

23. Raghavan R., Hadinoto N. Analysis of Pressure Data for Fractured Wells: The Constant-Pressure Outer Boundary // SPEJ. – (April, 1978). – P. 139–149.
24. Lee S. T., Brockenbrough J. R. A New Analytical Solution for Finite Conductivity Vertical Fractures with Real Time and Laplace Space Parameter Estimation // SPE 12013. – 1983.
25. Raghavan R. Pressure Behavior of Wells Intercepting Fractures // Proceedings, Invitational Well-Testing Symposium. – (October 19–21, 1977). – P. 117–160.
26. Azari M., Knight L. E., Soliman M. Y. Low-Conductivity and Short Fracture Half-Length Type Curves and Analysis for Hydraulically Fractured Wells Exhibiting Near Radial Flow Profile // SPE 23630. – (March, 1992).
27. Economides M., Nolte K.G. Reservoir Stimulation, Schlumberger Educational Services, Texas, Houston, 1987.
28. Bird R. B., Stewart W. E., Lightfoot E. N. Transport Phenomena. – New York, Wiley, 1960. – P. 5.

Сведения об авторах

Файк Саад Алаельдин, аспирант кафедры моделирования и управления процессами нефтегазодобычи, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Университет технологии, г. Багдад, Ирак, тел. 89199428514, e-mail: saadfaiq1979@hotmail.com

Саранча Алексей Васильевич, к. т. н., доцент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: sarantcha@mail.ru

Information about the authors

Faiq S. A., Postgraduate at the Department of Modeling and Control of Oil and Gas Production Processes, Industrial University of Tyumen, University of Technology, Baghdad, Iraq, phone: 89199428514, e-mail: saad-faiq1979@hotmail.com

Sarantcha A. V., Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, e-mail: sarantcha@mail.ru

УДК 622.24.053

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БУРОВЫХ ТРЕХШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ

THE INCREASE IN DRILLING DURABILITY OF TRICONE BITS

М. Я. Хабибуллин, Р. И. Сулейманов, О. В. Филимонов

M. Ya. Habibullin, R. I. Suleymanov, O. V. Filimonov

Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский

Ключевые слова: погрешность базирования; долото; шарошка
Key words: location error; bit; cutter

В процессе бурения скважин буровые трехшарошечные долота испытывают колоссальные нагрузки: истирание, износ и выпадение твердосплавных элементов, биение в подшипниках шарошек (так как шарошки совершают движение с двумя степенями свободы). Для того чтобы уменьшить последнее явление, а именно биение, необходимо уделить повышенное внимание качеству изготовления долот на стадии сваривания цапф шарошек с корпусом.

Основные показатели точности буровых шарошечных долот (рис. 1) — допуски на диаметр, разновысотность (*P*) шарошек относительно упорного уступа и радиальное биение (*PБ*) шарошек относительно резьбы — регламентированы ГОСТ 20692-75 [1]. Однако трехшарошечное секционное долото относится к нетехнологичным изделиям машиностроения, так как его секции соединены между собой посредством сварки; оно не содержит базовой детали и характеризуется наличием сложных комбинированно связанных пространственных размерных цепей [2].

Точность трехшарошечного долота по диаметру зависит от погрешностей механической обработки его основных деталей, от смещения секций в процессе сборки долота, от погрешностей, обусловленных деформациями при сварочных операциях [3]. Перечисленные факторы в различной степени влияют на другие два показателя — *P* и *PБ*, но в формировании точности трехшарошечного долота по этим показателям имеют место существенные особенности.

Во-первых, невозможно осуществить контроль и регулирование *P* и *PБ* на стадии сборки изделия, поскольку измерительные базы долота образуются лишь на заключительной стадии его изготовления — в процессе обработки резьбового ниппеля.

Во-вторых, влияние погрешностей базирования долота при обработке ниппеля на P и $PБ$ столь велико, что правильно собранное из годных деталей, но установленное в патроне со значительной погрешностью изделие оказывается некондиционным, и в этом случае его подвергают трудоемкой и энергоемкой дополнительной обработке [4].

