СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ШАРОШЕЧНЫХ БУРОВЫХ ДОЛОТ

А.О. Шигин¹, Д.А. Бореико², Н.Д. Цхадая², Д.Ю. Сериков³

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия;

²Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия;

³Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия

Comparative Analysis of Roller Drill Bit Performance

A.O. Shigin¹, D.A. Boreyko², N.D. Tskhadaya², D.Yu. Serikov³

¹Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; ²Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia;

³I.M.Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow, Russia

Abstract

Currently, roller bits are widely used in rock drilling, which are devices with rotating rollers armed with teeth. There are various approaches in assessing the effectiveness of rock destruction by a roller drilling tool, which can be conditionally divided into structural and technological ones. In addition, all the efficiency factors of the roller bit are related to the correspondence of its characteristics and the drilling process to the properties of the rock it destroys. The article analyzes the operating conditions of the roller bit during drilling of rocks of various hardness. On the example of operation of a two-screw drill bit, the process of power interaction of the toothed weapon with rock is considered depending on various factors, such as the shape and pitch of the teeth, angle of inclination, sharpness of the tooth and others. It is shown that kinematic characteristics of interaction of toothed armament with drilled rock have a significant influence on efficiency of process of face destruction.

Keywords:

Drill bit;
Drilling tool;
Destruction;
Drilling;
Roller cutter;
Rock.

© 2021 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

История разработки, создания и промышленного освоения многочисленных типоразмеров шарошечного бурового инструмента и в частности буровых долот различных конструкций и модификаций началась в 1909 году, с момента, когда Говард Хьюз получил патент США на первое в мире буровое двухшарошечное долото. Именно буровое долото, оснащенное двумя породоразрушающими шарошками, является прародителем всех (более 1500 типов и размеров) используемых в настоящее время шарошечных буровых долот, применяемых как для бурения различных нефтегазовых скважин, так и для проведения поисковых геологоразведочных работ [1].

В настоящее время известны различные подходы, позволяющие оценить эффективность шарошечного бурения. Шарошечное долото конструктивно представляет собой породоразрушающий инструмент с шарошками, которые вооружены

зубьями и имеют возможность вращаться вокруг собственной оси (рис. 1). Эффективность разрушения горной породы зависит от большого количества различных факторов, которые можно разделить на технологические и конструктивные [2]. Кроме того известно, что все факторы усреднены по соответствию характеристик долота и процесса бурения свойствам породы в данный момент бурения [3, 4].

Из всех конструктивных характеристик бурового долота можно выделить несколько основных, наиболее влияющих на эффективность процесса бурения горных пород. К таким характеристикам можно отнести количество шарошек, диаметр, размеры и форма долота, относительное расположение и ориентация зубьев или породоразрушающих элементов. Существуют также и технологические характеристики – это угловая скорость вращения, осевая нагрузка на долото, параметры эффективности удаления бурового шлама, а также параметры, влияющие на эффективность и четкость движения шарошек относительно долота.

*E-mail: diacont_dboreyko@mail.ru

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP2021SI200536>

Шарошечное долото эффективно работает по породам с крепостью от $f = 4$ и выше. Однако, важным условием эффективности работы долота является то, что горная порода не вязкая и происходит её раскалывание (хрупкое разрушение). Если порода вязкая, то происходит налипание её на шарошки, что снижает эффективность работы долота. С кинематической точки зрения движение шарошки по забою выглядит как перекатывание многогранника, которое сопровождается ударами при опускании очередного угла многогранника на поверхность забоя. При налипании породы углы многогранника сглаживаются, что существенно снижает эффективность ударов [5]. В результате общая эффективность разрушения снижается, и работа долота частично переходит из области динамического удара в область разрушения статическим давлением. Если при этом засоряются вращающиеся опоры шарошек, то происходит частичное или полное заклинивание и работа долота переходит из области ударного или статического раскалывания в область резания [6]. При этом разрушение раскалыванием с помощью удара эффективнее разрушения раскалыванием с помощью статического давления и в несколько раз эффективнее разрушения резанием [7].

Оптимальная работа шарошечного долота возможна только при эффективном сочетании нескольких условий: технологических, кинематических, динамических.

