



Совершенствование режущей структуры долот PDC для условий Восточной Сибири

Г.Г. ИШБАЕВ^{1,2},
д.т.н., профессор,
генеральный директор

Р.Р. МИНГАЗОВ²,
инженер-конструктор отдела
породоразрушающего
инструмента

Е.А. КОВАЛЕВСКИЙ²,
к.т.н., заместитель начальника
отдела породоразрушающего
инструмента
kovalevskii@burinteh.com

К.Р. ВАЛЯМОВ^{1,2},
к.т.н., доцент, кафедра
бурения нефтяных и газовых
скважин;
инженер-конструктор

А.В. СПЕСИВЦЕВ²,
инженер-конструктор отдела
породоразрушающего
инструмента

¹ ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный нефтяной
технический университет»
г. Уфа, 450064,
Российская Федерация

² ООО НПП «БУРИНТЕХ»
г. Уфа, 450112,
Российская Федерация

G.G. ISHBAEV^{1,2},
R.R. MINGAZOV²,
E.A. KOVALEVSKY²,
K.R. VALYAMOV^{1,2},
A.V. SPESIVTSEV²

¹ Federal State Budgetary
Educational Institution of Higher
Education Ufa State Petroleum
Technological University
Ufa, 450064, Russian Federation

² NPP BURINTEKH LLC
Ufa, 450112, Russian Federation

Keywords: well construction,
complex geological conditions,
PDC bits, double-chamfer PDC
cutters

Одним из основных способов повышения стойкости резца PDC-долот является формирование фаски на режущей кромке. Однако, применение только стандартной фаски в условиях неоднородных по твердости горных пород Восточной Сибири оказывается недостаточным. При этом важен компромисс между стойкостью и производительностью, который сложно реализовать в рамках классического резца PDC с одинарной фаской.

Решением этой проблемы стало внедрение двойной фаски, сочетающее в себе основную (агрессивную) фаску с малой шириной, обеспечивающую эффективное разрушение породы и вторичную (поддерживающую) фаску с большим углом, снижающую концентрацию напряжений и защищающую кромку от сколов.

С целью подбора оптимальной конструкции резца PDC с двойной фаской авторами проведена работа по оценке влияния различных вариантов фасок на устойчивость резцов к ударным нагрузкам. Исследование подтвердило высокую эффективность применения PDC-долот, оснащенных резцами с двойной фаской, при бурении твердых трещиноватых горных пород в Восточной Сибири. Полученные результаты открывают перспективу дальнейшего применения технологии в других регионах нашей страны с аналогичными горно-геологическими условиями.

Ключевые слова: строительство скважин, сложные горно-геологические условия, PDC-долота, резцы PDC с двойной фаской

Improving the cutting structure of PDC bits for the conditions of Eastern Siberia

One of the primary methods for increasing the tool life of PDC bits is by creating a chamfer on the cutting edge. However, using only a standard chamfer in the heterogeneous rock hardness of Eastern Siberia proves insufficient. A compromise between tool life and performance is crucial, which is difficult to achieve with a classic PDC bit with a single chamfer.

The solution to this problem was the introduction of a double chamfer, combining a primary (aggressive) chamfer with a narrow width, ensuring effective rock breaking, and a secondary (supporting) chamfer with a larger angle, reducing stress concentration and protecting the cutting edge from chipping. To select the optimal design for a double-chamfer PDC cutter, the authors evaluated the impact of various chamfer options on the cutter's resistance to impact loads. The study confirmed the high efficiency of PDC bits equipped with double-chamfer cutters when drilling hard fractured rocks in Eastern Siberia. The obtained results open up prospects for further application of this technology in other regions of our country with similar geological conditions.

