

УДК 622.23.051.7+622.24.051

А.В. Браженцев¹, e-mail: sharoshka@mail.ru; **А.Е. Кусов¹**, e-mail: t5545308@yandex.ru;
В.М. Яковлев², e-mail: v.yakovlev57@mail.ru; **Д.А. Ипанов³**, e-mail: ipanov@vektor-grupp.ru

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (Москва, Россия).

² ООО «СТГ Инжиниринг» (Москва, Россия).

³ ООО «ВЕКТОР ГРУПП» (Москва, Россия).

Анализ возможностей повышения работоспособности шарошечных долот

Шарошечный способ бурения горных пород на открытых разработках, в геологоразведке, при строительстве является наиболее рациональным и экономичным. Принимая во внимание сложность взаимодействия «долото – порода», необходимо учитывать два взаимосвязанных процесса – разрушение породы в призабойной части скважины и износ самого долота. Поэтому исследования по оптимизации конструкции долот проводятся по направлениям усиления опорного узла долота при одновременном снижении в нем коэффициента трения и оптимизации формы зубков с учетом горно-геологических условий работы долот. Наиболее интенсивной нагрузке при работе долота подвергаются породоразрушающие зубки, внедряющиеся в породу и производящие ее скол. Поэтому системный подход к выбору формы зубков, а также исследование влияния физико-механических свойств пород на параметры бурового оборудования являются основными задачами, которые необходимо решить для уменьшения износа механизмов при сохранении в породе напряжений, необходимых для ее разрушения. Установлено, что подшипники качения испытывают большой спектр нагрузок при качении шарошек по забою: при перекачивании шарошки с зубка на зубок, при наличии неоднородностей в породах забоя и при изменении физико-механических свойств породы. Исследования в лабораторных условиях с использованием оптически чувствительных материалов позволили выявить высокую значимость радиуса закругления рабочей кромки зубка, особенно в начальный момент внедрения в породу, когда на острие имеет место максимальная концентрация напряжений, угла установки зубков, особенно в периферийных венцах шарошки, а также длины рабочей части зубков, внедряющейся в породу. Установлено, в частности, что при уменьшении длины рабочей части зубков происходит практически кратное уменьшение напряжений. Исследования также показали, что данный метод изучения процесса работы и износа шарошечных долот позволяет получить достаточно большой объем информации на различных стадиях износа инструмента в отличие от натуральных наблюдений, дающих возможность зафиксировать только конечный результат на определенном этапе работы.

Ключевые слова: горный массив, шарошечное долото, напряженное состояние зубков, форма зубков.

.....

А.В. Brazhentsev¹, e-mail: sharoshka@mail.ru; **А.Е. Kusov¹**, e-mail: t5545308@yandex.ru;
В.М. Yakovlev², e-mail: v.yakovlev57@mail.ru; **Д.А. Ipanov³**, e-mail: ipanov@vektor-grupp.ru

¹ Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education “Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)” (Moscow, Russia).

² STG Engineering LLC (Moscow, Russia).

³ VEKTOR GROUP LLC (Moscow, Russia).

Analysis of Ways to Improve the Performance of Roller Cone Bits

The roller cone method of rock drilling in open pit mining, exploration and construction is the most rational and economical. Taking into account the complexity of the bit-rock interaction, it is necessary to consider two interrelated processes – the destruction of rock in the bottomhole part and the wear of the bit itself. Therefore, research on bit design optimization is carried out along the lines of bit bearing strengthening with simultaneous reduction of friction coefficient and optimization of bit teeth shape taking into account mining and geological conditions of bit operation. The most intensive load during bit operation is applied to the teeth, penetrating into the rock and causing its chipping. Therefore, a systematic approach to tooth shape selection and study of influence of physical and mechanical rock properties on drilling equipment parameters are the main tasks, which should be solved to reduce the wear of mechanisms while keeping stresses in rock necessary for its destruction. It is established that the roller bearings experience a wide range

of loads while running the cutters along the bottom hole: while re-rolling the cutter from tooth to tooth, in the presence of heterogeneities in the rocks and while changing physical and mechanical properties of rocks. The research in laboratory conditions with optical-sensitive materials showed the high significance of the working edge radius, especially at the initial moment of penetration into the rock, when the maximum stress concentration at the tip takes place, the tooth setting angle, especially at the periphery of the cone, as well as the length of the working part of the teeth penetrating into the rock. It was found, in particular, that a reduction of the operating length of the teeth results in almost a multiple of the stress reduction. The researches also showed that this method of studying the process and the wear of roller cone bits allows to get a big enough amount of information at different stages of the tool wear, unlike the full-scale observations, giving the possibility to fix only the final result at the certain stage of the work.

