

УДК 622.24.051.55

ИССЛЕДОВАНИЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УЗЛОВ И ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ШАРОШЕЧНОГО ДОЛОТА

© 2017 М.С. Головкин¹, В.У. Ямалиев²

¹ООО НПП «БУРИНТЕХ»

²Уфимский государственный нефтяной технический университет

Статья поступила в редакцию 16.03.2017

Обоснована необходимость дальнейшей работы по модернизации уплотнительного узла опор шарошечных долот и разработки новых методов исследования. Описана новая конструкция станда для испытания уплотнительного узла в составе полноценной опоры шарошечного долота, детали, подвергающиеся испытанию, принцип действия станда и анализ результатов испытаний. Представлены и проанализированы графики, характеризующие работу различных конструкций герметизированных узлов. Показана конструкция и принцип действия испытательного станда, позволяющего изучать влияние отдельных факторов на интенсивность изнашивания резины. Описана методика оценки остаточного ресурса бурового шарошечного долота, основанная на результатах стендовых испытаний различных конструкций уплотнительных узлов.

Ключевые слова: шарошечное долото, уплотнительный узел

Шарошечные долота являются одним из наиболее распространенных видов инструмента, применяемых при бурении скважин. Несмотря на серьезное сокращение объемов, потребление шарошечных долот нефтегазовой промышленностью России и СНГ на сегодняшний день стабилизировалось на уровне 20-30% от общего количества породоразрушающего инструмента. Шарошечными долотами закрывается основная часть объемов бурения в сложных горно-геологических условиях, таких, как поглощение бурового раствора, высокая твердость и абразивность горной породы, их применяют также на участках интенсивного набора кривизны скважины. Поэтому показатели работы шарошечного инструмента, в том числе его стойкость, имеют большое влияние на рейсовые скорости проходки, а значит, и на финансовые расходы на строительство скважины [1]. Это обуславливает особую важность научных исследований, направленных на повышение стойкости шарошечного инструмента с целью обеспечения повышения и наиболее полной реализации ресурса герметизирующего узла.

В современной технике имеется большое количество конструктивных решений, позволяющих повысить стойкость уплотнительного узла, но при этом нет единого мнения об их реальной эффективности, и о том какие из них оказывают наибольшее влияние на ресурс долота. Поэтому важно рассмотреть перспективные конструктивные решения с применением, как расчетных методик, так и натурных испытаний. Существующие методики исследования износостойкости уплотнительных колец имеют определенные недостатки, связанные с невысокой достоверностью получаемых результатов, и должны быть подвергнуты глубоким изменениям.

Для этого требуется разработка новых способов лабораторных испытаний уплотнительных колец, приближенных к реальным условиям, новых тестов для истирания резин, а также методов оценки остаточного ресурса опоры шарошечного долота.

Согласно работам Шалламаха и Бродского [2, 4] несколько факторов оказывают наиболее существенное влияние на интенсивность истирания резины. В первую очередь, это температура от 20 до 200°C, контактное напряжение от 2 до 5 МПа и скорость скольжения от 0,25 м/с до 1,25 м/с. При этом различные типы резин в разной степени подвержены влиянию тех, или иных из перечисленных факторов. В современных шарошечных долотах повсеместно используются различные модификации гидрированного бутадиен-нитрильного каучука. Это связано с тем, что он обладает оптимальным для шарошечного долота сочетанием таких качеств, как сопротивление абразивному изнашиванию, термическая и химическая стабильность. Воздействие различных внешних факторов на износостойкость этой группы каучуков изучено недостаточно и для того, чтобы эффективно работать над модернизацией уплотнительного узла, необходимы новые методы исследования по оценке их влияния на интенсивность изнашивания.