Одной из актуальных задач в нефтегазовой отрасли является повышение эффективности строительства скважин в твердых и абразивных горных породах, что требует постоянного улучшения подходов к модернизации PDC-долот. Особую актуальность эта задача приобретает в условиях Восточной Сибири в связи с расширением географии буровых работ. Регион известен сложными геологическими условиями, включающими прочные кварц-содержащие песчаники, а также прослойки вулканогенно-метаморфических пород. Эти породы отличаются высокой прочностью, абразивностью, а также высокой степенью неоднородности по плотности и минералогическому составу, что приводит к сильным ударам и колебаниям нагрузки на PDC-долото в процессе бурения [1]. В результате резцы, PDC воспринимают высокие

ударные нагрузки и контактные давления, вызывающие критические напряжения в алмазном слое, что приводит к его ускоренному износу, сколам, дроблениям и снижению ресурса долота PDC.

Для повышения надежности и долговечности долот PDC применяется комплекс решений, самым важным из которых является снижение напряжений в теле резца PDC. Этого можно добиться с помощью изменения геометрии режущего элемента, поскольку именно зона контакта «резец–порода» является критической, с точки зрения зарождения сколов [2].

Одним из основных способов повышения стойкости резца PDC является формирование фаски на режущей кромке. Данное решение позволяет перераспределить напряжения в зоне резания, тем самым уменьшить вероятность возникновения



Рис. 1. Состояние ранее применяемых долот с одинарной фаской

хрупкого локального разрушения алмазного слоя. Однако, практика бурения в условиях неоднородных по твердости горных пород Восточной Сибири выявила, что применение только стандартной фаски оказывается недостаточным [3]. При использовании стандартных долот PDC с одинарной фаской (рис. 1) происходит преждевременное разрушение кромок алмазного слоя, что ведет к существенному снижению скорости бурения. Попытки увеличения ширины фаски для повышения стойкости в данном случае: резко снижается эффективность резания, что приводит к снижению скорости бурения. Возникает необходимость искать компромисс между стойкостью и производительностью, который сложно реализовать в рамках классического резца PDC с одинарной фаской.

Решением этой проблемы стало внедрение двойной фаски [4]. Данное конструктивное решение сочетает в себе основную (агрессивную) фаску с малой шириной, обеспечивающую эффективное разрушение породы и вторичную (поддерживающую) фаску с большим углом, снижающую концентрацию напряжений и защищающую кромку от сколов (рис. 2). Такая геометрия обеспечивает двухступенчатый механизм разрушения породы: сначала работает острая кромка основной фаски, затем включается демпфирующее действие вторичной. Это позволяет сохранять необходимую производительность резания, при этом существенно повышая устойчивость резца к ударам и выкрошиванию. Однако эффективность такой геометрии напрямую зависит от точного подбора углов и размеров обеих фасок. Неправильно выбранная комбинация может либо привести к недостаточной стойкости при высоких осевых нагрузках, либо существенно снизить производительность из-за чрезмерного сопротивления резанию.

С целью подбора оптимальной конструкции резца PDC с двойной фаской для увеличения ресурса породоразрушающего инструмента авторами статьи была проведена работа по оценке влияния различных вариантов фасок на устойчивость резцов к ударным нагрузкам. Для этого были проведены лабораторные испытания на ударный тест, в рамках которых исследовались резцы с одинарной и с двойной фаской, с соответствующими различными геометрическими размерами фаски и углов.

Испытания проводились на специально разработанном вертикальном ударном стенде (рис. 3), имитирующем нагрузку, возникающую при столкновении резца с плотными включениями в породе. Установка позволяет точно задавать энергию удара с помощью высоты падения

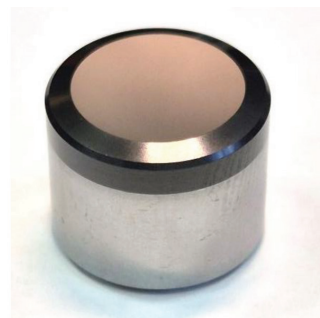


Рис. 2. PDC резец с двойной фаской

бойка. Масса бойка составляла 5,5 кг, твердость – 58 HRC. Резец PDC фиксировался в держателе под углом 20° , что соответствует реальным условиям контакта с горной породой при бурении.