К технологическим условиям относятся такие характеристики как: первоначальное и последующее состояние зубьев в процессе бурения; возможность самоочистения долота и важнейших его элементов; работоспособное состояние опор вращения шарошек; работоспособное состояние корпуса, уплотнительных элементов, каналов отвода породы, каналов подвода воздуха или жидкости для отвода бурового шлама, защитных элементов для снижения износа [8].

К кинематическим условиям относятся размерные параметры, связанные с ними режимы и траектории движения подвижных элементов и долота, заложенные в конструкции долота: для создания оптимального удара зубьев по забою с учетом свойств породного массива и особенностей его формирования при разрушении горной породы; для эффективного выхода зубьев из разрушенной породы; для эффективного продвижения долота по заданной траектории [2].

К динамическим условиям относится соотношение кинематических характеристик долота с силовым воздействием на породу посредством взаимодействующих элементов долота [9].

В промышленности известно два основных вида шарошечных долот. Это трех и двухшарошечные долота. Принципиальных отличий у этих двух видов долот не наблюдается. Присутствуют схожие режимы работы при необходимости создания статического осевого усилия и стабильного вращения с относительно небольшими скоростями. Но отличия в работе этих двух видов долот

Рис.1. Шарошечные долота различных типоразмеров производства «NRB - New Rock Bits»

наблюдаются в деталях при рассмотрении их работы при сочетании вышеуказанных условий (рис. 2, 3).

Наличие только двух шарошек в двухшарошечных долотах дает увеличение диаметра шарошки в 1.14 – 1.22 раз относительно диаметра шарошек трехшарошечного долота. Это увеличение размеров шарошки выполняется при сохранении диаметра долота. Например для долота диаметром 215.9 мм, диаметр шарошки двухшарошечного долота будет равняться в среднем 140 мм, против 118 мм для трехшарошечного долота. Увеличение диаметра шарошки на 22 мм относительно небольшое. Однако, например увеличение диаметра тел качения в опоре вращения шарошки существенно снижает напряжение в телах качения шарошки и позволяет повысить осевую нагрузку на долото, что увеличит скорость бурения. Например, при увеличении диаметра тел качения на 1.3 мм или 15 %, осевая нагрузка может быть увеличена на 13 %, исходя из расчета по формуле [10]. Возможность увеличения тел качения может позволить более эффективно использовать ударные режимы работы шарошечного долота. При этом есть возможность либо еще увеличить размеры тел качения, либо увеличить другие размеры. Например увеличив размер зубьев шарошки и их шаг, можно существенно увеличить динамическую составляющую разрушения породы. А при увеличении динамической составляющей соответственно уменьшается необходимая осевая нагрузка для поддержания определенной скорости бурения, либо есть возможность увеличения скорости бурения. Для оценки эффективности бурения при различных размерах зубьев необходимо проанализировать процесс разрушения породы шарошечными долотами.

Шарошечные долота эффективно работают при бурении скважин в породах имеющих

Рис. 2. Конструкция двухшарошечного бурового долота

α_1 – угол межзубцовых впадин; α_2 – угол межвенцовой впадины; 1 – лапы; 2 – наклонные цапфы; 3 – шарошки самоочищающиеся; 4 – подшипники; 5, 6 – зубья призматические; 7, 8 – впадины межзубцовые

Рис.3. Сравнение конструкций двух- и трёхшарошечного бурового долота: d_2 – диаметр шарошки двухшарошечного долота; d_3 – диаметр шарошки трёхшарошечного долота; ω_2 – угловая скорость вращения шарошки двухшарошечного долота; ω_3 – угловая скорость вращения шарошки трёхшарошечного долота; ω_D – угловая скорость вращения долота; d_{O2} – диаметр опорного узла двухшарошечного долота; d_{O3} – диаметр опорного узла трёхшарошечного долота; l_2 – длина образующей шарошки двухшарошечного долота; l_3 – длина образующей шарошки трёхшарошечного долота; D_D – диаметр долота

небольшую пластичность и высокую хрупкость. При этом шарошечные долота эффективно разрушают породы крепостью от 6 до 18 по шкале проф. Протодяконова. В промышленности для бурения крепких пород как правило используются долота, вооруженные твердосплавными зубьями небольшого размера, округлой формы. Это связано со сложностью изготовления твердосплавных зубьев и крепления их в теле шарошки [11]. Для изменения размера зубьев необходимо привести существенные доказательства, подтверждающие необходимость увеличения размера для повышения эффективности бурения. При бурении пород, обладающих пластичностью, необходимо применять долота, обладающие такой кинематикой и конструкцией, которые приводят к образованию сдвиговых напряжений в породе при воздействии на нее зубьев долота. Однако для долот, предназначенных для бурения мягких и пластичных пород не стоит проблема увеличения зубьев или значительного изменения конструкции существующих долот.

