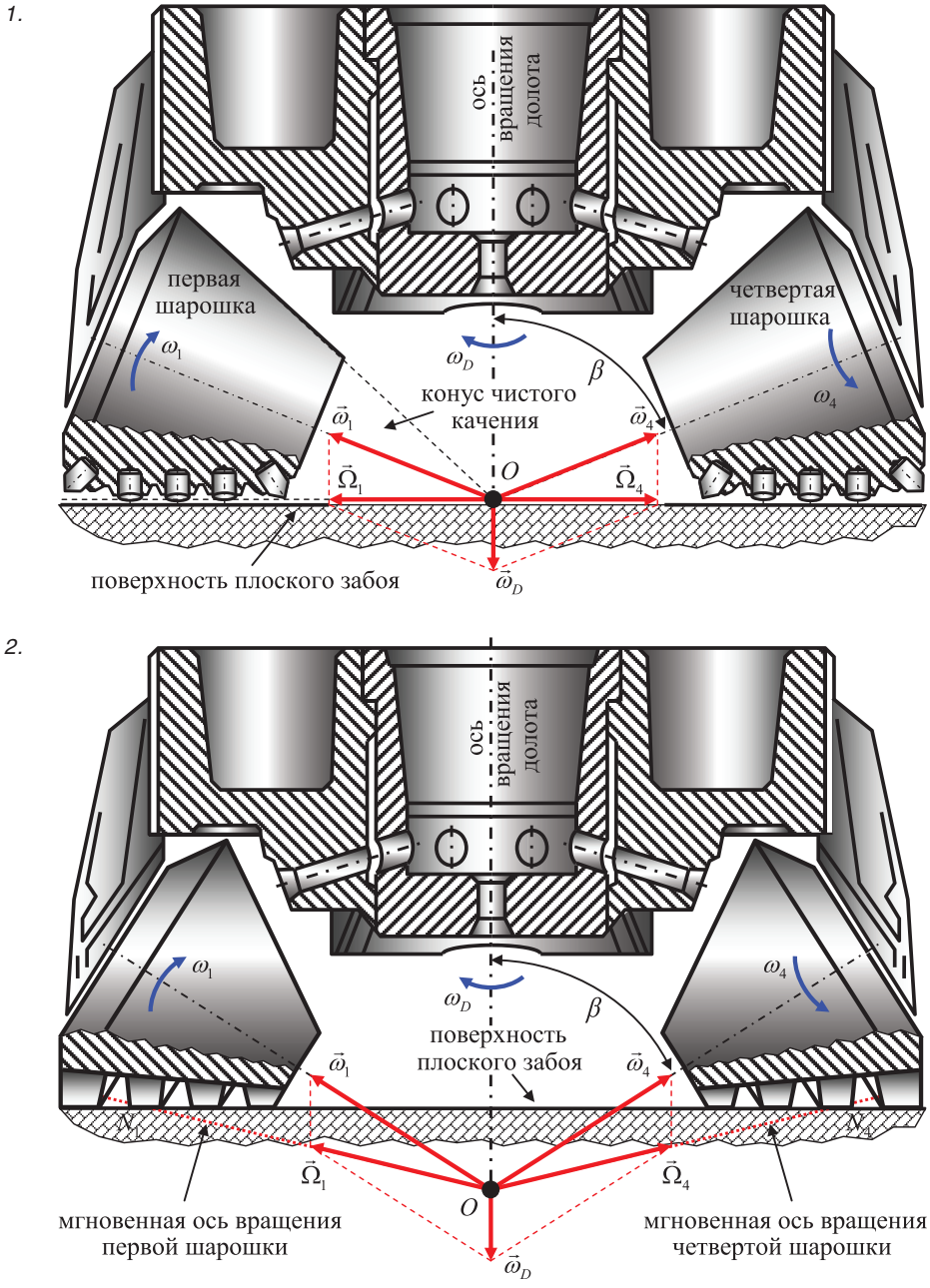

Рис. 3 (1, 2). Кинематическая схема работы шестишарошечного долота увеличенного диаметра при его вращении только вокруг собственной оси

Таким образом, все зубья шарошек с данной геометрией вооружения будут разрушать забой без существенного (связанного лишь с перекатыванием зубьев) скольжения.

Однако при использования этого долота в условиях РТБ, его вооружение будет проскальзывать по забою, вследствие вращения агрегата.

В связи с эти данная геометрия шарошек рекомендуется для долот, предназначенных для бурения твердых и крепких пород способом РТБ.