Для решения этой задачи был разработан стенд по истиранию резин, получивший название RWM-2017 (рис. 1). Он смонтирован на базе сверлильного станка и представляет собой конструкцию, которая приводится в движение вращением шпинделя станка. К шпинделю сверлильного станка посредством патрона крепится вращающийся индентор. В его состав входит втулка, которая при вращении оказывает изнашивающее воздействие на резиновый образец, и опора, через которую на втулку передается осевая нагрузка. Осевая нагрузка создается затяжкой поджимных болтов и прижатием поджимной плиты к опоре.

Головкин Михаил Сергеевич, инженер-конструктор. E-mail: golovkin@burinteh.com

Ямалиев Виль Узбекович, доктор технических наук, профессор. E-mail: vilyzich@yandex.ru

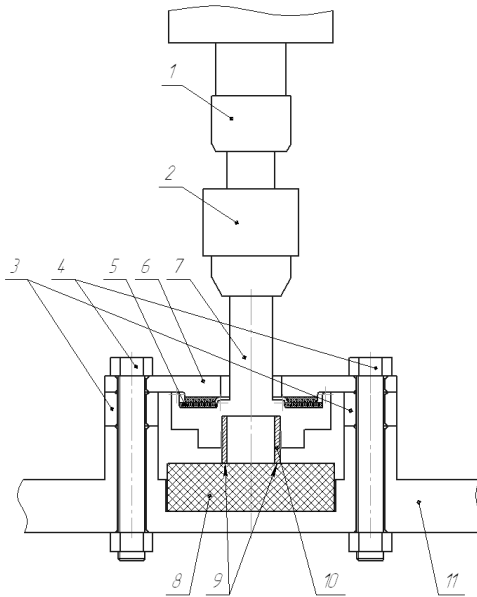


Рис. 1. Стенд для истирания резины RWM-2017:

1 – шпиндель, 2 – патрон, 3 – проставка, 4 – болтовые соединения, 5 – опора, 6 – плита поджимная, 7 – индентор, 8 – резиновый образец, 9 – зона трения металл-резины, 10 – индентор; 11 – плита несущая

Контактные поверхности опор наплавляются твердосплавным материалом стеллит-190, а ванночка вращающегося индентора заполнена смазкой, что позволяет минимизировать износ опор, а значит и погрешности, возникающие, при проведении эксперимента.

Подвергающийся изнашиванию образец, изготовленный из гидрированного бутадиен-нитрильного каучука (рис. 2) имеет форму цилиндра, диаметром 60 мм, усеченного с двух сторон хордами, длиной 43 мм. Толщина образца составляет 10 мм. Физико-механические свойства материала указаны в табл. 1.

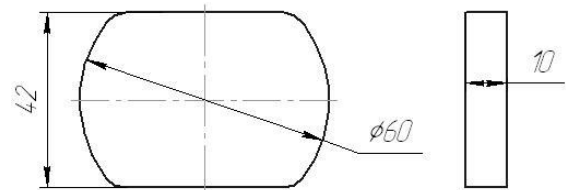


Рис. 2. Форма резинового образца

Таблица 1. Физико-механические свойства гидрированного бутадиен-нитрильного каучука

Физические свойства	Минимум	Максимум
Твердость HSh (по Шору)	75	85
Предел прочности при растяжении, МПа	20	25
Сопротивление разрыва, кН/м	80	90
Относительное удлинение при разрыве, %	200	300

Резиновый образец располагается в углублении, выполненном в несущей плите, в форме, повторяющей форму образца, что защищает его от проворота во время эксперимента. Одновременно это углубление выполняет функцию масляной ванны. Слой смазки наносится на поверхность резинового образца, и позволяет обеспечить условия испытания схожие с теми, в которых работает уплотнение шарошечного долота. Втулка индентора имеет толщину 4 мм и средний диаметр 20 мм, по которому определяется линейная скорость скольжения втулки по образцу. В качестве индентора выбрана втулка, а не цилиндр, что позволяет избежать подвисание в центральной зоне, где линейная скорость приближается к нулю. Толщина втулки выбрана относительно небольшой, для того чтобы уменьшить разницу в скорости скольжения между внутренним и наружным диаметром.

