Совершенствование геометрии вооружения шарошечного бурового инструмента

Д. Ю. СЕРИКОВ *– к.т.н., доцент РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, e-mail: serrico@rambler.ru*
В. А. ЯСАШИН *– д.т.н., профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина*
У. С. СЕРИКОВА *– к.т.н., доцент РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина*

В статье приведены результаты работы, направленной на совершенствование конструкций вооружения шарошечного бурового инструмента, с целью минимизации эффекта рейкообразования. Определены основные причины возникновения эффекта «рекообразования» в процессе проведения буровых работ. Представлены несколько вариантов конструкций вооружения периферийных и вершинных венцов шарошек бурового инструмента, позволяющих эффективно предотвращать появления забойной рейки. Разработана принципиальная схема трехшарошечного долота одновременно оснащенного шарошками с периферийными зубчатыми и дисковыми венцами, а также различные варианты ее исполнения, позволяющие повысить эффективность работы шарошечного бурового инструмента за счет снижения энергоемкости процесса разрушения породы и предотвращения образования забойной рейки.

Ключевые слова: шарошечный буровой инструмент, геометрия вооружения, забойная рейка.

Одной из проблем, возникающей при работе шарошечного бурового инструмента, отрицательно влияющей на основные показатели бурения, такие как, механическая скорость и проходка на долото, является образование зубчатой рейки на поверхности забоя скважины.

Суть проблемы заключается в следующем. Спустя какое-то время, после начала работы инструмента, зубья вооружения, разрушая породу поверхности забоя, образуют в ней поверхность обратную своей собственной геометрии. В результате, вместо дальнейшего успешного разрушения породы вооружением бурового инструмента, шарошки перекатываются по ответной рейке поверхности забоя, подобно шестерням зубчатых механических передач. Эффект рекообразования может появляться как на стадии приработки инструмента, так и по прошествии достаточно продолжительного времени бурения, и связан с множеством различных факторов. Зачастую эффект рейкообразования приводит не только к существенному уменьшению механической скорости бурения, но и к отсутствию проходки, как таковой.

В связи с этим разработка и совершенствование конструкций вооружения бурового шарошечного инструмента не склонного к рейкообразованию, и по настоящее время является актуальной задачей.

Одним из способов решения этой проблемы, является создание геометрии вооружения шарошек бурового инструмента, способной эффективно разрушать породу, одновременно не допуская образования забойной рейки.