Keywords: mountain range, roller cone bit, tense state of teeth, shape of teeth.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день шарошечный способ бурения скальных пород на открытых горных разработках, а также в геолого-разведке и строительстве является наиболее рациональным и экономичным, вследствие чего разработка новых элементов бурового оборудования, а также совершенствование используемого является весьма актуальной задачей как с практической, так и с экономической точки зрения.

Буровое шарошечное долото – технологически сложная конструкция, поскольку в ней должны быть учтены два взаимосвязанных процесса – разрушение породы в призабойной части скважины и износ самого долота. При работе долото испытывает высокие нагрузки с повышенной вибрацией, обусловленные высокой прочностью и трещиностойкостью пород, а также геологическими неоднородностями. При этом выход долота из строя может быть вызван либо износом опоры, либо разрушением элементов его вооружения.

Таким образом, оптимизацию конструкций долот необходимо вести по двум направлениям, добиваясь усиления опорного узла шарошек при одновременном снижении в нем коэффициента трения и оптимизации формы зубков с учетом горно-геологических условий работы долот.

ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ ШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ, ТРЕБУЮЩИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ РАБОЧЕГО РЕСУРСА ПОРОДРАЗРУШАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Наиболее интенсивной нагрузке при работе долота подвергаются породоразрушающие зубки, внедряющиеся в породу и производящие ее скол. Выбор формы зубков и материала, из которого они изготовлены, а также определение физико-механических свойств пород и параметров бурового оборудования являются главными задачами, которые необходимо решить в целях уменьшения износа механизмов при сохранении в породе напряжений, необходимых для ее разрушения. Основным требованием к породоразрушающей части горного оборудования является повышение износостойкости, поскольку стоимость шарошечных долот во всех странах достаточно высока.

В [1] приведены данные, что в 80 % случаев отказ шарошечного бурового инструмента обусловлен разрушением подшипниковых узлов.

В то же время ряд авторов, к примеру [2], считает, что слабым звеном современных шарошечных долот с твердосплавным вооружением остается их периферийное вооружение. Рейкообразование на периферии скважины приводит не только к снижению эффективности разрушения забоя, но и к образованию на стенках скважины спиральных выступов, которые уменьшают диаметр скважины в свету и затрудняют фрезерование стенки периферийным вооружением при искусственном искривлении скважин.

Подшипники качения шарошек испытывают сложную циклическую нагрузку:

- на тело качения подшипника при качении шарошки по забоя;
- при перекатывании шарошки с зубка на зубок;
- обусловленную изменением физико-механических свойств горной породы.

Все это доказывает, что для повышения рабочего ресурса необходимы более детальные исследования узлов шарошечных долот.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

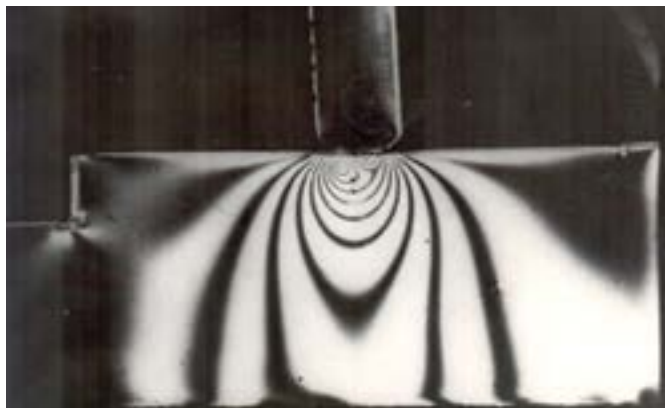
Исследования в лабораторных условиях на оптически чувствительных материалах [3] позволили сделать следующие выводы:

- радиус закругления рабочей кромки зубка крайне важен, особенно в начальный период внедрения в породу, когда на острие имеет место максимальная концентрация напряжений. Так, экспериментальным путем установлено, что при внедрении зубка с радиусом закругления режущей кромки $R/D = 0,5$ горизонтальная нагрузка на породу возрастает приблизительно до 8 раз, что способствует эффективному сколу породы при той же осевой нагрузке;
- большое значение имеет угол установки зубков, особенно в периферийных венцах шарошки, влияющий на напряженно-деформированное состояние породоразрушающих элементов. Экспериментально определено, что при одной и той же

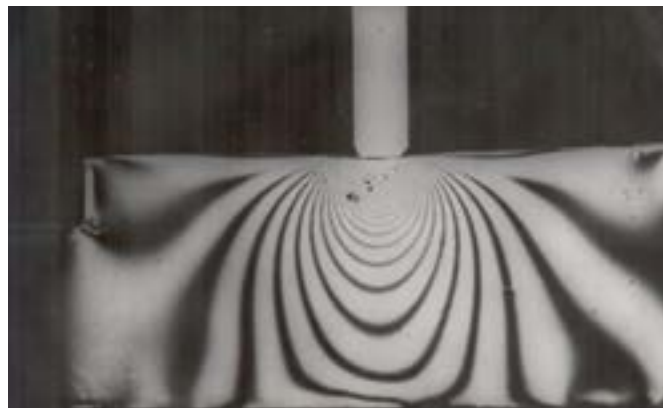
Ссылка для цитирования (for citation):

Браженцев А.В., Кусов А.Е., Яковлев В.М., Ипанов Д.А. Анализ возможностей повышения работоспособности шарошечных долот // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2021. № 5–6. С. 22–24.

