

На правах рукописи



Нахангов Хожиакбар Нурмаматович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ОДНОШАРОШЕЧНЫХ
ДОЛОТ ДЛЯ БУРЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН.**

Специальность 25.00.14 – Технология и техника геологоразведочных работ.

Автореферат диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена на кафедре Современных технологий бурения скважин имени проф. Б.И. Воздвиженского в государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ-РГГРУ).

Научный руководитель: Кандидат технических наук, доцент,
Бронников Игорь Дмитриевич

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, доцент
Борисов Константин Иванович

Кандидат технических наук
Кубасов Владимир Викторович

Ведущая организация: Иркутский национальный
исследовательский технический
университет (ИРНИТУ)

Защита состоится «22» мая 2018 года в 13.00 в ауд. 4-73 на заседании диссертационного совета Д 212.121.05 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ - РГГРУ).

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, МГРИ – РГГРУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГРИ-РГГРУ.

Автореферат разослан «__» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд. техн. наук



Назаров А.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и востребованность темы диссертации. Бурение разведочных скважин как сложнейший технологический процесс немыслим вне связи с научно-техническим прогрессом в области исследования буровых процессов, связанных с разрушением горных пород и совершенствованием породоразрушающих инструментов.

Породоразрушающий инструмент, являющийся основным забойным механизмом, непосредственно разрушающий горную породу и формирующий форму забоя и ствола, изучается учеными и специалистами с целью его совершенствования и разработки новых конструкций.

За последние 30-40 лет производительность породоразрушающих буровых инструментов всех типоразмеров, возросла кратно. Однако такие достижения базировались в основном на использовании новых сверхпрочных и стойких к абразивному износу материалов и на технологии изготовления буровых долот.

Основная задача геологоразведочного бурения заключается в получении исходных данных для подсчета запасов полезных ископаемых, выявлении формы, размеров и условий залегания полезного ископаемого, а также во всестороннем изучении свойств горных пород и полезных ископаемых.

Прогрессивным способом бурения геологоразведочных скважин является бескерновое бурение, позволяющее увеличить проходку на долото по сравнению с бурением скважин с отбором керна и значительно сократить время на спускоподъемные операции.

Удельный вес бескернового бурения в общем объеме разведочного бурения составляет свыше 20%. Кроме поисково-разведочных работ, бескерновое бурение широко применяется и при детальной разведке месторождений полезных ископаемых.

Есть основание утверждать, что с увеличением глубины поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых возрастет и объем бескернового бурения.

Повышение эффективности бескернового бурения позволит значительно увеличить объем геологоразведочных работ.

Наиболее производительным является бескерновый способ бурения шарошечными долотами. Особенно эффективно бурение шарошечными долотами по крепким, разрушенным и трещиноватым породам.

Эффективность одношарошечного долота (ОД) для бескернового бурения геологоразведочных скважин характеризуется наличием крупногабаритной шарошки, диаметр которой незначительно меньше диаметра долота, имеется опора, позволяющая достичь значительно большей осевой нагрузки и большей надёжности долота, а также приближенных к забою каналов для подачи потоков промывочной жидкости. Поэтому проходка на долото одношарошечных долот превышает время пребывания на забое других типов долот.

При бескерновом бурении долота работают в основном породах различной категории по буримости, поэтому целесообразно разработать конструкции ОД которые эффективно будут работать практически в породах разных категорий твердости.

На сегодняшний день буровые долота для бурения разного рода скважин закупаются из-за рубежа по довольно высокой цене и количество таких закупок, возрастает. Поэтому актуальным в настоящее время является вопрос, хотя бы по частичному замещению буровым инструментом собственного производства.

При возрастающих объемах бескернового бурения геологоразведочных скважин разработка одношарошечных долот является весьма актуальной научной задачей.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является бескерновое бурение геологоразведочных скважин. Предмет исследования – эффективность применения одношарошечных долот, позволяющих бурить геологоразведочные скважины в широком диапазоне по твердости горных пород.

Цель и задачи работы: Повышение эффективности бескернового бурения скважин путем разработки теоретических основ геометрических параметров породоразрушающих элементов ОД, обеспечивающих снижение энергоемкости бурения при одновременном увеличении скорости бурения геологоразведочных скважин.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

– установление закономерностей изменения относительных усилий разрушения горных пород в зависимости от характеристик стесненных условий забоя скважины, геометрической формы плоскости забоя, угла атаки зубка и наличия рядом дополнительной открытой поверхности;

– вывод уравнений движения работы одношарошечного долота с учетом внедрения его зубка на забой скважины, в основе которых определяются кинетические параметры в виде удельной контактной и объемной работы разрушения;

– разработка новой усовершенствованной конструкции одношарошечного долота, образующую оптимальную сферическую форму забоя скважины, которая позволяет бурить геологоразведочные скважины в горных породах разной твердости;

Методы исследований. Применение комплексных методов теоретических и экспериментальных исследований, включающих: напряженное и деформированное состояние горных пород и рабочих органов породоразрушающих инструментов при их взаимодействии в условиях забоя скважины и определение закономерностей их контакта и параметров внедрения в породу забоя скважины; сравнительные производственные испытания опытных долот с серийными шарошечными долотами при соблюдении горнотехнических и технологических условий бурения; обработка результатов сравнительных производственных испытаний на основе методов математической статистики и регрессионного анализа с использованием компьютерной техники.

Научная новизна:

- Разработаны математические 3D модели, имитирующие работу зубка на забое скважины в различных породах, для инженерного анализа в программном пакете Ansys Workbench позволяют, найти зависимости относительных усилий разрушения горных пород при вдавливания зубка от расстояния до стенки скважины.

- Определены закономерности изменения усилия разрушения горных пород в зависимости от стесненных условий забоя скважины, геометрической формы поверхности забоя, угла атаки зубка и наличия рядом расположенной дополнительной открытой поверхности, на основе которых разработана методика определения оптимальных параметров расстановки рабочих органов на долоте;

- Найдены зависимости удельной и объемной работы разрушения горных пород одношарошечных долот диаметрами 112 мм и 140 мм от траектории зубка на забое скважины, позволяющие наиболее равномерно распределить энергетические затраты по венцам долота.

Научные положения выносимые на защиту.

1. При проектировании одношарошечных долот, необходимо учитывать закономерности разрушения горных пород в зависимости от расположения зубка в плоскости забоя скважины, геометрической формы забоя, наличия дополнительной открытой поверхности, а также от угла атаки зубка.

2. Для разработки кинетических паспортов одношарошечных долот необходимо учесть величины удельной и объемной работы разрушения пород, а также скорости и пути контакта зубка с породой.

3. Найденные закономерности разрушения горных пород в зависимости от параметров вдавливания зубка на забое скважины позволяют найти такую расстановку зубков одношарошечных долот, которая образует оптимальную сферическую форму забоя скважины и позволяет бурить геологоразведочные скважины в горных породах разной твердости.

Достоверность полученных результатов, обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций не вызывает сомнений, так как они установлены на основе современных методов математических исследований, разработки новых конструкций породоразрушающих инструментов для бурения скважин.

