

ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЙ И ПОВРЕЖДЕНИЙ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ВООРУЖЕНИЯ ШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ

Пяльченков В.А.^{1,2}

¹ФГБОУ ВПО «Тюменский Государственный нефтегазовый университет Минобрнауки России», Тюмень, Россия, (625000, Тюмень, ул. Володарского, 38), e-mail: general@tsogu.ru

²ФГКВУ ВПО «Тюменское высшее военно-инженерное командное училище (военный институт) имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова Минобороны России», Тюмень, Россия (625001, Тюмень, ул. Л. Толстого, 1)

Предлагается обзор научных работ, в котором изложены результаты исследований разрушений и повреждений твердосплавного вооружения шарошечных долот, отработанных в промышленных условиях. Интерес к данной тематике объясняется ее большой практической значимостью. От эффективности работы бурового инструмента во многом зависят экономические показатели строительства скважин. Анализ исследований позволяет сделать вывод, что потеря работоспособности твердосплавного вооружения происходит в результате разрушения зубков, имеющего самый разнообразный характер. Рассмотрено влияние конструктивных факторов вооружения на его долговечность и пути оптимизации конструкции долот, предлагаемые в различных исследованиях. Приведенный анализ известных результатов исследований по данному направлению не является исчерпывающим, но может быть полезен при дальнейшем изучении этого вопроса.

Ключевые СЛОВА: бурение, долото, шарошка, вооружение, опора, разрушение, износ

RESEARCH DESTROYED AND DAMAGED ROCK BITS CARBIDE WEAPONS

Ryachenkov V.A.^{1,2}

¹FGBOU VPO «Tyumen State oil and gas University, Ministry of education and science of Russia», Tyumen, Russia, (625000, Tyumen, street Volodarskogo, 38), e-mail: general@tsogu.ru

²FGKVOU VPO "Tyumen Higher Military Engineering Command School (Military Institute) named after Marshal of Engineering Troops A.I.Proshlyakova Russian Defense Ministry", Tyumen, Russia (625001, Tyumen, ul. Tolstoy, 1)

It is proposed to review scientific papers, which contained the results of studies of destruction and damage of weapons carbide roller cone bits, used in field conditions. Interest in this subject due to its great practical significance. From the efficiency of the drilling tool depends largely on economic indicators of well construction. An analysis of research suggests that the loss of performance carbide weapons is due to the destruction of cloves, having the most diverse character. The influence of structural factors on the durability of weapons and ways to optimize the design of bits available in the different studies. This analysis of the known results of research in this area is not exhaustive, but can be useful for further study of this issue.

Keywords: drill, chisel, cone, weapons, suspension, destruction, deterioration

Долговечность вооружения шарошек, непосредственно разрушающего горную породу, во многом определяет основные показатели эффективности процесса бурения. В связи с этим вопросам износа и разрушения вооружения посвящено значительное число исследований. При этом наиболее полно исследованы вопросы долговечности долот с фрезерованным вооружением [2, 6, 12, 30]. С расширением области применения шарошечных долот, оснащенных твердосплавным вооружением, приобретают первостепенное значение вопросы, связанные с повышением их эффективности и долговечности. Для изготовления зубков применяют, главным образом, вольфрамсодержащие твердые сплавы, которые хорошо противостоят абразивному изнашиванию [6, 7]. Вместе с тем, имея сравнительно низкую

ударную вязкость и невысокое сопротивление действию растягивающих напряжений, эти материалы имеют склонность к хрупкому разрушению [3, 5, 7].