Суть эксперимента состоит в кратковременном изнашивании резинового образца твердым индентором, с заданными параметрами работы стенда, такими, как частота вращения, температура испытуемого образца, величина предварительного сжатия образца. Результатом эксперимента является абсолютная масса изношенной резины и интенсивность изнашивания, выраженная в мг/с. Для измерения массы используются весы лабораторные МАССА ВК-300, имеющие точность измерения

$\pm 0,005$ г. Испытательный стенд RWM-2017 позволяет исследовать влияние температуры, скорости скольжения и контактного напряжения на интенсивность истирания резины.

Для того, чтобы довести разработку до состояния готового узла, пригодного для установки в долото, необходимо обеспечить проведение натурных испытаний изготовленного уплотнения в условиях, приближенных к промышленным. Для решения этой задачи был разработан стенд для испытания уплотнений получивший название STM-2016. Стенд STM-2016 позволяет проводить исследования износостойкости и дать оценку ресурса различных вариантов исполнения уплотнительных узлов и колец. Новизна экспериментальной установки обеспечивается нестандартными конструктивными решениями, позволяющими приблизить испытания к условиям работы уплотнений на забое скважины. Стенд отличается от существующих конструкций [3, 7] тем, что вращение передается на цапфу, а не на шарошку, что позволяет подвести все необходимые каналы связи и не использовать дополнительный контур уплотнений. Второе отличие заключается в том, что для испытания изготавливаются специальные образцы, имитирующие шарошку и лапу, что обеспечивает непрерывность и чистоту эксперимента в условиях работы герметизирующего узла, максимально приближенных к реальным. Это обеспечивается работой

подшипника, обеспечивающего создание теплового режима, сопоставимого с работой подшипника шарошечного долота на забое скважины.

Испытательный стенд STM-2016 (рис. 3) смонтирован на столе сверлильного станка. Он включает емкость, установленную на проставках. Емкость заполнена абразивным буровым раствором и закрыта крышкой. В нижней части емкости неподвижно крепится имитатор шарошки с выполненной внутри расточкой опоры шарошечного долота. Герметичность соединения обеспечивается неподвижным уплотнительным кольцом. В шарошке устанавливается имитатор цапфы, осевое перемещение которого ограничивается шариковым замком. Шарошка центрируется относительно шпинделя сверлильного станка с помощью разъемного центрирующего соединения. При необходимости

соединение может быть выполнено с заданным эксцентриситетом. Исследуемый уплотнительный узел герметизирует зазор между неподвижной шарошкой и вращающейся цапфой. Полость подшипника между шарошкой и цапфой заполнена смазочным материалом и сообщена со смазочным узлом и смазочным шприцом, который при необходимости обеспечивает поддавливание смазки. В смазочный узел установлен датчик давления смазки, информация с которого по одному из каналов связи передается к многоканальному измерителю. К этому же измерителю поступают сигналы от термодпары, измеряющей температуру в рабочей зоне и датчика крутящего момента. Электрический сигнал от измерителя, проходя через преобразователь, поступает на персональный компьютер, на котором происходит запись и обработка полученных данных.