Личный вклад автора заключается в разработке и создание математической модели на базе пакета конечно элементного моделирования Ansys Workbench, которая позволила осуществить экспериментальные исследования механизма взаимодействия рабочих элементов породоразрушающего инструмента непосредственно в условиях забоя скважины и определить относительные усилия разрушения при вдавливании зубка.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования заключается в том, что разработана методика, которая позволяет оценивать эффективность и разрабатывать конструкции ОД.

Практическая значимость позволяет повысить эффективность бурения геологоразведочных скважин за счет внедрения более эффективных ОД.

Апробация и внедрение результатов исследования: Основные положения и содержание работы были доложены на международных научно-технических конференциях «Новые идеи в науках о земле» - 2014, 2015, 2016, 2017» в МГРИ-РГГРУ, на научных семинарах кафедры Современных технологий бурения скважин МГРИ-РГГРУ (2014, 2015, 2016 и 2017).

Публикации по теме диссертации: Основные результаты работы изложены в 10 печатных работах, в том числе 5 научных статьях, вошедших в перечень ВАК Минобрнауки РФ и 5 тезисах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения, содержит 105 страниц, 14 таблиц, 28 рисунка и список литературы из 116 наименований.

В **первой** главе выполнен анализ литературных источников, рассмотрены: современное состояние ОД для бурения геологоразведочных скважин; подходы к построению моделей и оценка и работоспособности вооружения ОД.

Во **второй** главе создана математическая модель совокупности геометрических, физических и конечно-элементных моделей горной породы, скважины и зубка, а также имитирована работа зубка на забое скважины для определения относительного усилия разрушения горной породы в программном комплексе ANSYS Workbench.

В **третьей** главе определены уравнения движения зубка для определения технологических критериев оценки работоспособности ОД.

В **четвертой** главе предложены новые усовершенствованные ОД диаметров 112 и 140 мм.

В **заключении** излагаются основные выводы и рекомендации, обобщающие основные положения проделанной работы.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю канд. техн. наук, доценту И.Д. Бронникову и канд. техн. наук, доценту Ж.Б. Тошову за ценные советы и консультации при подготовке диссертации.

Автор выражает искреннюю благодарность Зав. кафедрой СТБС им. Б.И. Воздвиженского д.т.н., профессору Соловьеву Н.В., а также профессору Р.А. Ганджумяну, доценту А.П. Назарову и профессору В.В. Куликову за помощь при проведении анализов исследования и всему коллективу кафедры за помощь в выполнении работы и подготовке ее к защите.

Содержание работы. В своей работе автор опирался на результаты исследований, связанных с созданием аналитических моделей буровых инструментов и разрушение горных пород при бурении выполненные учеными: Л.А.Шрейнером, Р.М.Эйгелесом, Р.М.Мавлютовым, Н.А.Колесниковым, В.С.Федоровым, Г.И.Маньковским, А.В.Зубаревым, Л.В.Назаровым, И.И.Шамансуровым, Б.Л.Стекляновым, Н.А. Биланенко, А.Ф.Егеревым, В.Г.Сократовым, В.В.Симоновым, Н.М.Бирюковым, О.Н. Голубинцевым, Д.А. Башкатовым, Р.А. Ганджумяном, А.Г. Калининым Е.Ф. Эпштейном, Ж.Б.Тошовым и др. В области исследований динамики разрушения горной породы при бурении геологоразведочных скважин в России и других странах за последние десятилетия проведено большое количество исследований. При создании аналитической модели ОД критерии оценки работоспособности должны быть функциями от параметров триады:

долото-порода-энергия что показывает для бескернового бурения геологоразведочных скважин энергоэффективность ОД

Первое защищаемое научное положение. При проектировании одношарошечных долот, необходимо учитывать закономерности разрушения горных пород в зависимости от расположения зубка в плоскости забоя скважины, геометрической формы забоя, наличия дополнительной открытой поверхности, а также от угла атаки зубка.

Для определения закономерностей параметров разрушения горных пород, зависящих от расположения зубка в плоскости забоя скважины, геометрической формы забоя, наличия дополнительной открытой поверхности, а также от угла атаки зубка была разработана математическая модель на базе пакета конечно элементного моделирования Ansys Workbench, которая позволяет осуществить экспериментальные исследования, имитирующие механизм взаимодействия рабочих элементов породоразрушающего инструмента непосредственно в условиях забоя скважины, на различных породах по методу Л.А. Шрейнера.

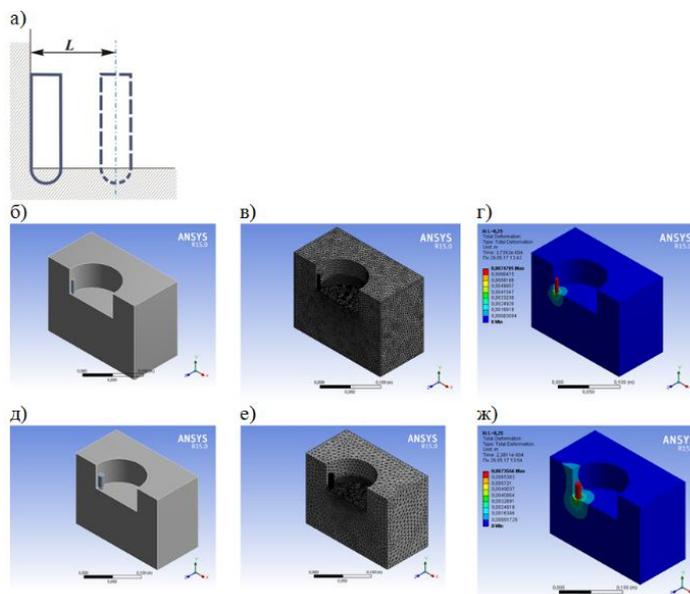


Рисунок 1. Вдавливание зубка в зависимости от расстояния от стенки скважины. а) схема забоя которых в разрезе; б), в), з) объёмная математическая модель $d=6$ мм; д), е), ж) объёмная математическая модель $d=10$ мм

Для исследования закономерностей изменения относительного усилия разрушения горных пород в зависимости от различных расстояний зубка нами были созданы следующие математические модели (рисунок 1):

- блоки размером 200x100x150 мм.
- на боковых плоскостях блоков сделаны скважины в разрезе с шириной 100 мм, глубиной 50 мм с плоской формой забоя.
- зубок диаметром 6 мм и 10 мм высотой 30 мм со сферической головкой.

На основе регрессионного анализа получены закономерности изменения относительного усилия при вдавливании зубка при различных расстояниях от стенки скважины (рисунок 2).