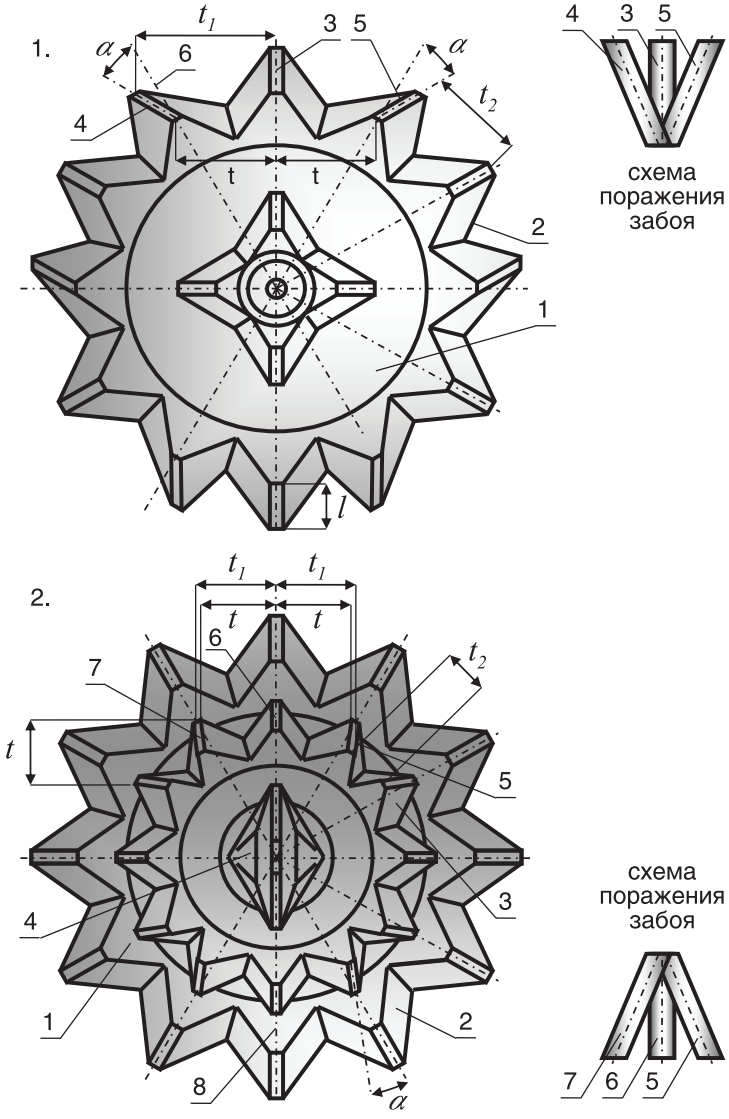

Рис. 1. Варианты геометрии вооружения шарошек
1 – ведущий венец; 2 – ведомый венец

Первым вариантом конструкции вооружения шарошки [1,4], способной эффективно предотвращать эффект рейкообразования, является шарошка бурового долота (рис. 1.1), включающая конусообразный корпус 1 периферийный венец 2 которого выполнен с фрезерованными или литыми зубьями 3, 4, и 5, ориентированными под разными углами к образующей 6 корпуса 1. При этом зубья 3 расположенные на венце 2 через один зуб, ориентированы вдоль образующей 6, а зубья 4 и 5, расположенные смежно с зубьями 3, повернуты относительно образующей 6 под углом α, причем повернуты зубья 4 и 5 в противоположные стороны. Угол поворота α зубьев 4 и 5 задается в зависимости от физико-механических свойств горных пород и находиться в пределах 5°–15°, причем большее значение угла поворота соответствует более твердым породам, а меньшее значение – менее твердым. Все зубья 3, 4, и 5 со стороны внутреннего торца венца 2 имеют одинаковый шаг – t, а со стороны большого основания венца шаг t_1 между зубьями 3 и 4 который равен:

$$t_1 = t + l\sin\alpha,$$

а шаг t_2 между зубьями 3 и 5 равен:

$$t_2 = t - l\sin\alpha,$$

где l – длина режущей кромки зуба 3, мм.

Принцип работы вооружения шарошки заключается в следующем. Под действием осевой нагрузки и крутящего момента, передаваемых через бурильную колонну на буровое долото зубья 3, 4 и 5 шарошки внедряются в породу и разрушают ее. При этом зубья 3, ориентированные вдоль образующей 6 корпуса 1 создают максимальное удельное давление на породу и накатывают на забое «рейку», которая разрушается зубьями 4 и 5. Эффективность разрушения «рейки» достигается благодаря повороту зубьев 4 и 5 в противоположные стороны рис. 1.1, исключающему попадание зубьев 3, 4, и 5 след в след.

Такая конструкция вооружения шарошки позволит не только, минимизировать вероятность появления эффекта рейкообразования, но и повысить проходку и механическую скорость бурения за счет более эффективного поражения забоя.

Как известно, при работе шарошечных буровых долот самоочищающегося типа самым нагруженным является венец шарошки, расположенный наиболее близко к периферийному венцу. Так, например, периферийная зона забоя у 3-шарошечных долот имеет трехкратное перекрытие и поэтому дальнейшее усиление этих участков не может дать заметного увеличения эффективности работы долота. В то же время наиболее близкий к периферийному венцу смежный венец на основном конусе шарошки по объему разрушаемой породы сопоставим с объемом породы, разрушаемой периферийным венцом. Следовательно, нагрузка на этот венец почти в три раза больше, чем на периферийный. Частично, наряду с другими факторами, этим объясняется «облысение», то есть интенсивный износ вооружения шарошек в зоне основного конуса.

В связи с этим, был разработан второй вариант конструкции вооружения шарошки, способной, не только эффективно предотвращать эффект рейкообразования, но и позволяет снизить энергоемкость процесса разрушения участков забоя, расположенных по соседству с периферийными венцами [2].

Это достигается тем, что в многовенцовой шарошке бурового долота, по меньшей мере, один венец выполнен с фрезерованными или литыми зубьями, имеющими на одном из торцов венца одинаковый шаг и ориентированными вдоль и под углом к образующей корпуса. Венец с зубьями, ориентированными вдоль образующей корпуса и под углом к ней, расположен смежно с периферийным венцом, при этом одинаковый шаг зубья имеют только со стороны наружного торца венца. Помимо этого угол поворота зубьев к образующей корпуса α составляет 10–20°.