При этом долота, применяемые для бурения крепких пород, нуждаются в существенном усовершенствовании. Это связано с необходимостью увеличения ресурса бурового инструмента и скорости бурения. Для упрощения анализа остановимся на случае бурения хрупкой крепкой породы шарошечным долотом с перекрещивающимися осями шарошек. Процесс шарошечного бурения выполняется при воздействии вдоль оси долота осевого усилия и крутящего момента. Энергия, необходимая для разрушения породы передается непосредственно через осевое усилие. При этом вращение необходимо для выполнения кинематики движения шарошек по забою. Однако в процессе бурения глубоких нефтегазовых скважин практически вся мощность направляется на осуществление вращения бурового инструмента, в связи с тем, что осевая нагрузка обеспечивается за счет веса буровых труб. В процессе работы шарошечного долота происходит перекатывание шарошек по забою. Этот процесс не является плавным. Напротив, эффективность работы долота напрямую зависит от циклических ударов при жестком перекатывании шарошек с одного ряда зубьев на следующий и так далее. При этом известно, что хрупкие породы разрушаются с обязательным образованием трещин и откалыванием кусков породы. И чем больше откалываются куски от забоя, тем эффективнее процесс, больше скорость бурения, больше ресурс и меньше затрачивается энергии на бурение. По некоторым сведениям известно [7], что при воздействии зуба на породный массив вследствие удара, он внедряется в поверхность массива не более чем на 3 мм. Далее осуществляется процесс расширения трещин, сопровождающийся откалыванием кусков горной породы. Этот процесс протекает под действием статических нагрузок и вследствие перекатывающего движения шарошки, зубья которой поочередно внедряются

в породу забоя. При этом наибольшее значение имеет работа, совершаемая посредством ударов. Процессы передачи ударных нагрузок играют одну из главных ролей и являются основой причиной зарождения и развития трещин в разбуриваемом горном массиве. Работа зуба вооружения шарошки при этом в основном зависит от мощности привода буровой установки и времени передачи энергии удара зуба горной породе [10].

$$A_{зуб,уд} = P_{ос} \cdot v_s \cdot t_{уд} \quad (1)$$

где $A_{зуб,уд}$ – работа удара зуба, Дж; $P_{ос}$ – осевая нагрузка на породоразрушающий орган, Н; v_s – линейная скорость вершины зуба при его входе в поверхностный слой забоя м/с; $t_{уд}$ – величина времени совершения ударной нагрузки, с.

Как показывают расчеты, линейная скорость вершины зуба периферийного венца шарошки, с диаметральный размером 215 мм и частотой вращения 2.5 оборота в секунду, составляет примерно 0.1 м/с. Определить продолжительность времени соударения зуба с забоем можно исходя из величины углубления зуба (три мм) и среднего значения скорости равнозамедленного движения при углублении зуба в процессе удара (0.05 м/с). В результате время соударения равно $t_{уд} \approx 60 \cdot 10^{-3}$ с. Тогда работа совершаемая одним зубом трехшарошечного бурового долота, в условиях одно-временного соприкосновения одного из зубьев каждой из трех шарошек долота, будет равна $A_{зуб,уд} = 40$ Дж. Дальнейшие исследования показывают, что при этом объем разбуренного шлама при прочности породы на сжатие равном $\sigma_{сж,пор} = 100$ МПа, составляет $V_{раз,пор} = 0.4$ мм³. Проведенный анализ свидетельствует о том, что данной энергии удара, достаточно лишь для зарождения и образования трещин. Поэтому откалывание кусков разрушаемой инструментом горной породы осуществляется вследствие перекачивания шарошек бурового долота по забою. В свою очередь важным моментом является условие, чтобы энергия удара передавалась горной породе на минимально возможной площади поражения, что может быть обеспечено за счет использования зубьев с малыми углами заострения. Это подтверждает необходимость увеличения доли ударной работы зубьев шарошек при бурении крепких и хрупких пород. Для увеличения доли энергии удара в общей работе зубьев шарошечных долот есть два пути: конструктивный и технологический.