В рамках исследования были выбраны три конфигурации резцов в пределах одной марки с одинаковой алмазной структурой, различающихся только геометрией фаски:

- Конфигурация 1 – резцы с одинарной фаской 0,4 мм под углом 45° .
- Конфигурация 2 – резцы с двойной фаской: основная фаска 0,3 мм под углом 45° , вторичная 0,7 мм, фаски средней ширины.
- Конфигурация 3 – резцы с усиленной двойной фаской: основная фаска 0,4 мм под углом 45° , вторичная 1 мм, фаска большой ширины.

Для надежности анализа всего было исследовано 15 резцов, по 5 резцов с одинаковыми геометрическими параметрами.

Каждая конфигурация испытывалась в идентичных условиях: резец подвергался серии из 10 ударов с определенной энергией. При отсутствии разрушений энергия увеличивалась ступенчато (20, 30, 40 и 50 Дж). В случае разрушения фиксировалось число ударов, которое выдержал резец PDC без повреждения. Испытания показали следующие результаты (рис. 4):

- Конфигурация 1 (рис. 4а): начало разрушения уже при энергии 30 Дж, выдерживая 10–20 ударов. Основные повреждения – сколы на передней кромке и отслоение алмазного слоя.
- Конфигурация 2 (рис. 4б) выдерживала до 30–40 ударов при энергиях вплоть до 50 Дж. Разрушения происходили в основном в основании твердосплавного слоя без разрушения алмазного слоя.
- Конфигурация 3 (рис. 4в) показала максимальную прочность, резец выдержал без разрушения 40 ударов.