На рисунке 2 приведены две схемы базирования трехшарошечных долот в патронах, нашедшие наибольшее распространение. Схема I предусматривает базирование в патроне каждой из шарошек по зубьям периферийного ряда посредством опоры 1 с вогнутой поверхностью, приближенной к поверхности, огибающей вершины зубьев, причем две из трех опор могут перемещаться по дуге окружности для компенсации смещения шарошек в обрабатываемом долоте относительно их номинального положения. В радиальном направлении долото базируют по участкам калибрующих конусов шарошек посредством центрирующего механизма 2, выполненного в виде поворотного кольца с тремя центрирующими поверхностями или в виде цанги, кулачков и т. п. Долото сначала устанавливают шарошками на опоры 1 и прижимают в осевом направлении с небольшим усилием. Одновременно его центрируют в радиальном направлении, а затем закрепляют при помощи плавающего кольца 3. Для повышения жесткости закрепления на ниппеле выполнена внутренняя фаска; по ее поверхности долото закрепляют центром 4. Базирование осуществляется по тем венцам зубьев шарошек, по которым впоследствии контролируется P долота, причем вогнутая форма опоры позволяет избежать составляющей погрешности базирования Δ , обусловленной характером контакта вершин зубьев шарошек с опорой.

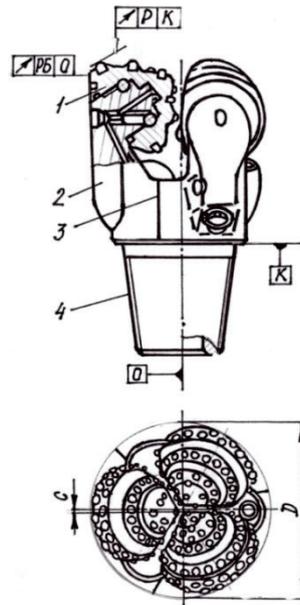


Рис. 1. Трехшарошечное долото:

- 1 — шарошка; 2 — лапа;
- 3 — сварной шов;
- 4 — замковая резьба;
- O — ось резбьы;
- K — плоскость упорного уступа;
- D — диаметр долота;
- C — смещение оси шарошки относительно оси O

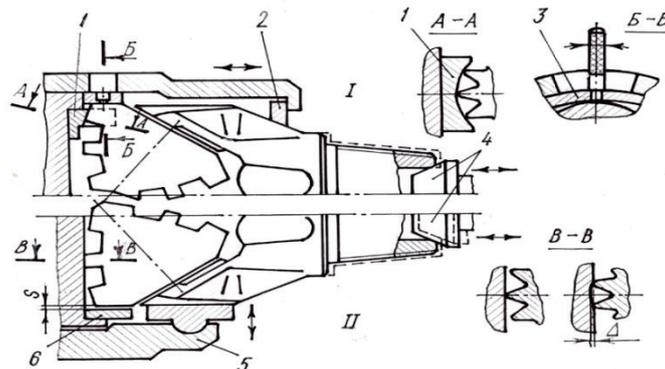


Рис. 2. Схемы базирования трехшарошечного долота при обработке резьбового ниппеля: 1 — опора; 2 — механизм центрирования; 3 — плавающее кольцо; 4 — вращающийся центр; 5 — кулачки; 6 — ограничительное кольцо

Рассмотрим последствия обработки долота, собранного со смещением одной секции в осевом направлении на некоторую величину A . Независимо от указанно-

го смещения секции вершины зубьев периферийных венцов каждой из трех шарошек долота входят в контакт с соответствующими опорами. Вследствие этого после обработки ниппеля периферийные венцы шарошек с большей вероятностью оказываются расположенными на одном уровне относительно плоскости упорного уступа. При этом дефекты сборки проявляются в виде наклона долота на некоторый угол α относительно его номинального положения, вследствие чего происходит, в частности, изменение углов наклона осей цапф к оси вращения долота. Угол α можно приближенно определить по формуле [5, 6]

$$\operatorname{tg} \alpha \approx \frac{A}{R(1 + \sin 30^\circ)}, \quad (1)$$

где R — расстояние между осью долота и зубом, по которому осуществляется базирование.

Например, при смещении секции долота диаметром 215,9 мм в осевом направлении на 0,5 мм угол α составит не более 10–12'. Следовательно, обработка в рассматриваемом патроне долота с относительным смещением секций на значительную величину сопровождается лишь незначительным изменением углов наклона цапф относительно их номинального положения.