На рис. 1.2 изображен общий вид шарошки и схема поражения забоя венцом основного конуса. Шарошка бурового долота включает конусообразный корпус 1 с несколькими венцами 2, 3 и 4, один из которых 3, смежный с периферийным венцом 2, выполнен с фрезерованными зубьями 5, 6 и 7, различно ориентированными относительно образующей 8 корпуса 1. При этом зубья 6 расположенные на венце 3 через один зуб, ориентированы вдоль образующей 8, зубья 5 и 7, расположенные смежно с зубьями 6 ориентированы относительно образующей 8 под углом, причем повернуты зубья 5 и 7 в противоположные стороны. Угол поворота α зубьев 5 и 7 выбирается в зависимости от физико-механических свойств горных пород равным 10–20°, причем меньшее значение угла поворота соответствует более твердым породам, а большее значение – менее твердым. Все зубья 5, 6 и 7 со стороны наружного торца венца 3 имеют одинаковый шаг t, а со стороны меньшего основания венца шаг t_1 между зубьями 5 и 6, который равен:

$$t_1 = t + l\sin\alpha,$$

а шаг t_2 между зубьями 5 и 7 равен:

$$t_2 = t - 2l\sin\alpha,$$

где l – длина режущей кромки зуба 6.

Принцип работы вооружения шарошки заключается в следующем. Под действием осевой нагрузки и крутящего момента, передаваемых через бурильную колонну на буровое долото, зубья венцов 2, 3 и 4 шарошки внедряются в породу и разрушают ее. При этом зубья 5, 6 и 7 венца 3, расположенного смежно с периферийным венцом 2, работают в наиболее трудных условиях. Это объясняется тем, что в долотах, шарошки которых выполнены по самоочищающейся схеме, каждый участок забоя, кроме периферийного, разрушается зубьями одного венца. Участок же забоя, разрушаемый венцом 3, имеет максимальную площадь по сравнению с венцами основного конуса, сопоставимую с площадью периферийного венца. Однако если в разрушении периферийного участка долота в трехшарошечных долотах принимают участие три венца, то участок забоя, смежный с периферийным, разрушается одним венцом 3. Таким образом, нагрузка на венец 3 почти в три раза больше, чем на периферийный венец 2. Особо тяжелые условия работы данного венца приходятся на его периферийную часть. Для облегчения условий работы этого венца 3 его зубья 5, 6 и 7 расположены особым образом, что исключает образование «рейки», которая резко снижает эффективность разрушения породы.

>>>

В данном варианте конструкции вооружения шарошки благодаря расположению зубьев 5, 6 и 7 с одинаковым шагом t на наружном торце венца 3 обеспечивается эффективное разрушение наиболее проблемного участка забоя, дополнительно осложненного образованием «воротников» между венцами 2 и 3. Наклонное расположение зубьев 5 и 7 позволяет успешно бороться как с забойной «рейкой», так и с образующимися «воротниками», благодаря обеспечению объемного разрушения породы за счет образования дополнительных поверхностей обнажения, что также повышает эффективность работы венца, а следовательно, шарошки и долота в целом.

Такая геометрия вооружения шарошки позволит повысить проходку и механическую скорость бурения благодаря более эффективному разрушению гребешков «рейки» на наиболее проблемных участках забоя.

Третий вариант конструкции бурового инструмента, также обеспечивает снижение энергоемкости процесса разрушения породы за счет предотвращением рейкообразования. Это достигается путем одновременного оснащения инструмента шарошками с периферийными зубчатыми и дисковыми венцами [3]. Данный вариант конструкции может изготавливаться в трех исполнениях.

Первое исполнение, предусматривает, что зубья зубчатого венца имеют Т-образную форму, поперечная часть которых расположена перпендикулярно, а продольная часть – с наклоном относительно продольной оси шарошки. При этом продольная часть у соседних зубьев наклонена относительно продольной оси шарошки в противоположные стороны.

Второе исполнение, предназначено для разбуривания средних и твердых пород. Оно предусматривает, что дисковые венцы шарошек армированы алмазами, а зубчатые венцы – твердосплавными вставками клиновидной формы, режущие кромки которых повернуты одна относительно другой на угол

$$\alpha = \frac{360^0}{n},$$

где n – количество вставок на венце.

Третье исполнение, предусматривает, что площадки притупления зубчатых венцов выполнены в форме трапеций, большие основания которых на соседних зубьях развернуты в противоположные стороны.

На рис. 2 представлен общий вид долота, а на рис. 3, фрагменты выполнения зубчатых венцов в различных исполнениях.