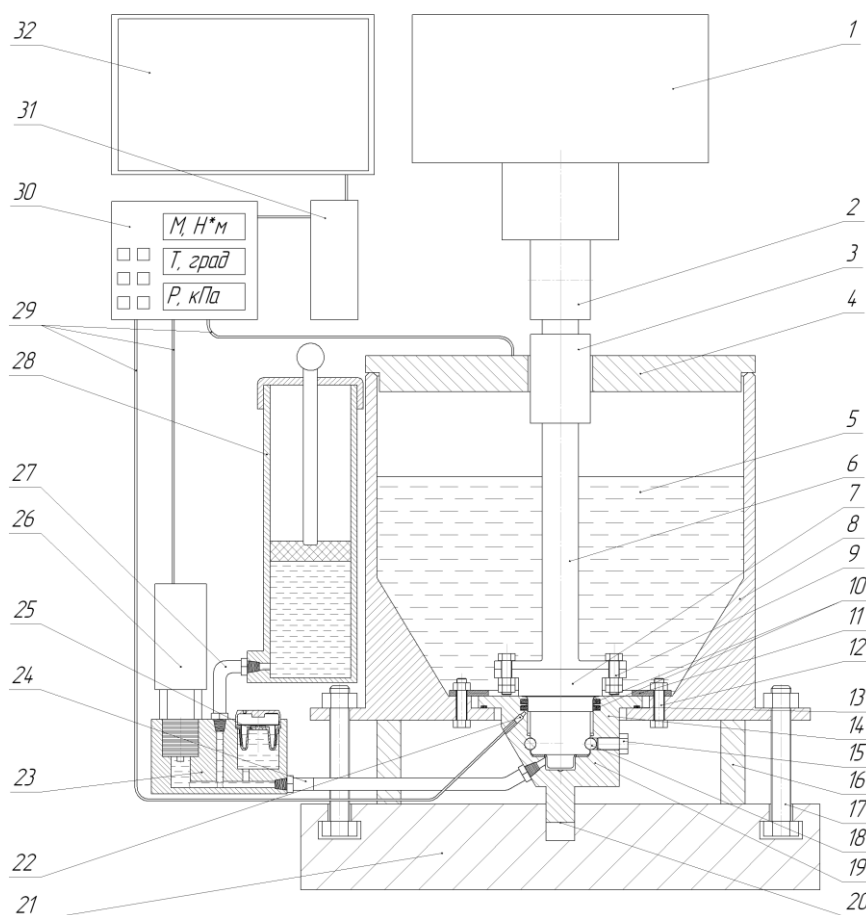


Рис. 3. Испытательный стенд STM-2016:

1 – сверлильный станок, 2 – патрон, 3 – датчик крутящего момента, 4 – крышка, 5 – жидкость абразивная, 6 – приводной вал, 7 – имитатор цапфы, 8 – корпус, 9 – болтовое соединение, 10 – уплотнительные кольца испытуемые, 11 – шайба поджимная, 12 – болтовое соединение, 13 – уплотнение неподвижного соединения, 14 – имитатор шарошки, 15 – замковый болт, 16 – проставки, 17 – крепление к столу, 18 – замковое соединение, 19 – полость опоры, 20 – центрирующее соединение, 21 – стол станка, 22 – датчик температуры, 23 – узел смазки, 24 – шланг соединительный, 25 – диафрагма, 26 – датчик давления, 27 – шланг соединительный; 28 – шприц смазочный, 29 – каналы связи, 30 – измеритель, 31 – преобразователь, 32 – персональный компьютер

Детали опоры, используемые для испытаний, изготавливаются по той же технологии и из тех же материалов, что и лапа с шарошкой, которые используются в производстве серийных долот, что повышает эффективность эксперимента с работой

узла в скважинных условиях и положительно влияет на достоверность эксперимента.

Для проверки работоспособности стенда и повторяемости условий и результатов эксперимента была проведена серия из 3-х испытаний. Во всех трех испытаниях проверялся ресурс одной и той же

модели уплотнительного кольца, изготовленной из гидрированного бутадиен-нитрильного каучука. По результатам испытаний кольца показали стойкость равную 54, 56 и 59 часов соответственно. Это примерно соответствует той величине наработки, которая достигается данной моделью уплотнительного кольца в промышленных условиях, что говорит о высокой достоверности эксперимента. График изменения реактивного крутящего момента, возникающего при

работе уплотнения, показан на рис. 4. Потеря герметичности опоры возникает при падении крутящего момента до величины около 4 Н·м. Таким образом, отклонение результатов при соблюдении описанной последовательности проведения эксперимента находится в пределах 10%. Исходя из этого, можно сделать вывод, что обеспечивается достаточно высокая повторяемость условий проведения эксперимента.