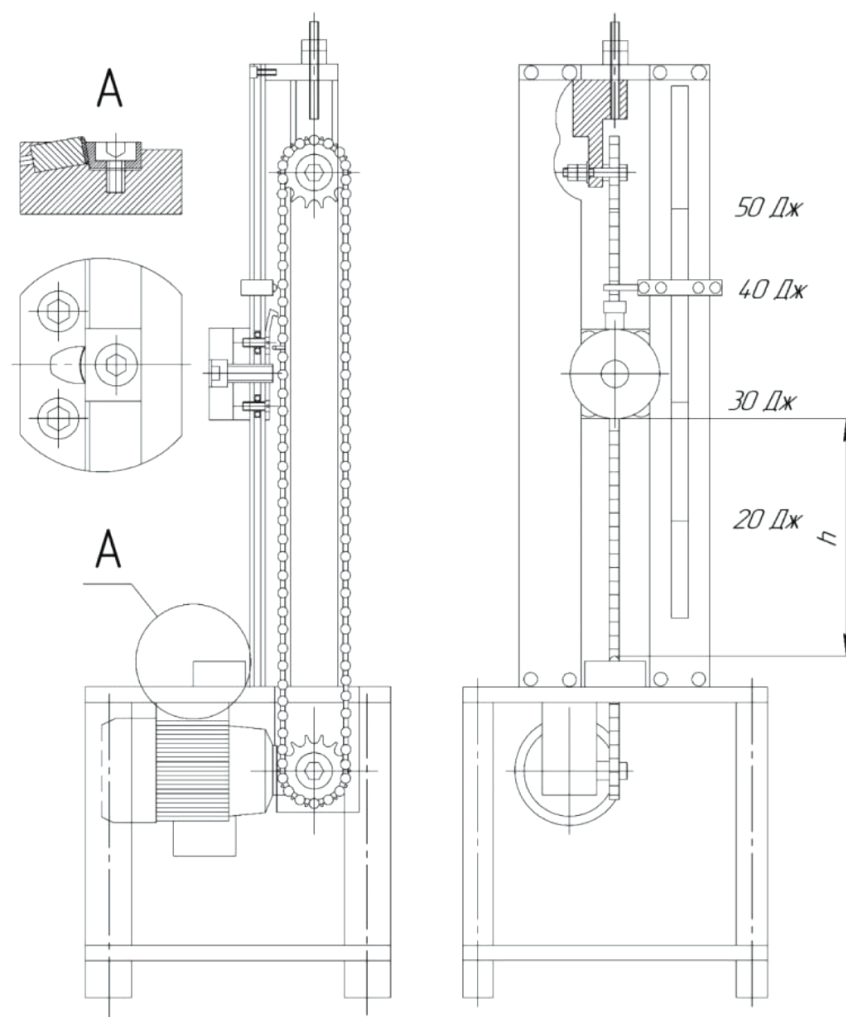


Рис. 3. Вертикальный испытательный стенд на удар

Однако визуально отмечено значительное увеличение площади контакта кромки, что может повлиять на эффективность резания.

Таким образом, результаты испытаний на ударную стойкость показали, что резцы с двойной фаской обеспечивают значительно более высокую ударную стойкость, особенно при оптимально подобранных углах и ширине фасок.

На основе полученных экспериментальных данных производился выбор резца с оптимальной геометрией фаски, обеспечивающей необходимую ударную стойкость. Параметры этого резца (угол установки, размер фаски) были занесены в собственный специализированный расчетный модуль. Данное программное обеспечение предназначено для проектирования PDC-долота под конкретные условия бурения.

Программа моделирует распределение сил резания на каждом резце, учитывая его положение, ориентацию, угол установки и геометрию фаски. Так же рассчитываются потери энергии на трение между корпусом долота и стенками скважины, и суммарная сила дисбаланса от всех резцов, действующая на долото. Эти данные позволяют оценить энергетическую эффективность конструкции долота PDC и минимизировать механические и вибрационные нагрузки на стадии проектирования.

Ключевым преимуществом данной системы проектирования является подбор оптимального сочетания режущей способности резца PDC и его стойкости. За счет

изменения геометрии фасок и типа резца PDC можно влиять на работу долота в скважине: повысить скорость проходки или, напротив, увеличить его ресурс за счет повышения ударной стойкости. Используя программу моделирования, был спроектирован профиль вооружения долота и распределение объема выбуренной породы на каждый резец PDC. Для стабилизации динамических характеристик рассчитана и сведена к минимуму суммарная сила резания от всех резцов PDC. Таким образом, расчет позволил оценить энергоемкость разрушения горной породы при разработке оптимальной конструкции долота PDC для бурения в конкретных условиях.

После проектирования и изготовления опытного долота PDC под коммерческим шифром БИТ 295,3 ВТ 613, оснащенного резцами с двойной фаской, были проведены промышленные испытания в сложных горно-геологических условиях Восточной Сибири. Для проведения опытных работ был выбран интервал скважины с высокой твердостью горных пород, и значительной неоднородностью по составу с высоким содержанием доломитов.

В процессе бурения с использованием нового долота БИТ 295,3 ВТ 613 в реальных условиях контролировались и фиксировались такие параметры как механическая скорость, осевая нагрузка, крутящий момент, кривизна скважины. Особое внимание уделялось режимам работы долота PDC при прохождении переслаивающихся горных пород разной твердости. Бурение данных участков

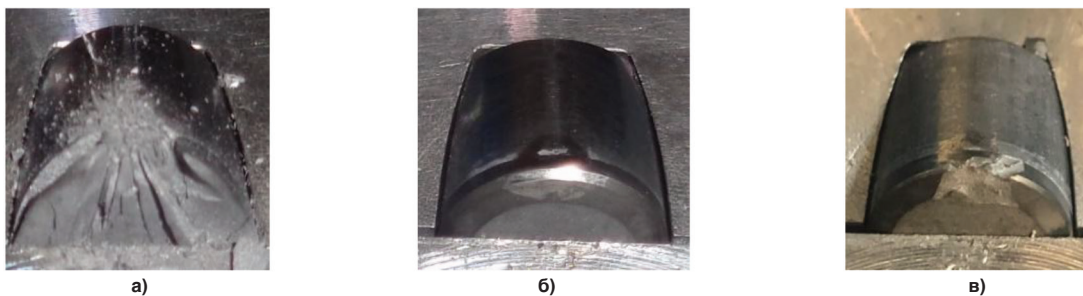


Рис. 4. Результаты испытаний резцов на удар. а – конфигурация 1; б – конфигурация 2; в – конфигурация 3



Рис. 5. Состояние долота после подъема

наиболее опасно с точки зрения ударных нагрузок и разрушения кромок резцов PDC.