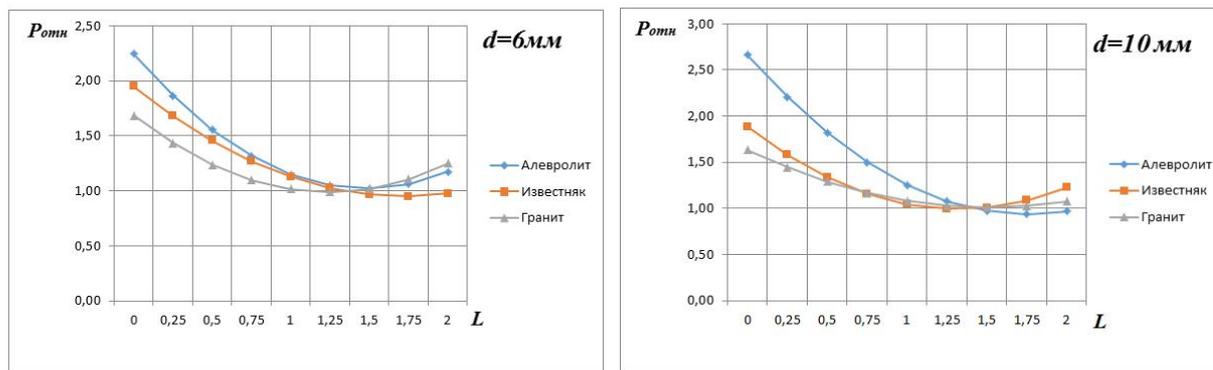


Рисунок 2. Закономерности изменения относительного усилия при вдавливании зубка при различных расстояниях от стенки скважины.

Полученные зависимости показывают, что при вдавливании зубка на расстоянии от стенки скважины, равной её диаметру, относительное усилие разрушения горных пород резко падает и составляет, соответственно, 1,4; 1,1 и 1,1. При увеличении расстояния от стенки скважины на 1,5 диаметра зубца относительное усилие разрушения горных пород для обоих диаметров зубков, постепенно снижаясь во всех исследуемых горных породах приближается к единице.

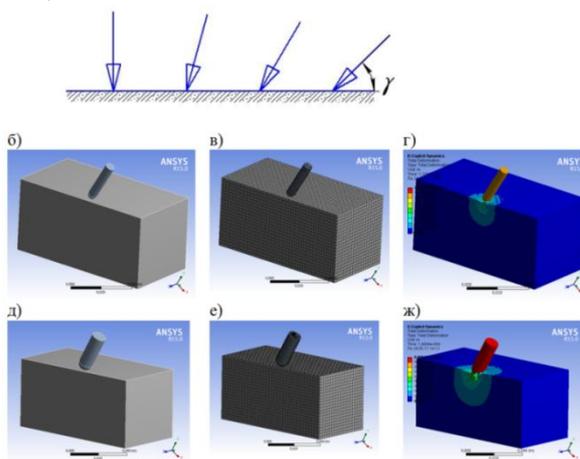


Рисунок 3. Угол атаки зубка. а) схема в разрезе; б), в), г) объёмная математическая модель $d=6\text{ мм}$; д), е), ж) объёмная математическая модель $d=10\text{ мм}$

Полученные зависимости показывают, что при вдавливании зубка на расстоянии от стенки скважины, равной её диаметру, относительное усилие разрушения горных пород резко падает и составляет, соответственно, 1,4; 1,1 и 1,1. При увеличении расстояния от стенки скважины на 1,5 диаметра зубца относительное усилие разрушения горных пород для обоих диаметров зубков, постепенно снижаясь во всех исследуемых горных породах приближается к единице.

Для исследования закономерности изменения относительного усилия разрушения горных пород в зависимости от угла атаки зубка нами были созданы следующие математические модели (рисунок 3): блоки размером $100 \times 50 \times 50\text{ мм}$; зубок диаметром 6 мм и 10 мм высотой 30 мм со сферической головкой.

После регрессионного анализа получены закономерности изменения относительного усилия разрушения горных пород в зависимости от угла атаки зубка (рисунок 4).

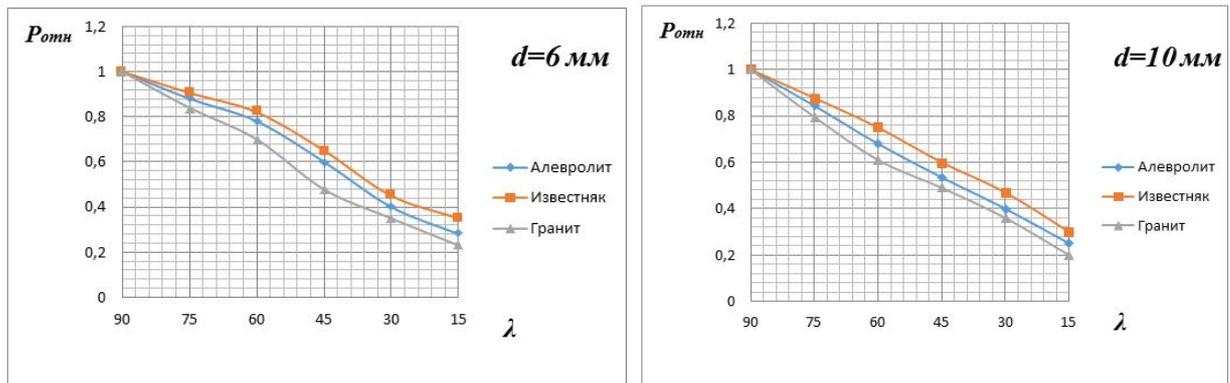


Рисунок 4. Закономерности изменения относительного усилия разрушения горных пород в зависимости от угла атаки зубка

Для исследования закономерностей изменения относительного усилия разрушения горных пород в зависимости от расстояния зубка до границы открытой поверхности нами были созданы следующие математические модели

- блоки размером 100x50x50 мм.
- зубок диаметром 6 мм и 10 мм высотой 30 мм со сферической головкой.

Анализ результатов показывает, что полученные закономерности изменения относительного усилия разрушения горных пород в зависимости от расстояния до границы открытой поверхности характеризуются следующими уравнениями регрессии.

Для мягких пород типа сланцы, алевролиты:

Диаметр зубка $d=6$ мм

$$P_{\text{отн}}(L) = -0,203L^2 + 0,829L + 0,180. \quad (1)$$

Диаметр зубка $d=10$ мм

$$P_{\text{отн}}(L) = -0,184L^2 + 0,804L + 0,1750. \quad (2)$$

Для пород средней крепости типа песчаник, мрамор, известняк:

Диаметр зубка $d=6$ мм

$$P_{\text{отн}}(L) = -0,253L^2 + 0,864L + 0,276. \quad (3)$$

Диаметр зубка $d=10$ мм

$$P_{\text{отн}}(L) = -0,123L^2 + 0,644L + 0,257. \quad (4)$$

Для крепких пород типа окварцованный песчаник, гранит, роговик:

Диаметр зубка $d=6$ мм

$$P_{\text{отн}}(L) = -0,263L^2 + 0,859L + 0,327. \quad (5)$$

Диаметр зубка $d=10$ мм

$$P_{\text{отн}}(L) = -0,227L^2 + 0,894L + 0,149. \quad (6)$$

Исследованиями установлено, что относительное усилие разрушения горных пород от расстояния точки вдавливания до границы открытой поверхности на расстоянии, равной $0,25d$, во всех исследованных типах горных пород медленно возрастает в пределах $0,3 \div 0,4$. Увеличение расстояния на $1,5d$ приводит к резкому увеличению относительного усилия разрушения горных пород и приравниванию его к усилию на полуплоскости. При дальнейшем увеличении расстояния точки вдавливания до границы открытой поверхности, относительное усилие разрушения горных пород остается постоянной, графическая зависимость которых приведены на рисунке 5.