В процессе бурения шарошки долота перекатываются по забою, и зубки последовательно входят в контакт с породой, подвергаясь при этом сложному силовому воздействию. При взаимодействии зубка с забоем силы, действующие на зубок со стороны разрушаемой породы, постоянно изменяются, изменяя напряженное состояние материала зубка. В результате продольных колебаний долота, вызываемых рядом причин, взаимодействие зубков с породой носит ударный характер [1,6, 9, 31]. Кроме того, зубки вооружения шарошек не только перекатываются, но и проскальзывают по забою, что приводит к их изнашиванию. Анализ состояния твердосплавного вооружения отработанных в стендовых и промысловых условиях долот различной конструкции, проведенных разными авторами [3, 8, 11, 16], показал, что в процессе работы имеют место самые разнообразные виды изнашивания и разрушения. В работе [3] установлена следующая классификация видов повреждения и разрушения твердосплавного вооружения долот:

- ударно-усталостное изнашивание, вызывающее сколы и поломки зубков;
- абразивное изнашивание;
- ударно-абразивное изнашивание;
- гидроабразивное изнашивание;
- раздавливание зубков;
- выпадение зубков;

Причем лимитирующим видом изнашивания и разрушения зубков шарошечных долот является ударно-усталостное изнашивание. Большинство исследователей также отмечают, что изменение формы и размеров рабочих поверхностей твердосплавных зубков в процессе абразивного, гидроабразивного и ударно-абразивного изнашивания незначительно и практически не оказывают влияния на их работоспособность. Имеющие место в практике бурения выпадения зубков из тела шарошки и их влияние на работоспособность твердосплавного вооружения по мере совершенствования конструкции и технологии закрепления зубков снижаются.

Анализ литературных источников позволяет сделать вывод о том, что потеря работоспособности твердосплавного вооружения шарошечных долот происходит главным образом в результате разрушения зубков. Эти разрушения имеют весьма разнообразный характер. В работе [15] предлагается все виды разрушения разделить на три группы:

- поломки;
- сколы;
- раздавливание.

Предполагается, что причиной поломок и сколов является действие изгибающего момента, а раздавливание зубков происходит под действием высоких сжимающих нагрузок. В работе [3] высказывается предположение, что сколам и поломкам предшествует выкрашивание рабочих поверхностей зубков, появляющееся в начальный период работы долота на забое. В работе [11] предлагается классифицировать виды разрушения твердосплавных зубков в зависимости от характера внешнего силового воздействия:

- разрушение зубков под действием сжимающих напряжений;
- разрушение зубков под действием касательных напряжений;
- выкрашивание зубков под действием однократных и многократных перегрузок.

Однако, такая классификация достаточно условна, так как в реальных условиях взаимодействия долота с забоем зубки находятся в сложном напряженном состоянии, и на них одновременно действует сложный комплекс нормальных и касательных напряжений, вызывающих их разрушение.

Исследуя форму поверхности разрушения твердосплавных зубков, автор работы [3] указывает, что на поверхности разрушения можно выделить "две характерные зоны разрушения: зоны зарождения повреждений на поверхности зубков и зоны быстрого развития трещин". Это позволяет автору сделать вывод о том, что разрушение зубков носит главным образом усталостный характер.

На долговечность вооружения шарошечных долот и эффективность разрушения горной породы существенное влияние оказывает форма и размеры породоразрушающих элементов. Наиболее полно изучены закономерности разрушения горной породы при статическом и динамическом вдавливании инденторов различной формы в блок горной породы [9, 30, 32].

Результаты исследования по разрушению горных пород при бурении приводятся в работе [33]. Изучению породоразрушающих и прочностных характеристик твердосплавных зубков различной формы посвящена работа [5]. Здесь предпринята попытка выбрать комплексный критерии оценки работоспособности твердосплавных зубков различной формы. На основании этого критерия автором предлагаются твердосплавные зубки с новой, более оптимальной, по его мнению, формой породоразрушающей поверхности.

Наиболее существенное влияние на эффективность процесса разрушения горной породы и прочность твердосплавного вооружения шарошечных долот оказывают такие основные параметры вооружения, как диаметр и шаг зубков, величина межвенцовых зазоров, вылет зубков над телом шарошки, схема расположения зубков по венцам и венцов по шарошкам. С момента появления шарошечных долот с твердосплавным вооружением в нашей стране и до настоящего времени ведутся исследования по оптимизации перечисленных выше основных параметров твердосплавного вооружения. Большая работа