В качестве технологического подхода возможно наложение вынужденных колебаний долота или рабочего органа для создания дополнительной динамической нагрузки на забой. С целью повышения эффективности работы шарошечного бурового инструмента, многочисленными учеными был проведен целый ряд исследований, по наложению ударных нагрузок. Так, например, известно использование станка (бурового) – БУШУ-160. Применение данного станка позволило увеличить в 1.5-2 раза механическую скорость бурения при прохождении горных пород крепостью $f \geq 10$ (шкала Протодеяконова). Несмотря на ударную нагрузку, проходка долот увеличи-

валась на 15-20 % при бурении пород крепостью $f = 12-14$. Однако, в конце концов шарошечные долота как правило выходили из строя, что значительно осложняло процесс бурения в целом [12]. В настоящее время данный способ практически не применяется. Но известны исследования ученых, которые в настоящее время разрабатывают устройства и способы наложения ударных нагрузок [1].

Другой подход заключается в создании такого вооружения шарошек, которое будет эффективно создавать ударную нагрузку при жестком перекачивании шарошек по забою. Для этого необходимо применять зубья такой формы, размеров и расположения в теле шарошки, чтобы создавать максимально возможные ударные нагрузки. Ключевую роль при ударном разрушении породы играют явления, оказывающие существенное влияние на процессы зарождения и образования микротрещин в разбуриваемой породе забоя при воздействии на него зубчатого вооружения шарошки бурового инструмента. Рассмотрим более подробно работу, совершаемую зубом вооружения шарошки в процессе разрушения горной породы. Так в случае идеального хрупкого разрушения разрушающее (критическое) усилие гарантированно обеспечивает зарождение и образования микротрещин. Процесс дальнейшего развития образовавшихся на первом этапе микротрещин, зависит от множества факторов, таких как: геометрические параметры забоя, твердость и прочность или пластичность породы, соотношения начальных размеров микротрещин к осевой нагрузке на инструмент. Процесс разрушения хрупко-пластичных пород характеризуется неизбежными частичными энергетическими потерями, обусловленными деформацией забоя. Однако необходимо отметить позитивное влияние процесса первоначального ударного воздействия, позволяющего в последствии значительно увеличить долю работы разрушения. Это объясняется развитием и протеканием волновых процессов в разрушаемом материале. Нагрузка при ударном воздействии передается значительно быстрее посредством межатомных связей материала, а скорость распространения деформации может достигать скорости звука. Быстрая передача нагрузки позволяет эффективно разрушать отдельные межатомные связи и не нуждается в постепенном нагружении всего материала, что существенно снижает требующуюся для зарождения, образования и распространения начальных микротрещин энергию разрушения. Наличие микротрещин на поверхности забоя, в дальнейшем уже не требует достаточно большой энергии для их последующего развития. Достаточно приложения лишь определенных критических сил, величины которых уменьшаются сообразно увеличению размеров трещин. Соответственно при сохранении величин сил прикладываемых для разрушения породы, скорости образования и роста трещин увеличиваются. Существует зависимость, связывающая начальные размеры

микротрещины и разрушающую нагрузку, описывающая (задающая) граничные условия способствующих дальнейшему росту и распространения трещин [13].

$$\sigma_{kp} = \lambda_1 \sqrt{E\gamma/a} \quad (2)$$

где σ_{kp} – величина граничного напряжения, обеспечивающего зарождение и рост трещин; E – модуль упругости материала, λ_1 – множитель зависящий от коэффициента Пуассона, a – первоначальный размер трещин, γ – поверхностная энергия единицы свободной поверхности.

Как известно горные породы не являются монолитными структурами и состоят из множества зерен. В связи с этим для твердых и крепких горных пород критические напряжения будут зависеть от наиболее крупных трещин или наибольших и наименьших размеров наиболее слабых зерен породы.