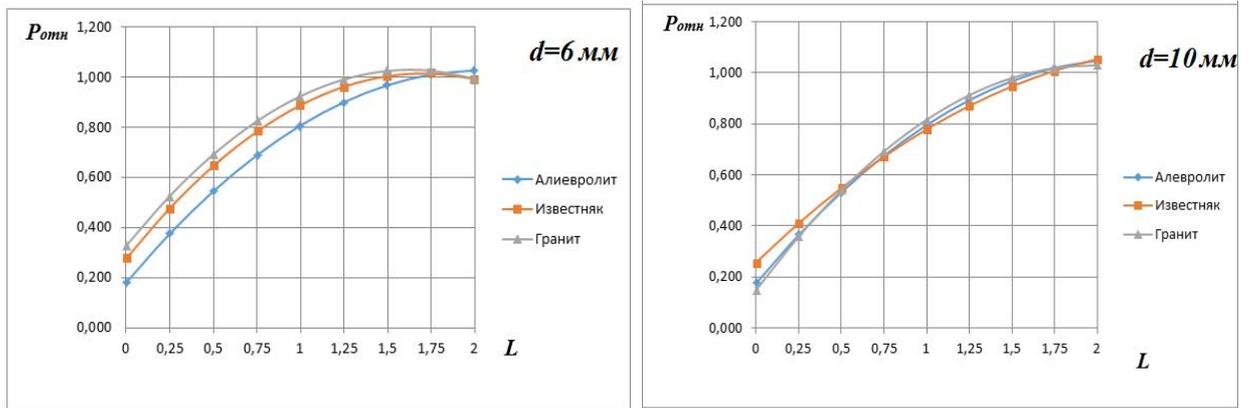


Рисунок 5. Закономерности изменения относительного усилия разрушения горных пород в зависимости от расстояния до границы открытой поверхности

Второе защищаемое положение. Для разработки кинетических паспортов одношарошечных долот необходимо учесть величины удельной и объемной работы разрушения пород, а также скорости и пути контакта зубка с породой.

С целью эффективного решения оптимизационных задач при проектировании новых и совершенствовании существующих конструкций буровых долот необходимо разработать следующие их технологические критерии оценки работоспособности.

1. Относительную удельную контактную работу разрушению горной породы в форме:

$$A'_j = \frac{i \cdot S_j \cdot F_j}{\Delta S_j}, \quad (7)$$

где S_j - пути контакта зубка единичной площади j -го условного венца при одноактовом входе в контакт с забоем скважины, м;

F_j - сила сопротивления движению зубков единичной площади j -го условного венца в контакте с породой на забое скважины, Н.

ΔS_j - контактная площадка вершины зубка j -го венца шарошки единичной длины и ширины, м².

i – передаточное число.

2. Относительную удельную объемную работу разрушения горной породы в форме:

$$A''_k = \frac{i \sum_{j=1}^n S_{j,k} \cdot F_j \cdot Z_j \cdot d_j}{V_k}, \quad (8)$$

где $S_{j,k}$ - путь контакта зубьев единичной ширины j -го венца на k -ом кольцевом забое скважины, м;

Z_j - количество зубьев на j -м венце, шт.;

d_j - количество единичной площади зубьев j -го венца, шт.;

V_k - объем породы k -го кольцевого забоя скважины, приходящийся на разрушение зубьями единичной ширины j -ых венцов, м³;

Аналитические структуры технологических критериев оценки работоспособности одношарошечных долот в форме (7) и (8) содержат параметры S_j , $S_{j,k}$, для вычисления которых необходимо разработать специальную математическую модель.

Отметим здесь, что параметры S_j и $S_{j,k}$ отличаются тем, что S_j - это полный путь контакта зубка шарошки за один акт взаимодействия с поверхностью забоя скважины, а $S_{j,k}$ - часть этого пути, вычисленная для заданного кольцевого забоя скважины.

С целью получения расчетных формул для вычисления технологических критериев работоспособности одношарошечных долот проведены следующие работы.

1. Построены двухпараметрические уравнения траекторий движения вершины зубка шарошки в форме (рисунок 6):

$$\left. \begin{aligned} x &= R \sin \varphi - r \sin \psi \cos \varphi - r(1 - \cos \psi) \sin \varphi \cos \alpha, \\ y &= R \cos \varphi + r \sin \psi \sin \varphi - r(1 - \cos \psi) \cos \varphi \cos \alpha, \\ z &= r(1 - \cos \psi) \sin \alpha; \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где R - радиус окружности на забое скважины, по которой перекачивается венец, м; r - радиус венца, м; α - угол наклона плоскости венца к плоскости поперечного сечения скважины, рад.; φ - угол поворота долота вокруг своей оси, рад.

ψ - угол поворота шарошки вокруг своей оси, рад. Параметрическое уравнение в форме (9) представляет собой циклоидальную кривую в пространстве - сферическую циклоиду.

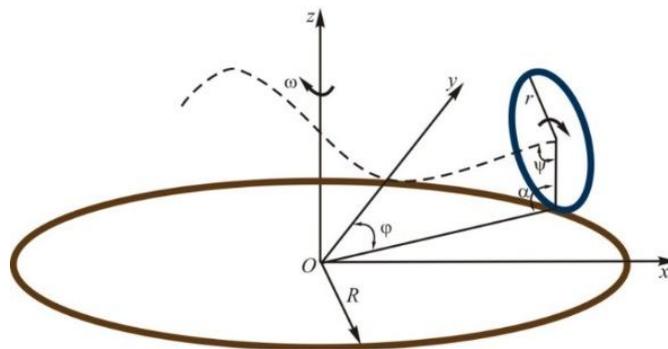


Рисунок 6. Схема к построению параметрических уравнений траекторий движения зубков одношарошечных долот в пространстве.

Все точки этой кривой находятся на сфере, центр которой определяется точкой пересечения оси венца с осью OZ .

Допущение. Вращение венца вокруг своей оси и оси долота принимаются равномерными, вертикальные колебания за счет зубчатости венца не учитываются.

2. Двухпараметрические уравнения в форме (9) переведены к однопараметрическим используя передаточное отношение шарошки $i = \frac{\psi}{\varphi}$, определяющее сколько оборотов сделает шарошка вокруг своей оси за один оборот долота. После подстановки $\varphi = \frac{\psi}{i}$ найдем:

$$\left. \begin{aligned} x &= R \sin \frac{\psi}{i} - r \sin \psi \cos \frac{\psi}{i} - r(1 - \cos \psi) \sin \frac{\psi}{i} \cos \alpha \\ y &= R \cos \frac{\psi}{i} + r \sin \psi \sin \frac{\psi}{i} - r(1 - \cos \psi) \cos \frac{\psi}{i} \cos \alpha \\ z &= r(1 - \cos \psi) \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где R, r, α, i – постоянные параметры, а ψ параметр переменный.

Теперь параметрическое уравнение в формуле (10) можно дифференцировать по параметру ψ и вычислять.

3. Вычислена скорость движения вершинной точки зубка шарошки.

$$V_j(\psi) = \sqrt{A_j + B_j \cos \psi + C_j \cos^2 \psi}, \quad (11)$$

где $A_j = \frac{1}{i^2} \left[(R_j - r_j \cos \alpha)^2 + r_j^2 (i^2 + 1 - 2i \cos \alpha) \right]$

$$B_j = \frac{2r_j}{i^2} (R_j - r_j \cos \alpha) (\cos \alpha - i),$$

$$C_j = \frac{2}{i^2} r_j^2 \sin^2 \alpha.$$

Здесь индекс j указывает, что вычисляется скорость зубков j -го венца шарошки.