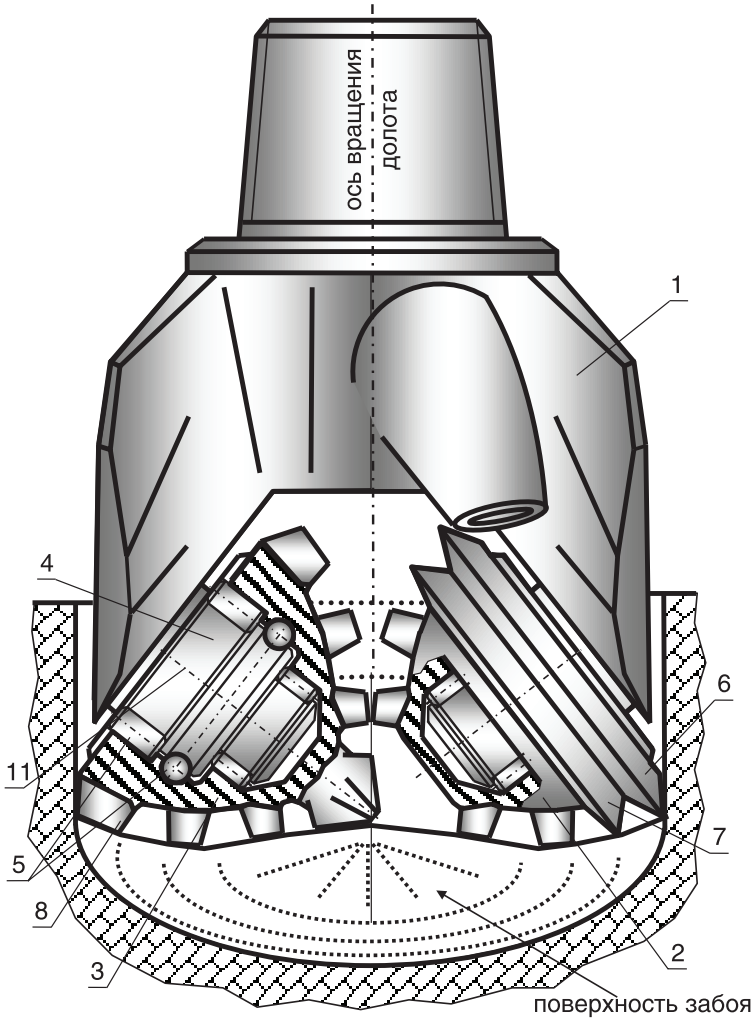

Рис. 2. Общий вид долота

Буровое шарошечное долото содержит корпус 1, конические шарошки 2 и 3 которых, закреплены на цапфах 4 посредством подшипников качения 5. Одна из шарошек 2 оснащена со стороны периферии дисковыми венцами 6 и 7, а другая – 3 зубчатым венцом 8.

В первом исполнении, зубья венца 8 имеют Т-образную форму (рис. 3А), поперечная часть 9 которых, расположена перпендикулярно, а продольная часть 10 с наклоном относительно продольной оси 11 шарошки 3.
При этом продольная часть 10 у соседних зубьев наклонена относительно продольной оси 11 шарошки 3 в противоположные стороны.

Во втором исполнении (рис. 3В) дисковые венцы 6 и 7 армированы алмазами, а зубья венца 8 выполнены в виде твердосплавных клиновидных вставок 12, режущие кромки 13 которых у соседних вставок повернуты на угол α, определяемый по формуле:

$$\alpha = \frac{360^0}{n},$$

В третьем исполнении (рис. 3С) зубья венца 8 выполнены в форме трапеций, большие 14 и меньшие 15 основания которых на соседних зубьях развернуты в противоположные стороны.

Принцип работы долота заключается в следующем. Под действием осевой нагрузки и крутящего момента породоразрушающие элементы шарошек 2 и 3 осуществляют разрушение забоя и калибровку стенок скважины. При этом дисковые венцы 6 и 7 прорезают на забое кольцевые канавки, образуя дополнительную плоскость обнажения. Образующийся между кольцевыми канавками породный выступ разрушается зубчатым венцом 8, который оснащен Т-образными зубьями или твердосплавными вставками 12. Поперечная часть 9 этих зубьев калибрует стенки скважины совместно с дисковым венцом 6 и способствует образованию кольцевых канавок в периферийной части забоя. В свою очередь продольная часть 10 зубьев венца 8 по первому исполнению и твердосплавные вставки 12 по второму исполнению разрушают кольцевой участок забоя, образованный дисковыми венцами 6 и 7 и поперечной частью 9 зубьев венца 8 по первому исполнению и клиновидными режущими кромками 13 твердосплавных вставок 12 по второму исполнению.