по совершенствованию конструкции твердосплавного вооружения долот проведена во ВНИИБТ. Так, например, с целью определения влияния основных параметров вооружения на эффективность процесса бурения, были проведены стендовые и промышленные испытания нескольких серий специально разработанных долот, отличающихся друг от друга лишь одним параметром при неизменности остальных [12]. Это позволило исключить возможность взаимного влияния параметров и получить общие рекомендации по выбору их оптимальных значений. Известны также и другие работы, посвященные изучению влияния параметров твердосплавного вооружения на эффективность работы долот [17]. Большинство этих работ посвящено изучению таких параметров, как диаметр и шаг зубков, расположение зубков по венцам и выбору оптимальных величин этих параметров в соответствии с физико-механическими свойствами разбуриваемых пород. Недостаточно изученным, на наш взгляд, остается вопрос о влиянии размещения венцов на шарошках по радиусу забоя на эффективность бурения и долговечность вооружения долот. В настоящее время размещение венцов на шарошках производится исходя из требования необходимого перекрытия забоя с учетом необходимости более или менее равномерного размещения вооружения по шарошкам [12]. На прочностные характеристики твердосплавных зубков существенное влияние оказывает качество их поверхностей [7]. Наличие дефектов в поверхностном слое, являющихся концентраторами напряжений, приводит к интенсификации процесса разрушения зубков. Прочность твердосплавных зубков зависит и от других технологических факторов, например, от способа запрессовки зубков [11]. В работе [3] установлено также, что на долговечность твердосплавных зубков влияет жесткость соединения "зубок – шарошка". Уменьшение этой жесткости позволяет повысить долговечность твердосплавного вооружения. Таким образом, долговечность твердосплавного вооружения, лимитируемая разрушением зубков, зависит от большого числа конструктивных и технологических факторов. В известных исследованиях достаточно подробно изучен общий характер разрушений твердосплавных зубков шарошечных долот. Однако большинство исследователей не ставили перед собой задачу анализа количества разрушенных зубков, на каждом венце каждой шарошки исследуемого долота. Кроме того, исследования проводились в разные годы на долотах различных типов и размеров, имеющих существенные различия в конструкции вооружения и опорных узлов, поэтому даже имеющиеся в литературе данные затруднительно использовать.

Многими исследователями также установлен неравномерный износ и разрушение элементов вооружения и опорных узлов шарошек. Неравномерный износ наблюдается как при отработке долот, имеющих фрезерованное вооружение [6, 9, 12, 30], так и при отработке долот со штыревым твердосплавным вооружением [3, 15]. При промышленной отработке

первых конструкция шарошечных долот с твердосплавным вооружением отмечался их неравномерный износ. Долота выходили из строя главным образом из-за износа вершины первой шарошки, скалывания зубков на периферийных венцах и заклинивания опор шарошек. В последующих конструкциях долот за счет изменения геометрической формы шарошек, увеличения диаметров зубков и изготовления вершин на всех трех шарошках удалось снизить неравномерность износа и разрушения твердосплавного вооружения и повысить эффективность работы долот. Однако полностью устранить неравномерный износ и разрушение твердосплавного вооружения не удастся. В работе [13] отмечается, что наиболее подвержены разрушениям зубки, расположенные на периферийных венцах. К сожалению, количественные данные о разрушениях зубков на венцах и шарошках долот в работе не приводятся.