4. Определен интеграл пути траектории зубка, приходящейся на контакт с поверхностью забоя скважины (рисунок 7):

$$S_j = 2 \int_0^{\psi_1} \sqrt{A_j + B_j \cos \psi + C_j \cos^2 \psi} d\psi, \quad (12)$$

где $A_j = \frac{1}{i^2} \left[(R_j - r_j \cos \alpha)^2 + r_j^2 (i^2 + 1 - 2i \cos \alpha) \right]$

$$B_j = \frac{2r_j}{i^2} (R_j - r_j \cos \alpha) (\cos \alpha - i),$$

$$C_j = \frac{2}{i^2} r_j^2 \sin^2 \alpha.$$

Здесь интеграл удвоен потому, что мы находим величину только одной из ветвей циклоиды, исходящих из нижней точки траекторий (8).

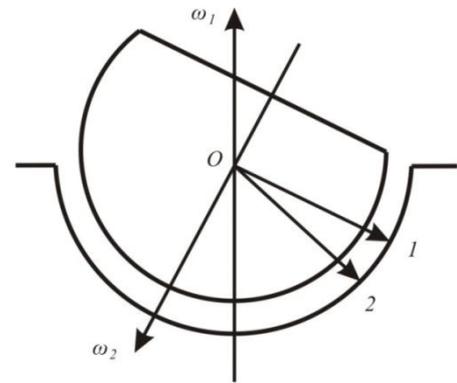
Предел интегрирования находится при подстановке глубины погружения j -го венца в сферический забой скважины h_j в третей уравнение системы (12).

И имеет вид (13):

$$\psi_1 = \arccos \left(1 - \frac{h_j}{r_j \sin \alpha} \right), \quad (13)$$

$$\psi_0 = 0.$$

Вычисление передаточного отношения шарошки осуществляется исходя из условия равенства контактных работ, совершаемых – положительно и отрицательно – проскальзывающими венцами. Вычисленные значения передаточных отношений, исходя из этого условия, показали хорошую сходимость с данными экспериментов.



Условие это записывается в форме (14):

$$\sum_{j=1}^{m-1} A_j = \sum_{j=m+1}^n A_j \quad (m < n), \quad (14)$$

где $A_j = S_j \cdot F_j \cdot Z_j \cdot d_j$ – работа, совершаемая против сил трения зубками венцов шарошек единичной ширины за один ее оборот вокруг своей оси, Н·м;

F_j – сила сопротивления движению зубков в контакте с породой на поверхности забоя скважины (в расчетах принимается постоянной величиной, равной 1, Н;

Z_j – количество зубков на j -ом венце, шт.;

d_j – количество единичной площади зубков j -го венца, шт.;

n – количество венцов на шарошке, шт.

Выполнение условия (14) при вычислениях достигается методом последовательных приближений.

Поскольку передаточное отношение шарошки представляется еще и через отношение радиуса венца чистого качения r_0 и радиуса окружности на забое скважины, по которому он перекачивается R_0 , в форме (рисунок 8)

$$\frac{R_0}{r_0} = i = \frac{\psi}{\varphi} \quad (15)$$

то на первом шаге вычислений принимается $R_1 = R_0$, $r_1 = r_0$.

По этому передаточному отношению $i = \frac{R_1}{r_1}$ вычисляются пути контакта и составляется условие (14). Если оно не выполняется, то за венец чистого качения принимается следующий, т.е. $i_1 = \frac{R_1}{r_1}$ и вновь составляется условие (14). И так до тех пор, пока это условие будет выполнено с требуемой точностью.

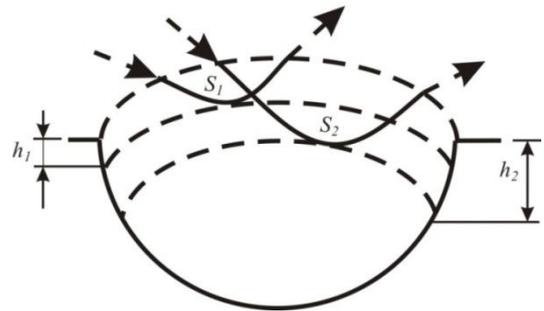


Рисунок 7. Схема представления путей контакта зубков одношарошечных долот на сферических поясах забоя скважины

Примечания.

а) Счет венцов шарошки принят от периферийных к вершинным.

б) С целью более точного вычисления передаточного отношения, венец чистого качения может быть условным и определен между двумя реальными венцами.

6. Разработка аналитических структур объективных технологических критериев оценки работоспособности ОД.

Зная физическую сущность критериев (7) и (8), и имея их расчетные данные по двум конструкциям одношарошечных долот заданного диаметра, можно сказать: какая из них предпочтительнее по износостойкости долота по вооружению и по механической скорости бурения в заданных геолого-технических условиях.

Естественно, предпочтительнее будет та конструкция одношарошечного долота, у которой будет A'_{\max} меньше, а A''_{\min} больше. При этом наше утверждение будет верно при прочих равных условиях, т.е. при бурении в одних и тех же породах и при соблюдении идентичных параметров режима бурения.

Необходимо было также учесть и то, что передаточные отношения шарошек при изменении конструкции долот могут изменяться.

С этой целью технологические критерии были отнесены к одной единице времени (одному обороту долота), что обеспечивается умножением этих критериев на i .

Учитывая и то, что критерии вычисляются дифференцированно для зубков каждого венца единичной ширины и для каждого кольцевого забоя скважины с заданными параметрами по ширине и толщине, представляется возможным проводить сравнительный анализ эффективности работы каждого венца шарошки.

Третье защищаемое положение. Найденные закономерности разрушения горных пород в зависимости от вдавливания зубка на забое скважины позволяет найти такую расстановку зубков одношарошечных долот, которая образует оптимальную сферическую форму забоя скважины и позволяет бурить геологоразведочные скважины в горных породах разной твердости.

Кинематические и кинетические параметры ОД определенные выше приняты как кинетические критерии в форме (7) и (8). Схема кинетических критериев дано на рисунке 9.

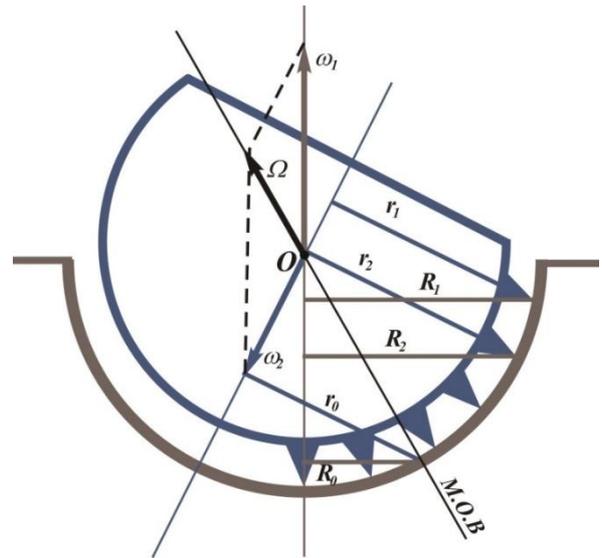


Рисунок 8 Схема к определению передаточных отношений шарошек

Для определения численных значений скорости, удельной и объемной работ, а также пути контакта рабочих органов ОД, была использована программа «KIPFS» и «KIPSFS», разработанная «УзЛИТИнефтьгаз».