Экспериментальное долото пробурило заданный интервал без осложнений. По завершении был проведен подробный осмотр PDC вооружения. Оценивался характер и степень износа резцов, наличие сколов, трещин, отслоений. Проходка на долото составила 700 м. Код износа IADC: 0-0-C-X-IN-TD (рис. 5).

Было получено увеличение средней механической скорости проходки на 20 % по сравнению с ранее применявшимися долотами за счет сохранения острой режущей кромки. Отмечено существенное снижение интенсивности износа кромок резцов, особенно принимая во внимание работу в интервалах с включениями доломитов.

Таким образом, проведенное исследование подтвердило высокую эффективность исследования PDC-долот, оснащенных резцами с двойной фаской, при бурении твердых трещиноватых горных пород в Восточной Сибири. В условиях, где традиционные конструкции с одинарной фаской сталкиваются с преждевременным разрушением, сколами и нестабильной работой, новая геометрия резца обеспечивает значительное повышение надежности инструмента. Лабораторные испытания продемонстрировали, что оптимальное сочетание углов и ширины основной и вторичной фаски позволяет достичь высокого уровня ударной стойкости при сохранении необходимой агрессивности резания. Отсутствие сколов и разрушений PDC резцов при работе в интервалах твердых горных пород подтверждает, что двойная фаска при правильном подборе геометрических параметров может стать оптимальным решением для бурения в наиболее тяжелых геолого-технических условиях. Полученные результаты открывают перспективу дальнейшего применения

технологии в других регионах нашей страны с аналогичными горно-геологическими условиями и формируют основу для последующего совершенствования конструкций режущих элементов.

Литература

1. Мингазов Р.Р., Ишбаев Г.Г., Балута А.Г. [и др.]. Снижение вибрации в процессе бурения путем совершенствования конструкции // Бурение и нефть. – 2021. – № 4. – С. 14–17.
2. Ишбаев Г.Г., Ковалевский Е.А., Балута А.Г. [и др.]. Оценка эффективности разрушения горной породы PDC резцами с различной геометрией алмазного слоя // Бурение и нефть. – 2024. – № 11. – С. 18–20.
3. Шарипов А.Н. Долота для бурения по твердым породам / А.Н. Шарипов, Р.Р. Мингазов // Бурение и нефть. – 2012. – № 12. – С. 46–48.
4. Валуни Д.А., Бугаев К.А., Волков Д.А. [и др.]. Инновационные резцы Stabilis и долота Talon Force позволяют достичь новых рекордов при бурении карбонатов Самарской Области // Бурение и нефть. – 2016. – № 2. – С. 57–61.

References

1. Mingazov R.R., Ishbaev G.G., Baluta A.G., et al. Reducing Vibration During Drilling by Improving the Design // *Drilling and Oil*. – 2021. – No. 4. – Pp. 14–17.
2. Ishbaev G.G., Kovalevsky E.A., Baluta A.G., et al. Drilling and Oil: A Guide to Reducing Vibration in the Drilling Process. [etc.]. Evaluation of the efficiency of rock destruction by PDC cutters with different diamond layer geometries // *Drilling and Oil*. – 2024. – No. 11. – Pp. 18–20.
3. Sharipov A.N. Hard rock drilling bits / A.N. Sharipov, R.R. Mingazov // *Drilling and Oil*. – 2012. – No. 12. – Pp. 46–48.
4. Valyunin D.A., Bugaev K.A., Volkov D.A. [etc.]. Innovative Stabilis cutters and Talon Force bits allow achieving new records in carbonate drilling in the Samara Region // *Drilling and Oil*. – 2016. – No. 2. – Pp. 57–61.