Как показали исследования [6, 12, 18, 21], интенсивность изнашивания элементов опорных узлов и вероятность заклинивания опор шарошек существенно зависят от первоначальных величин радиальных и осевых зазоров в подшипниках. Величины же этих зазоров могут изменяться довольно существенно даже в пределах технологического допуска. Поэтому, на наш взгляд, однозначно нельзя объяснить неравномерность износа опор по секциям только технологическими погрешностями изготовления. Таким образом, неравномерность изнашивания и разрушения элементов вооружения и опорных узлов шарошек можно объяснить действием конструктивных и технологических факторов, приводящих к неравномерному распределению усилий по секциям долота и по элементам вооружения и опор шарошек [22, 23, 24]. Неравномерность изнашивания вооружения долот может объясняться и различной величиной проскальзывания венцов шарошек [4, 13, 30]. С увеличением величины проскальзывания интенсивность изнашивания вооружения возрастает. Вместе с тем, проскальзывание существенно изменяет и силовые характеристики процесса взаимодействия вооружения с забоем [11, 25]. С увеличением глубины внедрения зубков возрастает и доля тангенциальной составляющей усилия, действующего на зубок при проскальзывании его по забою [11]. А так как наибольшее проскальзывание из-за несовершенной формы конусов шарошек наблюдается у периферийных венцов [4, 13], то тангенциальные составляющие усилий на зубках периферийных венцов будут больше, чем на зубках средних венцов. Исходя из предположения, что различной степени износа и разрушения рабочих элементов вооружения и опоры соответствуют и различные значения действующих на них нагрузок, а в ряде случаев и перегрузок, весьма важным является изучение характера и степени неравномерности распределения нагрузки по элементам долота и причин ее вызывающих. Знание нагрузочных характеристик элементов шарошечного долота при взаимодействии его с забоем позволит научно обоснованно

подходить к вопросам совершенствования вооружения и подшипников опорных узлов шарошек в части рационального их размещения, которое исключало бы перегрузку отдельных рабочих элементов.

Приведенный анализ известных результатов исследований по данному направлению не является исчерпывающим, но может быть полезен при дальнейшем изучении этого вопроса

Список литературы

1. Балицкий П.В. Взаимодействие бурильной колонны с забоем скважины. – М.: Недра, 1975. – 293 с.
2. Беликов В.Г., Посташ С.А. Рациональная отработка и износостойкость шарошечных долот. – М.: Недра, 1972. – 160 с.
3. Беляев А.И. Исследование технологических процессов сборки шарошек буровых долот с твердосплавным вооружением: дис...канд.техн.наук. – М., 1977. – 205 с.
4. Биланенко Н.А. Установление оптимальных кинетических характеристик шарошечных долот с целью повышения эффективности бурения скважин: дис...канд. техн. наук. – Ташкент, 1994. – 219 с.
5. Богомоллов Р.М. Исследование работоспособности твердосплавного вооружения шарошечных долот: Авторефер. Дис. канд.техн.наук. – М., 1975. – 22 с.
6. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Пашков А.Н., Рубарх В.М. Долговечность буровых долот. – М.: Недра, 1977. – 256 с.
7. Креймер Г.С. Прочность твердых сплавов. – М.: Металлургия, 1971. – 247 с.
8. Линдо Г.В. Исследование эксплуатационной стойкости и совершенствование твердосплавных зубков для шарошечных долот: Авторефер. Дис.канд. техн. наук. – М., 1972. – 26 с.
9. Мавлютов М.Р. Разрушение горных пород при бурении скважин. – М.: Недра, 1978. – 215 с.
10. Методы обеспечения надежности эксплуатации скважинного оборудования [Текст] / Р. Я. Кучумов, В. А. Пяльченков, Д. В. Пяльченков ; ТюмГНГУ. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2005. – 148 с.
11. Михайлин Ю.Г. Исследование и разработка шарошечных долот с зубками из твердого сплава: Автореф.дис.канд.техн. наук. – М., 1980. – 19 с.
12. Мокшин А.С., Владиславлев Ю.Е., Комм Э.Л. Шарошечные долота. – М.: Недра, 1971. – 216 с.