Рассмотрим вариант обработки долота с образовавшимся в процессе сборки значительным радиальным биением $PБ_{сб}$, обусловленным, например, неравномерностью его секций по высоте, измеренной относительно ребра двугранного угла.

Так как долото центрирует в радиальном направлении по участкам калибрующихся поверхностей шарошек, и эти участки одинаково удалены от образующейся в процессе обработки ниппеля оси резьбы, возникающее при сборке радиальное биение $PБ_{сб}$ может быть исправлено. Следует лишь учитывать, что такое исправление оказывает влияние на величину смещения осей шарошек относительно оси ребра долота. Погрешность смещения оси шарошки может быть определена по формулам

$$\Delta_{c1} = K \sin \omega; \quad (2)$$

$$\Delta_{c2} = -K (\omega + 60^\circ); \quad (3)$$

$$\Delta_{c3} = K \cos(\omega + 30^\circ), \quad (4)$$

где Δ_{ci} — погрешность смещения оси шарошки соответствующей секции долота (рис. 3); ω — угловая координата направления смещения оси долота относительно плоскости симметрии ближайшей секции ($0 \leq \omega \leq 60^\circ$); K — смещение оси долота, вычисляемое при известных величинах $PБ_{сб}$ и ω из отношения $PБ_{сб}/K$, определяемого по графику (рис. 4) [6].

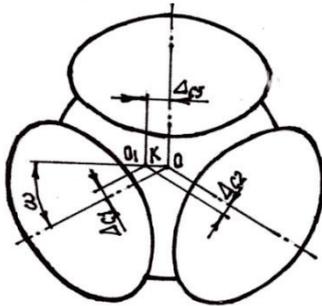


Рис. 3. Погрешность смещения осей шарошек, обусловленная изменением положения оси долота, O , O_1 — соответственно номинальное и фактическое положения оси долота

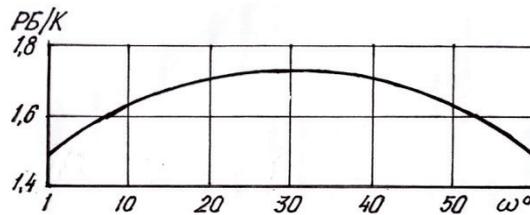


Рис. 4. Зависимость отношения $PБ/K$ от направления смещения ω° трехшарошечного долота

С точки зрения обеспечения требуемой точности долота по P и $PБ$ схему I можно считать оптимальной. Погрешность ΔC относительно невелика, кроме того, ее можно учитывать при назначении номинальной величины смещения осей шарошек, исключая возможность образования отрицательного смещения.

В схеме базирования II (см. рис. 2) наряду с кулачковым механизмом 5 использовано жесткое ограничительное кольцо b , внутренний диаметр которого несколько больше диаметра долота. К достоинствам схемы II относятся возможность обработки в одном патроне долот разных типов, простота установки долота, обеспечение более высокой жесткости закрепления изделия. Расчеты и практика эксплуатации патрона показали, что долото, выполненное с минимальным диаметром, может сместиться в радиальном направлении на недопустимую величину, несмотря на наличие ограничительного кольца b , а долото, собранное со значительным относительным смещением секций в осевом направлении, имеет соответственно высокую разновысотность шарошек.

С целью повышения точности долот по $PБ$ был экспериментально проверен и внедрен в производство контроль процесса базирования долота в патроне путем измерения зазора s между рабочей поверхностью ограничительного кольца b и калибрующей поверхностью шарошки. О возможной величине $PБ$ долота судят по разности зазоров su трех секций. Долота, имеющие диаметр, близкий к нижнему предельному значению, могут быть обработаны в патроне с ограничительным кольцом уменьшенного диаметра. Разновысотность шарошек уменьшена в результате внедрения в производство метода групповой взаимозаменяемости секций по высоте, измеренной в направлении, параллельном оси долота [4].

На точность базирования долота при обработке резьбового ниппеля, особенно с применением схемы I, и на точность измерения P и $PБ$ существенно влияют такие факторы, как люфты в опоре, биение рабочих поверхностей зубьев шарошек при вращении последних на цапфах. Погрешности базирования, обусловленные этими факторами, определяли экспериментально по следующей методике.