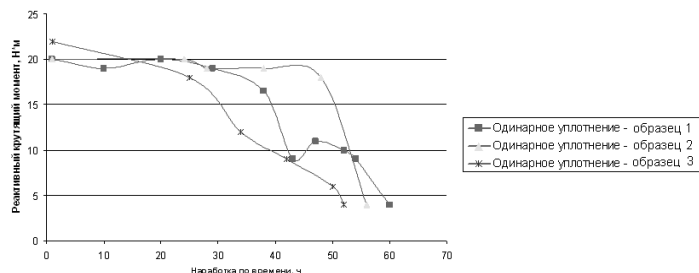


Рис. 4. График зависимости крутящего момента от величины стеновой наработки, ч

Таким образом, разработана установка для испытания уплотнительных колец в условиях, приближенных к внутрискважинным. Эта установка обеспечивает объективное сравнение работоспособности и долговечности уплотнительных колец между собой. Использование современных электронных приборов позволяет контролировать наиболее важные параметры, характеризующие процесс проведения эксперимента и обеспечивать достаточно высокую повторяемость результатов эксперимента (в пределах 10%). Создание стенда закладывает базу для постоянного совершенствования уплотнительного узла шарошечного долота, подбора новых материалов и апробации новых конструктивных решений. Таким образом, решается задача по повышению ресурса шарошечного долота, а значит и снижения стоимости строительства скважины.

Одной из целей данной работы является диагностика состояния бывшего в эксплуатации породоразрушающего инструмента. Чтобы оценить остаточный ресурс вооружения долота обычно достаточно сопоставить внешний вид изношенного вооружения с имеющимися у производителя статистическими данными. Гораздо больше трудностей у инженера вызывает оценка остаточного ресурса опоры долота, состояние которой невозможно

определить визуальными методами [5, 6, 8]. Для решения этой проблемы предлагается диагностировать состояние опоры по косвенному показателю – реактивному крутящему моменту, возникающему при вращении шарошки, с помощью ключа, оснащенного моментоммером. Реактивный крутящий момент является наиболее достоверным и информативным индикатором состояний опоры долота, т.к. его величина практически напрямую зависит от состояния уплотнительного кольца, а стойкость уплотнений при нормальном режиме эксплуатации определяет стойкость и всей опоры.

Для реализации этого способа были проведены подконтрольные лабораторные испытания опор для долот диаметром 215,9 мм с одинарным и двойным уплотнительным узлом. Результаты испытаний представлены на рис. 5 и в табл. 2, анализ которых позволяет определить приблизительный остаточный ресурс. Как видно из рис. 5, уплотнительные кольца типа 1 и двойного узла на начальном этапе работы (вплоть до половины от общего ресурса) крутящий момент держится примерно на одном уровне и его значительное падение говорит о скором достижении наработки на отказ. При работе уплотнения типа 2 сразу начинается падение крутящего момента, при этом он практически линейно зависит от величины наработки.

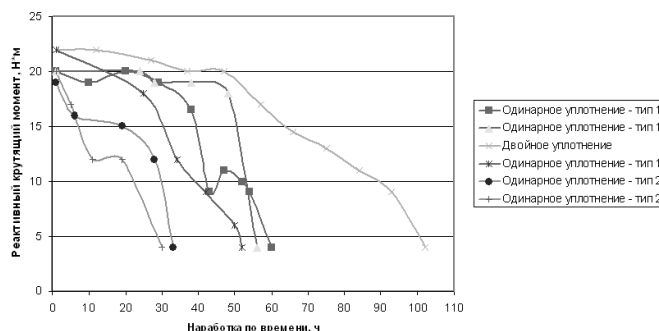


Рис. 5. Зависимость величины крутящего момента от наработки долот с различными уплотнениями, ч

Таблица 2. Зависимость остаточного ресурса шарошечного долота от величины наработки на долото в часах для разных типов герметизирующих узлов