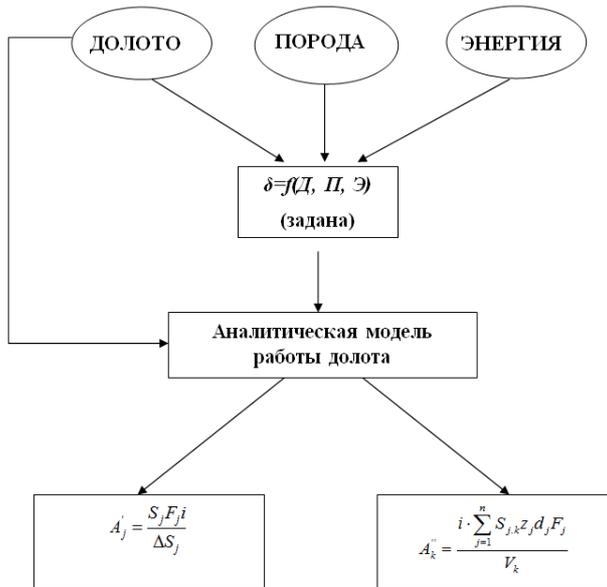


Рисунок 9. Схема построения кинетических критериев

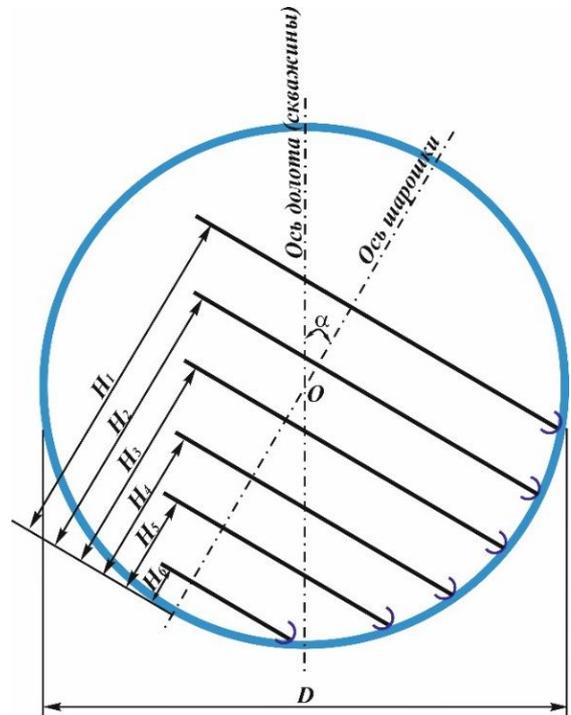


Рисунок 10. Схематическое изображение параметров ОД сферической формы, для подготовки исходных данных

Подготовка данных производится с помощью прорисовки профиля шарошки рисунке 10.

Вычисления кинетических характеристик ОД со сферической формой шарошки наиболее значимы среди алгоритмов других классов, что обусловлено классической формой шарошки - сферой. Поэтому закономерности формообразования забоя скважины и аналитические зависимости механизма взаимодействия венцов шарошек с поверхностью забоя скважины легко поддаются математическому описанию.

В основу физической модели работы одношарошечного долота положены его реальная геометрия и деформируемая поверхность забоя скважины. Основу аналитической модели построения относительных критериев оценки работоспособности одношарошечного долота составляет расчет длины траектории зубка венца в контакте с породой.

Для сравнительного анализа создан кинетический паспорт для ОД I - В 140 Т (таблица 1, рисунок 11).

Кинетический паспорт долота I B140T

Геометрические параметры					Кинетические характеристики		
Номер венца (j)	Число зубков на венце (Z)	Ширина венца (d)	Радиус венца (R _b)	Радиус скважины (R ₀)	Скорость зубка V(0)	Удельная контактная работа (A')	Удельная объемная работа (A'')
1	2	3	4	5	6	7	8
1	6,0	10,0	61,84	66,92	57,8	126,417	3,794
2	6,0	10,0	69,49	55,08	45,7	164,01	1,271,87
3	6,0	10,0	69,97	50,96	41,7	168,9	0,806
4	6,0	10,0	65,97	30,10	22,29	184,634	0,446
5	6,0	10,0	53,27	5,57	0,04	236,283	0,244
6	6,0	10,0	42,40	9,41	-62,16	305,277	0,060
7	6	10	26,23	27,34	-58,98	308,227	0,172

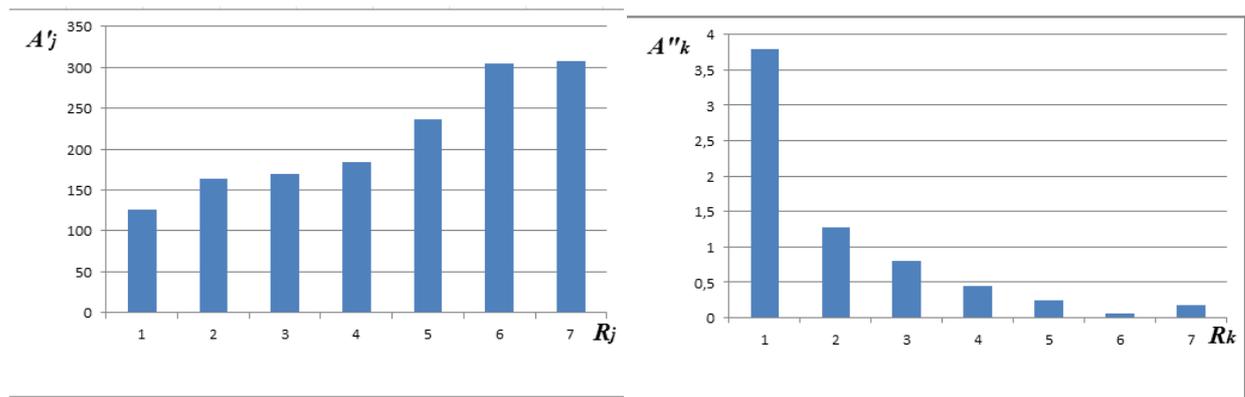


Рисунок 11. Кинетический паспорт долота I B140T

Как видно из кинетического паспорта (таблица 1), значения A' , определяющие относительный износ вооружения, неравномерно распределены по венцам. Значение $A'_{\max}=308,227$ соответствует вершинному венцу, а значение $A'_{\min}=126,417$ – периферийному (рисунок 11). Этим объясняется неравномерный износ вооружения одношарошечного долота. В данном случае вершинные венцы будут изнашиваться более чем в 2,5 раза интенсивнее периферийных.

Значения A''_k , определяющие относительную интенсивность разрушения породы на сферических поясах забоя скважины, также неравномерны.