Максимальные значения погрешностей измерения

Показатель точности	Число исследованных долот N	Значение центра группирования x , мм	Среднеквадратическое отклонение, мм
Радиальное биение* долот диаметром 215,9 мм	$\frac{145}{150}$	$\frac{0,603}{0,847}$	$\frac{0,313}{0,373}$
Разновысотность* шарошек тех же долот	$\frac{145}{150}$	$\frac{0,555}{0,7}$	$\frac{0,324}{0,394}$
Радиальное биение** долот	$\frac{67; 4061}{295}$	$\frac{1,02; 0,699}{0,727}$	$\frac{0,655; 0,324}{0,365}$
Погрешности*** базирования долота Ш215, 9ТКЗ, обусловленные подвижным закреплением шарошек	$\frac{22}{22}$	$\frac{0,205}{0,195}$	$\frac{0,105}{0,079}$

Примечание.

**В числителе — для долот типа ТКЗ, в знаменателе — для долот типа МЗ.*

***В числителе — при базировании по схеме II (первая цифра — до введения контроля процесса базирования, вторая — после введения контроля), в знаменателе — по схеме I.*

*** *В числителе — Δ_o , в знаменателе — Δ_p .*

Вращая шарошки долота Ш215, 9ТКЗ на цапфах, находили такое положение трех шарошек, при котором P и $PБ$ имели минимальные значения, затем поворачивали шарошки на половину оборота и повторяли измерения, фиксируя теперь максимальные значения P и $PБ$. Поскольку эти измерения выполняются по тем же

венцам зубьев, по которым осуществляется базирование долота при обработке ниппеля, максимальную величину погрешности базирования в осевом направлении Δ_o оценивали по полуразности результатов измерений P ; аналогично по результатам измерений $PБ$ оценивали погрешность базирования в радиальном направлении Δ_p . Величины Δ_o и Δ_p характеризуют возможное смещение долота относительно его номинального положения в патроне вследствие биения шарошек. Максимальные значения указанных погрешностей могут достигать 1/4–1/3 допусков на P и $PБ$ (таблица).

Как показала практика, точность изготовления долот одного диаметра, но разных типов в условиях одного и того же производства может быть различна. В значительной степени она зависит от величины смещения осей шарошек вследствие смещения и неопределенности положения калибрующей точки в конкретном долоте, а также от наличия люфтов в опорах и от шага зубьев в периферийных венцах шарошек.

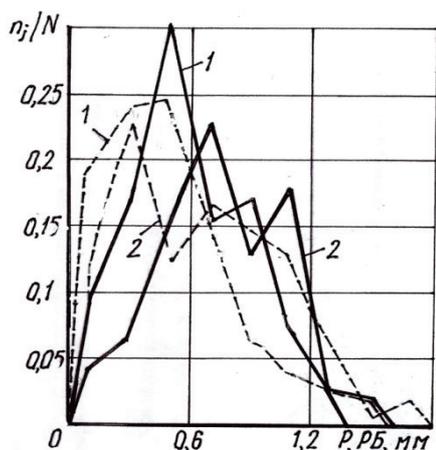


Рис. 5. Распределение показателей точности P и $PБ$ в партиях долот двух типов:
 — — — — — P ; — — — — — $PБ$;
 1 — долота типа ТКЗ;
 2 — долота типа МЗ

На рисунке 5 и в таблице приведено распределение показателей P и $PБ$ в партиях из 145 долот типа Ш215, 9ТКЗ и 150 долот типа Ш215, 9МЗ [8]. Эти долота, значительно различающиеся между собой по смещению шарошек (1 и 8 мм соответственно) и по максимальной величине люфта в опоре (0,55 и 0,8 мм), были обработаны в условиях серийного производства на одном и том же оборудовании, по одному технологическому процессу. Оба рассматриваемые параметра точности долот типа ТКЗ, имеющих меньшие смещения осей шарошек и люфты в опорах, значительно выше.

В результате был экспериментально проверен и внедрен в производство контроль процесса базирования долота в патроне путем измерения зазора s между рабочей поверхностью ограничительного кольца b и калибрующей поверхностью шарошки с целью повышения точности долот по $PБ$. Долота, имеющие диаметр, близкий к нижнему предельному значению, могут быть обработаны в патроне с ограничительным кольцом уменьшенного диаметра. Разновысотность шарошек уменьшена в результате внедрения в производство метода групповой взаимозаменяемости секций по высоте, измеренной в направлении, параллельном оси долота.