13. Неупокоев В.Г. Вопросы теории и практики проектирования, производства и эксплуатации буровых шарошечных долот. – Самара: Изд.-во Самарского науч. центра РАН, 2000. – 376 с.
14. Организация ремонтных работ на скважинах в осложненных условиях разработки нефтяных месторождений [Текст] / Р. Я. Кучумов, В. А. Пяльченков, Кучумов Р.Р.; ТюмГНГУ. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2004. – 154 с.
15. Патрикеева Э.М. Исследование влияния некоторых технологических факторов на стойкость штыревых шарошечных долот: Автореф.дис.канд.техн. наук. – М., 1966. – 19 с.
16. Попов А.Н., Спивак А.И., Трушкин Б.Н. Изучение механических процессов в горных породах и породоразрушающих инструментах при бурении скважин // Нефтяное хозяйство. – 2002. - № 11. – С. 36-38.
17. Пославский В.М. Исследование и выбор рациональных параметров вооружения малогабаритных шарошечных долот для бурения твердых пород: Автореф. дис.канд.техн. наук. – М., 1974. – 20 с.
18. Пяльченков В.А. Моделирование загруженности подшипников опоры шарошечного долота // Механика и процессы управления. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – С. 105-109.
19. Пяльченков В.А., Кучумов Р.Я., Пяльченков Д.В. Упрощенный алгоритм задачи численного моделирования показателей надежности скважинного оборудования по схеме «гибели и размножения» // Известия вузов. Нефть и газ. – 2005. - №3. – С. 50-55.
20. Пяльченков В.А., Кучумов Р.Я., Пяльченков Д.В. Численное моделирование показателей надежности установок ЭЦН с помощью алгоритма системы с «быстрым» восстановлением // Известия вузов. Нефть и газ. – 2005. - №4. – С.43-49.
21. Пяльченков В.А. Исследование распределения нагрузки между подшипниками опоры шарошечного долота с использованием фотоупругой модели // Известия вузов. Нефть и газ. – 2014. - № 1. – С. 57-61.
22. Пяльченков В.А. Аналитическое определение реакций в опорах шарошечного долота // Известия вузов. Нефть и газ. – 2014. - № 3. – С. 66-72.
23. Пяльченков В.А. К оценке долговечности подшипников опоры шарошечного долота // Современные проблемы науки и образования. – 2014. - №6. URL: www.science-education.ru/120-16677 (дата обращения: 08.01.2015).
24. Пяльченков В.А. Аналитическое исследование деформируемости деталей шарошечного долота // Современные проблемы науки и образования. – 2015. - №1; URL: www.science-education.ru/121-17246 (дата обращения: 02.02.2015).
25. Пяльченков В.А. Методы исследования нагруженности вооружения и подшипников

- опоры шарошечных долот // Известия вузов. Нефть и газ. – 2015. - №1. – С. 88-95.
26. Пяльченков В.А. Экспериментальное исследование деформируемости элементов шарошечного долота // Современные проблемы науки и образования. – 2015. - №1; URL: www.science-education.ru/121-17926(дата обращения: 05.04.2015).
27. Пяльченков В.А. Расчет нагруженности элементов вооружения долота // Современные проблемы науки и образования. – 2015. - №1; URL: www.science-education.ru/121-18865(дата обращения: 11.05.2015).
28. Пяльченков Д.В. Моделирование показателей надежности скважинного оборудования с помощью алгоритма «гибели и размножения» // Интернет-журнал «Науковедение». 2013 №5 (18) [Электронный ресурс]. – М. 2013. – Режим доступа <http://naukovedenie.ru/PDF/09tvn513.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
29. Пяльченков Д.В. Моделирование показателей надежности нефтяных насосных установок с применением резервирования // Интернет-журнал «Науковедение». 2013 №5 (18) [Электронный ресурс]. – М. 2013. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/59tvn513.pdf>.
30. Симонов В.В., Выскребцов В.Г. Работа шарошечных долот и их совершенствование. – М.: Недра, 1975. – 240 с.
31. Симонов В.В., Юнин Е.К. Влияние колебательных процессов на работу бурильного инструмента. – М.: Недра, 1977. – 216 с.
32. Спивак А.И., Попов А.Н. Разрушение горных пород при бурении скважин: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1994. – 261 с.
33. Эйгелес Р.М. Разрушение горных пород при бурении. – М.: Недра, 1971. – 103 с.

Рецензенты:

Долгушин В.В., д.т.н., профессор, директор Института промышленных технологий и инжиниринга ФГБОУ ВПО «Тюменский Государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Пирогов С.П., д.т.н., профессор кафедры «Прикладная механика» ФГБОУ ВПО «Тюменский Государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.