При этом требуемое осевое усилие, обеспечивающее создание критической нагрузки, в основном зависит размеров площадки притупления зубьев F_3 взаимодействующей с породой в данный момент времени и динамического коэффициента K_d .

$$P_{oc.kp} = \frac{\lambda_1 \sqrt{E\gamma/a} \cdot F_3}{K_d} \quad (3)$$

$$K_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h_2}{\Delta_{cm}}} \quad (4)$$

где h_2 – величина расстояния между вершиной зуба «С» (рис. 4), опускающегося на забой. Принимает максимальное значение в момент, когда предыдущий зуб «В» уже взаимодействует с забоем, а зуб «А» при этом все еще соприкасается с поверхностью забоя.

Δ_{cm} – величина заглубления зуба в породу забоя при его статическом вдавливании. Данная величина зависит от совершаемой зубом вооружения работы, числа одновременно взаимодей-

ствующих с породой зубьев n_3 , крепости породы σ_0 , величины площадки притупления или пятна контакта и геометрических параметров зуба F_3 . Одним из обязательных условий, обеспечивающих и характеризующих динамический коэффициент является обеспечение определенной скорости вершины зуба в процессе опускания его на поверхность забоя v_3 .

$$\Delta_{cm} = k \cdot \frac{A_3}{k_{инд} \cdot F_3 \cdot \sigma_0} = k \cdot \frac{P_{oc} \cdot v_3 \cdot t}{k_{инд} \cdot n_3 \cdot F_3 \cdot \sigma_0} \quad (5)$$

здесь $k_{инд}$ – коэффициент учитывающий форму зубьев [10]; k – коэффициент, учитывающий конструкторско-кинематические особенности бурового долота (пропорциональности); t – время цикла опускания каждого последующего зуба вооружения шарошки на забой, зависящее от скорости вращения бурового инструмента и коэффициента учитывающего количество рядов зубчатого вооружения зубья которых одновременно взаимодействуют с забоем $k_{ряд}$.

$$t = k_{ряд} / n_{вр}$$

Показатель Δ_{cm} – физическая величина, характеризующая эффективность работы шарошечного долота при бурении хрупких пород. В выражении (5) видно, что эффективность процесса непосредственно зависит от скорости зуба в момент удара по забою. Линейная скорость зуба находится в прямой зависимости от радиуса шарошки. При этом как видно из выражений (3) и (4), эффективность процесса бурения так же зависит от величины h_2 . Таким образом эффективность шарошечного бурения можно определить с помощью выражения (6).

$$\Delta_{cm} = \frac{2h_2}{\left(\frac{F_3 \cdot \lambda_1 \sqrt{E\gamma/a}}{P_{oc}} - 1 \right)^2 - 1} \quad (6)$$

где P_{oc} – действующее на долото осевое усилие, Н. При условии, что $P_{oc} \geq P_{oc.kp}$. Как видно из выражения (6), эффективность разрушения хрупких пород шарошечным долотом увеличивается двукратно при увеличении величины h_2 . При этом величина h_2 зависит от радиуса шарошки, длины и расположения зубьев. Теоретически самая большая ударная нагрузка возможна при наличии всего трех рядов зубьев и длиной зубьев сопоставимой с диаметром шарошки. Однако на практике такие зубья технологически невозможно достаточно крепко закрепить в теле шарошки, поскольку удар такой интенсивности будет выбивать зубья раньше, чем закончится ресурс опор качения. Поэтому для эффективной ударной работы долота необходимо располагать зубья в ряды. А длина и шаг зубьев должны рассчитываться с учетом допустимой нагрузки на все узлы и элементы шарошечного долота. При этом достаточное увеличение размера зубьев для долот, предназначенных для крепких пород с учетом допустимых нагрузок на подшипники и тела шарошек предпочтительно выполнять для двухшарошечных долот.

Рис.4. Принципиальная схема движения шарошки по забою

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Для создания шарошечных буровых долот, наиболее эффективно использовать ударное разрушение породы за счет кинематики движения подвижных частей их конструкций, при этом необходимо применять зубья увеличенной длины, изготовленных из твердых сплавов или других материалов, имеющих высокую прочность, твердость и ударную вязкость.
2. Для дальнейшего развития направления повышения доли ударной энергии в работе разрушения породы шарошечными долотами, рекомендуется применять двухшарошечные долота, поскольку необходимо существенное увеличение размеров зубчатого вооружения

и тел шарошек для повышения прочности и надежности крепления зубьев, а также необходимо увеличение размеров подшипниковых узлов шарошек на 15% и более для увеличения стойкости долот при воздействии на все их узлы и элементы более значительных ударных нагрузок.