Полученные результаты позволяют также сделать вывод о необходимости назначения норм точности дифференцированно, в зависимости не только от диаметра долота, но и от его типа. За счет этого уменьшается его биение в процессе проводки скважины, и тем самым повышается их долговечность.

Библиографический список

1. ГОСТ 20692-75. Долота шарошечные. Типы и основные размеры. Технические требования. – Введ. 1975-07-01. – М., 1975. – 10 с.
2. Булатов А. И., Аветисов А. Г. Справочник инженера по бурению. В 2 томах. Т. 1. – М.: Недра, 1985. – 414 с.
3. Спивак А. И., Попов А. Н. Разрушение горных пород при бурении скважин: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1986. – 208 с.
4. Допуски и посадки: справочник. В 2 ч./ В. Д. Мягков [и др.]. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1982. – Ч. 1. – 543 с.
5. Хабибуллин М. Я., Арсланов И. Г. Расчет нефтепромыслового оборудования. – Уфа: Ред.- издательский центр УГНТУ, 2014. – 98 с.

6. Арсланов И. Г., Хабибуллин М. Я. Расчеты в теоретической и прикладной механике. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. – 94 с.

7. Арсланов И. Г., Хабибуллин М. Я. Применение электронных таблиц в расчетах нефтегазопромыслового оборудования // Современные технологии в нефтегазовом деле — 2016: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф., посвященной 60-летию филиала. – Уфа, 2016. – С. 10–13.

8. Арсланов И. Г., Хабибуллин М. Я. Информационные технологии в расчетах нефтепромыслового оборудования // Научное обозрение. – 2015. – № 6. – С. 74–83.

Сведения об авторах

Хабибуллин Марат Яхиевич, к. т. н., доцент кафедры нефтепромысловых машин и оборудования, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский, тел. 89177414994, e-mail: m-hab@mail.ru

Сулэйманов Рустэм Исхакович, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой нефтепромысловых машин и оборудования, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский, тел. 8(34767)65401, e-mail: rustamsul@rambler.ru

Филимонов Олег Владимирович, к. т. н., доцент, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский

Information about the authors

Habibullin M. Ya., Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of the Oil Field Machinery and Equipment, Oktyabrsky Branch of Ufa State Petroleum Technical University, phone: 89177414994, e-mail: m-hab@mail.ru

Suleymanov R. I., Candidate of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of the Oil Field Machinery and Equipment, Oktyabrsky branch of Ufa State Petroleum Technical University, phone: 8(34767)65401, e-mail: rustamsul@rambler.ru

Filimonov O. V., Candidate of Engineering, Associate Professor, Oktyabrsky Branch of Ufa State Petroleum Technical University

УДК 539.3:622.243

КРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТАМ ДЛИТЕЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕНОК СКВАЖИНЫ

CRITERIAL METHOD OF CALCULATIONS OF LONG-TERM STABILITY OF THE BOREHOLE

О. А. Шипилова, С. В. Шафиева

O. A. Shipilova, S. V. Shafieva

Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск

Ключевые слова: длительная прочность; эквивалентное напряжение; горные породы
Key words: the long-term strength; voltage equivalent; rock mountain

Длительная прочность горных пород, разбуриваемых при проводке нефтяных скважин, является неотъемлемой составляющей безаварийных работ и должна оцениваться при выборе технологии бурения.

В настоящее время известны различные подходы к решению задачи длительной прочности. Один из них — кинетический — основан на использовании кинетической теории ползучести и длительной прочности. Для расчетов можно воспользоваться теорией Л. М. Качанова, в которой степенная зависимость долговечности от времени получена в виде

$$t_* = [A(n-1)\sigma_u^n]^{-1}, \quad (1)$$

где $A > 0$, $n \geq 0$ — постоянные коэффициенты; σ_u — интенсивность напряжений.

Особенности длительной прочности также достаточно хорошо описываются известной формулой С. Н. Журкова, отражающей термофлуктуационный характер процесса разрушения,

$$t_* = t_0 \exp\left(\frac{u_0 - \gamma\sigma_u}{RT}\right), \quad (2)$$

где t_* — долговечность, время до разрушения; t_0 — период колебания атомов в твердых телах; u_0 — энергия активации процесса термодеструкции; γ — структурно-чувствительный параметр; R — универсальная газовая постоянная; T — абсолютная температура.