Кинетические паспорта ОД I B140T – Н и I 112 С – Н сферической формой с расстановками зубков учитывающих закономерности изменения усилий разрушения горных пород на поверхности забоя скважины (таблицы 2, 3, рисунки 12, 13) показали что интенсивность разрушения породы на сферических поясах забоя скважины более равномерны

Кинетический паспорт долота I B140T – H

Кинетический паспорт долота I 140T - H					Передаточное число			0,671
					Глубина внедрения			6,0000
			Угол наклона			30.0000		
			Радиус скважины			70.000		
			Количество венцов			6		
Геометрические параметры					Кинетические характеристики			
Номер венца (j)	Число зубков на венце (Z)	Ширина венца (d)	Радиус венца (R _b)	Радиус скважины (R ₀)	Скорость зубка V(0)	Удельная контактная работа (A')	Удельная объемная работа (A'')	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	8,0	10,0	64,83	69,35	38,46	45,130	5,818	
2	10,0	10,0	69,53	64,26	26,20	74,976	1,325	
3	10,0	10,0	69,61	56,58	14,68	94,042	0,501	
4	9,0	10,0	65,23	43,79	0	125,631	0,365	
5	6,0	10,0	49,26	17,84	-22,72	194,710	0,325	
6	5,0	10,0	17,02	19,21	-55,51	217,130	0,340	

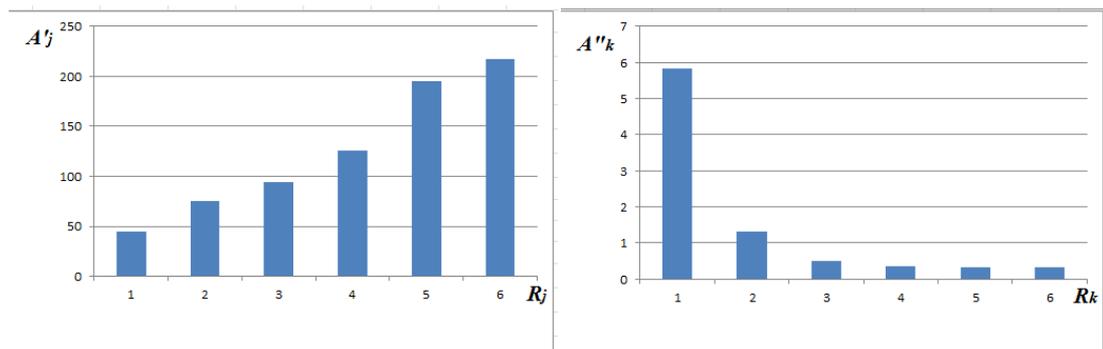


Рисунок 12. Кинетический паспорт долота I 140T – H

Кинетический паспорт долота I 112 C – H

Кинетический паспорт долота I 112 C - H					Передаточное число			0,466
					Глубина внедрения			4,0000
			Угол наклона			30.0000		
			Радиус скважины			56.000		
			Количество венцов			6		
Геометрические параметры					Кинетические характеристики			
Номер венца (j)	Число зубков на венце (Z)	Ширина венца (d)	Радиус венца (R _b)	Радиус скважины (R ₀)	Скорость зубка V(0)	Удельная контактная работа (A')	Удельная объемная работа (A'')	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	6,0	6,0	55,82	59,34	71,6	57,004	3,498	
2	8,0	6,0	59,98	51,20	49,95	101,464	1,567	
3	10,0	6,0	58,09	42,81	33,83	120,963	0,878	
4	12,0	6,0	46,84	21,81	0,0	182,868	0,553	
5	8,0	6,0	18,73	12,28	-77,3	186,887	0,521	
6	6,0	6,0	33,61	4,6	-24,47	183,784	0,198	

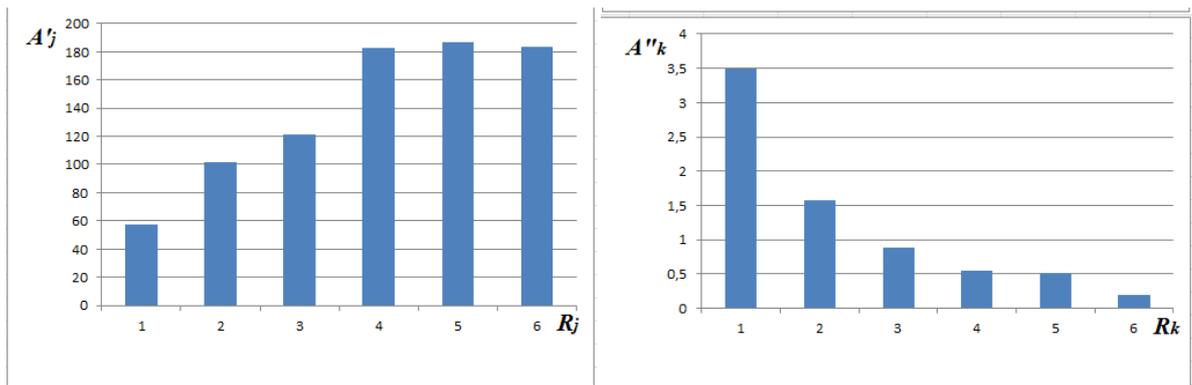


Рисунок 13. Кинетический паспорт долота I 112 C3 - H

Для расчета кинетического паспорта ОД со ступенчатой шарошкой используем программу «KIPSFS» в ввод данных добавляются соответствующие радиусы сфер, формирующих ступенчатую форму шарошки (рисунок 14).

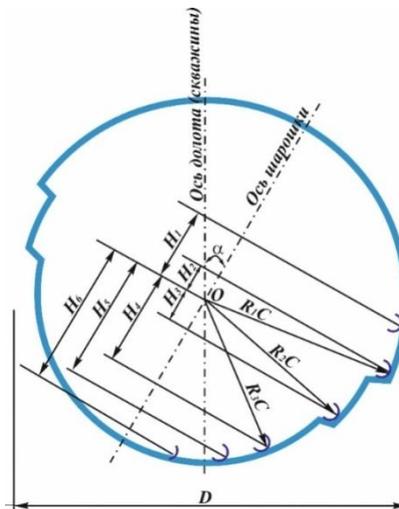


Рисунок 14. Схематическое изображение параметров ОД ступенчатой формы, для подготовки исходных данных

Как видно из кинетических паспортов ОД I 112 C – СН (таблица 4, рисунок 15) и I 140Т – СН (таблица 5, рисунок 16) с расстановками зубков учитывающих закономерности изменения усилий разрушения горных пород на поверхности забоя скважины значения A' более равномерны по венцам, резко снижены и достаточно низкое значение A'_{\max} по сравнению с долотами со сферической шарошкой.

Следует отметить, что участок забоя, соответствующий значению A''_{\min} , смещен к периферии забоя, где условия разрушения облегчены ступенчатой формой забоя. Ступенчатая форма шарошки позволяет также увеличить удельную нагрузку на зубок за счет уменьшения количества зубков, находящихся в контакте с забоем скважины в каждый момент времени и улучшает очистку забоя от шлама. Увеличивается также активность шарошки, свидетельством чего является увеличение передаточного отношения с $i=0,57$ до $i=0,86$ таблица 5, 6.