Благодаря наклону продольной части 10 зубьев в противоположные стороны относительно продольной оси 11 шарошки 3 и повороту режущих кромок 13 на определенный угол у соседних вставок 12 исключается образование забойной рейки.

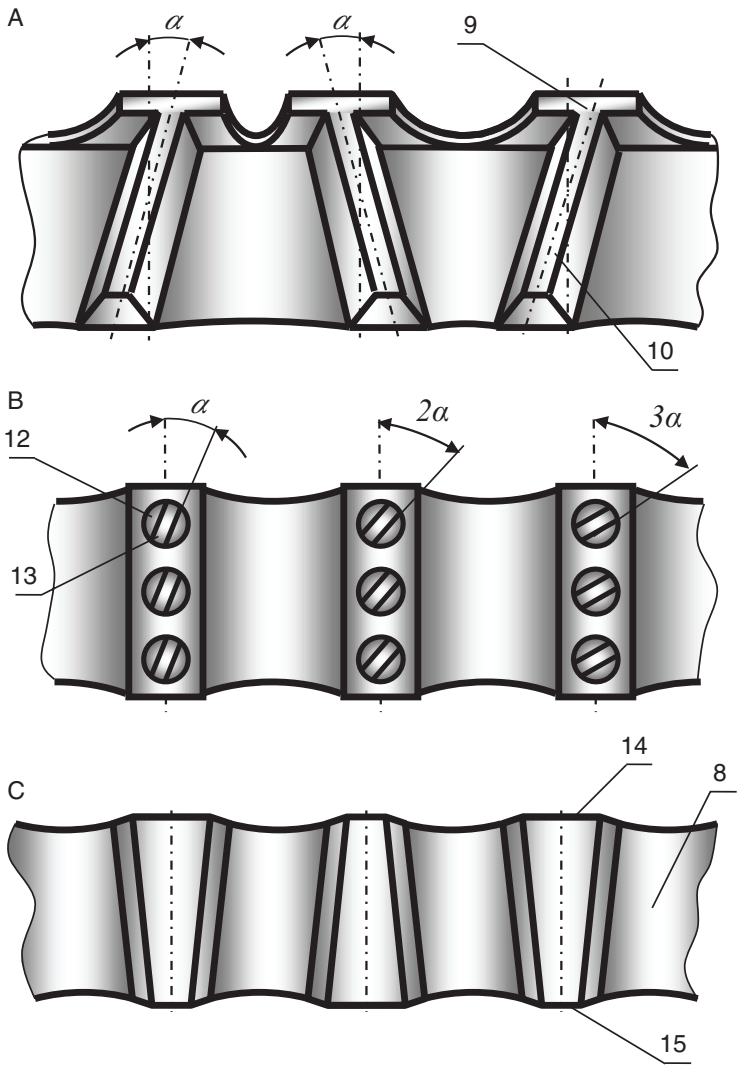

Рис. 3. Варианты расположения элементов вооружения:
А – исполнение №1
В – исполнение №2
С – исполнение №3

Это в совокупности с дополнительной плоскостью обнажения гарантирует разрушение кольцевых выступов зубьями венца 8 в режиме крупного скола, обеспечивая высокую механическую скорость бурения благодаря уменьшению энергоемкости процесса разрушения породы. Этому способствует и усиленная периферийная часть зубьев венца 8, способствующая эффективной калибровке стенок скважин.

Такая расстановка породоразрушающих элементов вооружения и схема расположения периферийных венцов в конструкции бурового долота, позволит минимизировать вероятность появления эффекта рейкообразования.

Таким образом, все представленные выше варианты конструкций вооружения шарошек бурового инструмента, а также их различные исполнения, благодаря более совершенной геометрии их вооружения, позволят повысить проходку и механическую скорость бурения, и тем самым снизить себестоимость проведения буровых работ.

Литература:

1. Сериков Д. Ю., Ясашин В. А. и др. Шарошка бурового долота. Пат. РФ на изобр. №2148146, опубл. Б.И. № 12 от 27.04.2000.
2. Сериков Д. Ю., Ясашин В. А. и др. Шарошка бурового долота. Пат. РФ на изобр. №2281373, опубл. Б.И. № 22 от 10.08.2006.
3. Богомолов Р. М., Панин Н. М. и др. Буровое долото. Пат. РФ на изобр. №2334862, опубл. Б.И. № 27 от 27.09.2008.
4. Сериков Д. Ю. Повышение эффективности шарошечного бурового инструмента с косозубым вооружением. – М.: Нефть и газ, 2015.