3. Необходимо разработать зубчатое вооружение, и способ его крепления, изготовленного из твердых сплавов или других материалов, имеющих высокую прочность, твердость и ударную вязкость, вылет которого над телом шарошки будет увеличен в 1.5 раза и более, чем у существующего ныне бурового инструмента с целью создания более значительного ударного воздействия на забой.

Литература

1. Богомолов, Р. М., Носов, Н. В. (2015). Буровой инструмент. Энциклопедия изобретений. Москва: Инновационное машиностроение.
2. Сериков, Д. Ю. (2018). Повышение эффективности шарошечного бурового инструмента с косозубым вооружением. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Ухта: УГТУ.
3. Егоров, Н. Г. (2006). Бурение скважин в сложных геологических условиях. Тула: ИПП «Гриф и К».
4. Цхадая, Н. Д., Хегай, В. К. (2018). О проблеме устойчивости вращения бурильной колонны в процессе разрушения горной породы. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*, 6, 5-10.
5. Богомолов, Р. М., Сериков, Д. Ю. (2018). Совершенствование вооружения шарошечного бурового долота. *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса*, 5, 24-28.
6. Сериков, Д. Ю., Ищук, А. Г., Серикова, У. С. (2018). Новая конструкция опоры скольжения шарошечного бурового долота. *Сфера нефть и газ*, 6, 32-34.
7. Крюков, Г. М. (2006). Физика разрушения горных пород при бурении и взрывании. Москва: Издательство «Горная книга».
8. Нескоромных, В. В. (2021). Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ. Красноярск: СФУ.
9. Мавлютов, М. Р. (1979). Разрушение горных пород при бурении скважин. Москва: Недра.
10. Шигин, А. О. (2015). Методология проектирования адаптивных вращательно-подающих органов буровых станков и технологий их применения в сложноструктурных породных массивах. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Иркутский национальный исследовательский технический университет.
11. Манираки, А. А., Сериков, Д. Ю., Гаффанов, Р. Ф., Серикова, У. С. (2019). Проблемы выбора методов модернизации промышленных предприятий. *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса*, 1, 28-33.
12. Борейко, Д. А. (2015). Повышение эффективности оценки технического состояния нефтегазопромысловых конструкций нетепловыми пассивными методами диагностики. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ухта: УГТУ.
13. Крец, В. Г., Саруев, Л. А. (2011). Буровое оборудование. Томск: ТПУ.

References

1. Bogomolov, R. M., Nosov, N. V. (2015). Drilling tools. Encyclopedia of inventions. Moscow: Innovative Engineering.
2. Serikov, D. Yu. (2018). Povyshenie effektivnosti sharoshechnogo burovogo instrumenta s kosozubym vooruzheniem. Dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. Uhta: UGTU.
3. Egorov, N. G. (2006). Drilling wells in difficult geological conditions. Tula: IPP «Vulture and K».
4. Tskhadaya, N. D., Kheday, V. K. (2018). On the problem of stability of rotation of the drill string in the process of destruction of rock. *Construction of Oil and Gas Wells on-Land and Off-Shore*, 6, 5-10.
5. Bogomolov, R. M., Serikov, D. Yu. (2018). Improvement of the cutting structures of the rolling cutter drill bits. *Equipment and Technologies for Oil And Gas Complex*, 5, 24-28
6. Serikov, D. Yu., Ishchuk, A. G., Serikova, U. S. (2018). Novaya konstrukciya opory skol'zheniya sharoshechnogo burovogo dolota. *Sfera neft' i gaz*, 6, 32-34.
7. Kryukov, G. M. (2006). Physics of destruction of rocks during drilling and blasting. Moscow: Publishing house of the Moscow State Mining University, Gornaya Kniga.