Если конструктивно уменьшить угол наклона осей шарошек β к оси вращения долота, при одновременном сохранении плоскозабойной компоновки, то кинематика шарошек существенно измениться (рис. 3.2).

В этом случае векторное сложение угловых скоростей каждой из шарошек с вектором угловой скорости долота будет давать вектор результирующей мгновенной скорости, направленный под некоторым углом к поверхности забоя и пересекающий образующую шарошки в нейтральной точке N_1 или N_2 с нулевым скольжением. В результате все зубья вооружения лежащие между осью вращения долота и нейтральной точкой будут «подтормаживать», а зубья, расположенные за этой точкой будут «пробуксовывать». Это является отличительной особенностью долот данной конструкции, от классических долот для сплошного бурения, где, как правило «пробуксовывают» вершинные венцы вооружения [3].

Таким образом, большинство зубьев вооружения шарошек с данной геометрией вооружения будут разрушать забой со скольжением, которое при суммировании со скольжением, связанным с вращением агрегата РТБ могут достигать существенных значений. В дополнении к этому, с целью еще большего увеличения величин этих скольжений, можно использовать классический метод смещения осей шарошек в плане относительно оси вращения долота.

В связи с этим данная геометрия шарошек рекомендуется для долот, предназначенных для бурения мягких и частично средних пород способом РТБ.

Как видно из рис. 3, при создании долот увеличенного диаметра с использованием секций от обычных долот корпусного типа, предназначенных для сплошного бурения, необходимо учитывать, что при одинаковой скорости вращения стандартного долота и долота увеличенного диаметра, изготовленного из секций первого, скорости вращения шарошек будут значительно выше, вследствие увеличения диаметра инструмента.

Стандартная формула для определения рекомендуемой скорости вращения долота увеличенного диаметра [4]:

$$N = \frac{D_D}{D_G} n_R; \text{ где:}$$

D_D – диаметр долота, секции которого использованы при изготовлении долота увеличенного размера, мм;

D_G – диаметр долота увеличенного размера, мм;

n_R – рекомендуемые обороты для долота, секции которого использованы при изготовлении долота увеличенного диаметра, об./мин.

В связи с этим при изготовлении шарошечных долот увеличенного диаметра рекомендуется использовать секции (лапа с шарошкой) стандартных долот корпусного типа с максимально возможными размерами подшипниковых узлов.

Количество шарошек долот увеличенного диаметра, всегда зависит от условий бурения, но при выборе необходимо учитывать три основных фактора: вибрация, износ инструмента и недопущения соприкосновения корпуса долота со стенкой скважины. При увеличении количества шарошек снижается вибрация бурового инструмента, но при этом увеличивается необходимая нагрузка на долото. В свою очередь, при большем количестве шарошек увеличивается ресурс работы долота, но при этом, опять же увеличивается необходимая нагрузка на инструмент.

Нагрузка на долото увеличенного диаметра в идеале должна совпадать с рекомендованной для долота, из секций которого оно изготовлено из расчета на одну шарошку:

$$Q_P = \frac{Z}{3} Q_D; \text{ где:}$$

Z – количество шарошек в долоте увеличенного диаметра, шт;

Q_D – рекомендованная нагрузка на долото, из секций которого изготовлено долото увеличенного диаметра, кН.

Таким образом, проведенный анализ кинематики долот увеличенного диаметра свидетельствует о том, что шарошки (даже имеющие форму конуса чистого качения) инструмента данного типа всегда работают со скольжением. За счет изменения угла наклона цапф, можно добиться существенного увеличения проскальзывания вооружения по горизонтальному забою, являющегося главной характеристикой долот, предназначенных для бурения мягких пород. Изготовление долот увеличенного диаметра с использованием секций от стандартных корпусных долот для сплошного бурения является не рациональным, так как геометрия вооружения обычных долот не учитывает особенностей взаимодействия зубьев вооружения с поверхностью забоя в условиях РТБ.

Литература:

1. Реактивно-турбинное бурение. Труды ВНИИБТ. Вып.18. – М. Недра.1967.
2. Сериков Д. Ю. Повышение эффективности шарошечного бурового инструмента с косозубым вооружением. – М.: Нефть и газ, 2015.
3. Богомолов Р. М., Носов Н. В., Крылов С. М., Кремлев В. И. Совершенствование технологии обработки и сборки буровых шарошечных долот. М. Машиностроение. 2013.
4. Буримов Ю. Г., Копылов А. С., Орлов А. В. Бурение верхних интервалов глубоких скважин большого диаметра. М.: Недра, 1975. ●