Brazhentsev A.V., Kusov A.E., Yakovlev V.M., Ipanov D.A. Analysis of Ways to Improve the Performance of Roller Cone Bits. Territorija "NEFTEGAS" [Oil and Gas Territory]. 2021;(5–6):22–24. (In Russ.)



а) а)



б) б)

Рис. 1. Внедрение в породу разрушающего элемента (зубка): а) большого диаметра; б) меньшего диаметра
Fig. 1. The penetration of a destructive element (teeth) into the rock: a) large diameter; b) smaller diameter

нагрузке зубки, установленные под углом 25° к нормали, работают в худших условиях, чем при угле 45° ;

- фактор формы зубков необходимо учитывать при разработке долот. Приближение к сферической форме позволяет существенно снизить концентрацию напряжений в зубке. При внедрении в породу зубков с радиусом закругления R/D , равным 0,6 и 0,75, коэффициент концентрации напряжений уменьшился приблизительно в 1,2–1,3 раза.

На рис. 1–2 показан процесс исследования взаимодействия рабочих органов бурового инструмента (зубков) и разрушаемой породы. Хорошо видно влияние формы (размеров) зубка и места (условий) его работы на эффективность разрушения – концентрацию напряжений. Отчетливо видно, что с уменьшением диаметра внедряемого инструмента (рис. 1б) эффективность работы по разрушению породы возрастает. На рис. 2 показано, что эффективность разрушения также возрастает при наличии свободной поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует отметить, что при исследовании взаимодействия бурового долота с породой одновременный учет всех факторов, влияющих на напряженное состояние инструмента

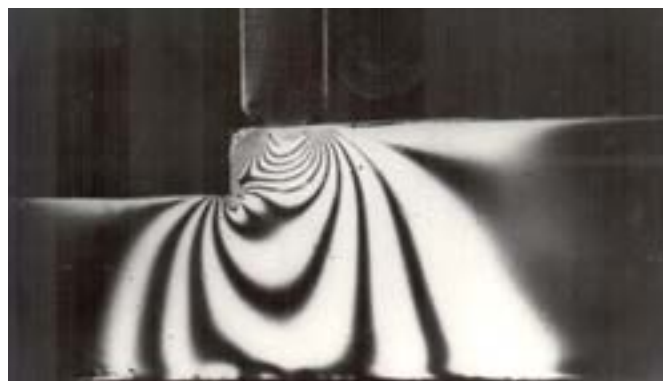


Рис. 2. Разрушение породы при наличии свободной поверхности
Fig. 2. Breaking of the rock in the presence of a free surface

и породы, не представляется возможным. Поэтому необходимо последовательно оценить влияние каждого фактора и тем самым определить степень функциональной зависимости и возможность ее приближения к оптимальным значениям. Это дает возможность выявить причину процессов, наблюдающихся при бурении, и выработать методологические подходы к разработке бурового инструмента.

Литература:

1. Шигин А.О., Гилев А.В., Шигина А.А. Напряжения и стойкость шарошечных долот при бурении сложноструктурных массивов горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 4. С. 325–333.
2. Матвеев Ю.Г., Попов А.Н., Чехов А.А. Рациональное размещение зубков в периферийных венцах шарошек бурового долота // Записки горного института. 2004. Т. 157. С. 44–47.
3. Кусов А.Е., Браженцев А.В., Браженцев В.П. Распределение напряжений в породоразрушающих зубках буровых шарошечных долот. М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1996. 104 с.

References:

1. Shigin A.O., Gilev A.V., Shigina A.A. Stresses and Stability of Rolling Cutter Bits in Complex-Structure Rock Masses. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskiy zhurnal) [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)]. 2013;(4):325–333. (In Russ.)
2. Matveyev Yu.G., Popov A.N., Chekhov A.A. Rational Placement of Teeth in the Peripheral Rings of Drill Bits. Zapiski gornogo instituta [Journal of Mining Institute]. 2004;157:44–47. (In Russ.)
3. Kusov A.E., Brazhentsev A.V., Brazhentsev V.P. Distribution of Stresses in Rock Cutting Teeth of Roller Cone Bits. Moscow: A.A. Skochinsky Institute for Mining; 1996. (In Russ.)