Величина остаточного ресурса, % Крутящий момент, Н·м	Одинарное уплотнение тип 1	Одинарное уплотнение тип 2	Двойное уплотнение
22	-	-	90-100
20	90-100	90-100	50-70
18	50-70	70-90	40-60
16	20-50	60-80	менее 40
14	менее 50	30-50	менее 30
12	менее 40	непригодно	не пригодно
менее 10	непригодно	непригодно	не пригодно

Исходя из результатов стендовых испытаний, проведенных на установке STM-2016, можно предположить, что при величине крутящего момента в опоре менее 10-12 Н.м дальнейшая отработка долота несет повышенные риски, поэтому такие долота можно считать непригодными для дальнейшего использования.

Выводы: при реализации предлагаемого метода диагностирования появляется возможность оценки остаточного ресурса шарошечного долота в условиях буровой, или ремонтной базы. Таким образом, решается задача по повышению и наиболее полному использованию ресурса шарошечного долота, а значит, и снижения издержек при работе буровой установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Головкин, М.С. Повышение ресурса опор герметизированных шарошечных долот с помощью применения современных методик расчета и лабораторных испытаний уплотнительного узла / М.С. Головкин, А.Г. Балута, В.В. Мыкалкин и др. // Бурение и нефть. 2016. №10. С. 40-43.
2. Бродский, Г.И. Истирание резин / Г.И. Бродский, В.Ф. Евстратов, Н.Л. Сахановский, Л.Д. Слюдиков. – М.: Химия, 1975. 240 с.

3. Мозучев, А.И., Совершенствование систем герметизации и смазки опор шарошечных долот для повышенных частот вращения породах – дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. – Уфа, УГНТУ, 2002. 170 с.
4. Шалламах, А. Механизм износа резин при трении / Пер. с англ. - М.: 1959. 512 с.
5. Yamaliev, V.U., Perspectives for designing fluid cleaners / V.U. Yamaliev, E.I. Ishemguzhin, L.P. Gorshunova // Chemical and Petroleum Engineering. 1991. V. 27. №9. P. 501-505.
6. Zalyaev, M.F. On the need to take into account vibrations when designing the elements of the drill string / M.F. Zalyaev, V.U. Yamaliev, E.M. Abutalipova, A.N. Avrenyuk // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 52, No. 9-10, January. P. 647-652.
7. Головкина, Н.Н., Методическое и экспериментальное обеспечение прочностных расчетов стенок скважин в пористых горных породах – дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. // Уфа, УГНТУ, 2002. 163 с.
8. Salakhov, T.R. A field-proven methodology for real-time drill bit condition assessment and drilling performance optimization/ T.R. Salakhov, V.U. Yamaliev, V.A. Dubinsky / In: Society of Petroleum Engineers – SPE Russian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition 2008 Sep. «SPE Russian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition 2008», 2008. P. 281-288.

RESEARCHES OF SEALING UNITS AND ASSESSMENT THE RESIDIAL RESOURCE OF DRILL BIT BEARING

© 2017 M.S. Golovkin¹, V.U. Yamaliev²

¹ LLC SPE "BURINTEH"

² Ufa State Petroleum Technical University

Need of further work on modernization of sealing unit of drill nit bearing and development of new research techniques is proved. The new design of the stand for test the sealing unit as a part of roller-cone bit full bearing, the details which are subjected to test, the principle of operation of the stand and the analysis of test data is described. Graphics characterizing work of various designs of the encapsulating units are presented and analyzed. The design and the principle of action of the test stand allowing to study influence of separate factors on intensity of rubber wear is shown. The methods of assessment the residual resource of roller cone drill bit, based on results of bench tests of various designs of sealing units is described.

Key words: roller cone bit, sealing unit

Mikhail Golovkin, Engineer-designer. E-mail: golovkin@burinteh.com; Vil Yamaliev, Doctor of technical Sciences, Professor. E-mail: vilyzich@yandex.ru