8. Neskromnykh, V. V. (2021). Destruction of rocks during geological exploration. *Krasnoyarsk: SFU*.
9. Mavlyutov, M. R. (1979). Destruction of rocks during well drilling. *Moscow: Nedra*.
10. Shigin, A. O. (2015). Metodologiya proektirovaniya adaptivnyh vrashchatel'no-podayushchih organov burovyyh stankov i tekhnologiy ih primeneniya v slozhnostrukturnykh porodnykh massivah. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. *Irkutskiy nacional'nyj issledovatel'skiy tekhnicheskij universitet*.
11. Maniraki, A. A., Serikov, D. Yu., Ghaffanov, R. F., Serikova, U. S. (2019). The problems of selecting methods for industrial enterprises modernization. *Equipment and Technologies for Oil And Gas Complex*, 1, 28-33.
12. Borejko, D. A. (2015). Povyshenie effektivnosti ocenki tekhnicheskogo sostoyaniya neftegazopromyslovykh konstruktsiy neteplovymi passivnymi metodami diagnostiki. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. *Uhta: UGTU*.
13. Krec, V. G., Saruev, L. A. (2011). Burovye oborudovaniya. *Tomsk: TPU*.

Сравнительный анализ эффективности работы шарошечных буровых долот

А.О. Шигин¹, Д.А. Бореико², Н.Д. Цхадая², Д.Ю. Сериков³

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия;

²Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия;

³Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия

Реферат

В настоящее время при бурении горных пород широко используются шарошечные долота, которые представляют собой устройства с вращающимися шарошками, вооруженными зубьями. Существуют различные подходы в оценке эффективности разрушения горных пород шарошечным буровым инструментом, которые можно условно разделить на конструктивные и технологические. Кроме того, все факторы эффективности работы шарошечного долота связаны с соответствием его характеристик и процесса бурения свойствам разрушаемой им породы. В статье проанализированы условия работы шарошечного долота при бурении горных пород различной твердости. На примере работы двухшарошечного бурового долота рассмотрен процесс силового взаимодействия зубчатого вооружения с горной породой в зависимости от различных факторов, таких как форма и шаг зубьев, угол наклона, острота зуба и других. Показано, что кинематические характеристики взаимодействия зубчатого вооружения с разбуриваемой породой оказывают существенное влияние на эффективность процесса разрушения забоя.

Ключевые слова: долото шарошечное, буровой инструмент, разрушение, горная порода, бурение, шарошка.

Şaroşkalı qazıma baltalarının işləmə effektivliyinin müqayisəli təhlili

A.O. Şigin¹, D.A. Boreyko², N.D. Sxadaya², D.Yu. Serikov³

¹Sibir Federal Universiteti, Krasnoyarsk, Rusiya; ²Uxta Dövlət Texniki Universiteti, Uxta, Rusiya; ³İ.M. Qubkin adına Rusiya Dövlət Neft və Qaz Universiteti, Moskva, Rusiya

Xülasə

Hal-hazırda dağ-mədən süxurlarının qazılması zamanı şaroşkalı baltalardan geniş istifadə olunur. Bu baltalar üzərində diş quraşdırması olan fırlanan şaroşkalardan ibarətdir. Dağ-mədən süxurlarının şaroşkalı qazıma aləti ilə dağıdılmasının (qazılmasının) effektivliyinin qiymətləndirilməsinə müxtəlif yanaşmalar mövcuddur. Bunlar şərti olaraq konstruktiv və texnoloji hissələrə ayrılır. Bundan əlavə, şaroşkalı baltanın işinin effektivlik amilləri onun xarakteristikası və qazıma prosesi ilə qazılacaq süxurun xassələrinin uyğunluğundan asılıdır. Məqalədə müxtəlif şərtlilikli dağ-mədən süxurlarının qazılması zamanı şaroşkalı baltaların işləmə şərtləri təhlil edilmişdir. Dişlərin forma və addımları (pillələri), maillik bucağı, dişlərin itiliyi və digər amillərdən asılı olaraq, ikişaroşkalı qazıma baltasının nümunəsində diş quraşdırması ilə dağ-mədən süxurunun qarşılıqlı güc təsiri prosesinə baxılmışdır. Göstərilmişdir ki, diş quraşdırması ilə qazılacaq süxurun qarşılıqlı təsirinin kinematik xarakteristikası quyudibinin qazılması prosesinin effektivliyinə əhəmiyyətli təsiri vardır.

Açar sözlər: şaroşkalı balta; qazıma aləti; dağılma; dağ-mədən süxuru; qazıma; şaroşka.