Кинетический паспорт долота I 112 С – СН

Кинетический паспорт долота I 112 С – СН (ступенчатая шарошка)					Передаточное число	0,7	
					Глубина внедрения	4,0	
					Угол наклона	30,0	
					Радиус скважины	56	
					Количество венцов	6	
					Количество сфер	3	
Геометрические параметры					Кинетические характеристики		
Номер венца (j)	Радиус венца (R _b)	Число зубков на венце (Z)	Радиус на забое скважины (R ₀)	Длина зубка на венце (d)	Скорость зубка V(0)	Удельная контактная работа (A')	Удельная объемная работа (A'')
1	2	3	4	5	6	7	8
1	21,20	6,0	57,35	4,0	20,97	32,117	0,411
2	8,5	12,0	53,94	4,0	13,2	51,279	0,333
3	10,50	10,0	39,74	4,0	-0,01	28,128	0,067
4	28,8	5,0	18,86	4,0	-13,76	30,207	0,145
5	38,40	4,0	5,74	4,0	-21,3	56,982	0,218
6	45,60	3,0	9,82	4,0	-31,77	101,364	0,203

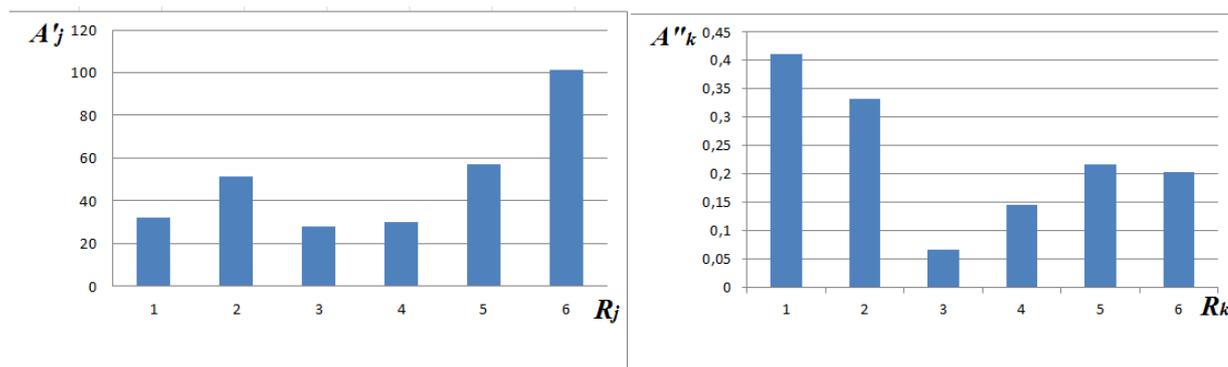


Рисунок 15. Кинетический паспорт долота I 112 С – СН

Кинетический паспорт долота I 140Т – СН

Кинетический паспорт долота I 140Т – СН (ступенчатая шарошка)					Передаточное число	0,769	
					Глубина внедрения	10,0	
					Угол наклона	30,0	
					Радиус скважины	70	
					Количество венцов	6	
					Количество сфер	3	
Геометрические параметры					Кинетические характеристики		
Номер венца (j)	Радиус венца (R _b)	Число зубков на венце (Z)	Радиус на забое скважины (R ₀)	Длина зубка на венце (d)	Скорость зубка V(0)	Удельная контактная работа (A')	Удельная объемная работа (A'')
1	2	3	4	5	6	7	8
1	66,26	6,0	70,14	6,0	24,94	39,856	0,302
2	70,28	12,0	65,91	6,0	15,43	62,787	0,263
3	63,81	10,0	49,06	6,0	-0,02	33,199	0,055
4	47,50	8,0	23,63	6,0	-16,77	37,590	0,113
5	36,95	4,0	9,00	6,0	-25,25	67,676	0,174
6	21,35	3,0	9,01	6,0	-38,45	114,105	0,000

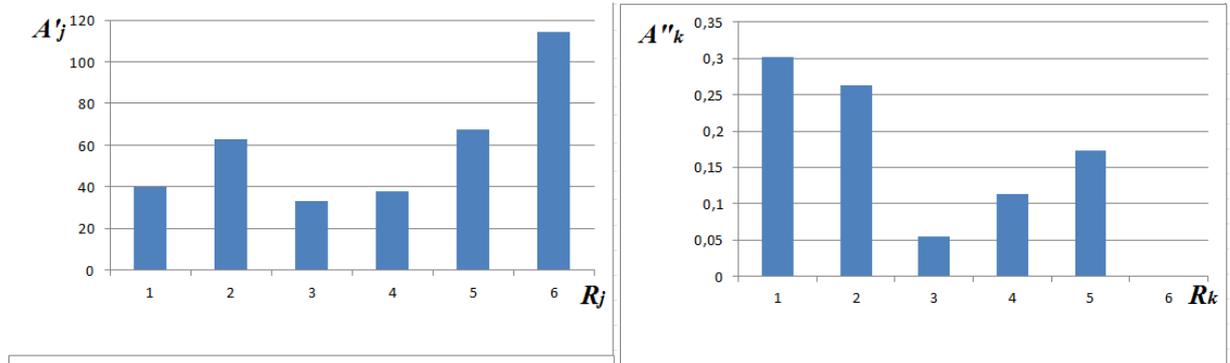


Рисунок 16. Кинетический паспорт долота I 140T – СН

Вследствие этих причин некоторое снижение значения A''_{\min} не повлечет снижения механической скорости проходки. Не возрастает, очевидно, и вероятность скола вооружения венцов разрушающих участок забоя, которому соответствует значению A''_{\min} (рисунки 15 и 16).

Стойкость долота со ступенчатой формой шарошки возрастает, т.к. максимальная интенсивность износа вооружения за оборот долота A'_{\max} снизилась по сравнению с долотом со сферической шарошкой более чем три раза.

Увеличение стойкости вооружения долота позволит увеличить показатели его работы при достаточной стойкости опоры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано новое решение задачи повышения эффективности бурения геологоразведочных скважин путем создания усовершенствованных конструкций одношарошечных долот, обеспечивающих увеличение скорости и снижение энергетических затрат.

Основные результаты и рекомендации выполненной диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Для бескернового бурения геологоразведочных скважин использование ОД эффективно, так как продолжительность работы на забое ОД значительно превышает время пребывания на забое других типов долот.
2. Критерии оценки работоспособности буровых долот должны быть функциями от параметров триады: долото-порода-энергия.
3. Программный комплекс ANSYS Workbench позволил создать математическую модель совокупности геометрических, физических и конечно-элементных моделей горной породы, скважины и зубка, а также имитировать работу зубка на забое скважины для определения усилия разрушения горных пород не проводя практические эксперименты.
4. Установлены закономерности изменения усилия разрушения горных пород в зависимости от расположения зубка на поверхности забоя скважины, геометрической формы забоя, наличия дополнительной открытой поверхности, а также угла атаки зубка.
5. Разрушение горных пород при вдавливании зубка в зависимости от места расположения зубка на забое скважины, геометрических форм забоя, расстояния границы открытой поверхности, образованной от предыдущего вдавливания зубка и угла атаки зубка, выполненные по выше изложенной методике, позволяют определить оптимальные

параметры, расположения зубка долота, относительно поверхности забоя для пород различной плотности.

6. Анализ полученных результатов вдавливания зубков в зависимости от места расположения на забое скважины позволили объяснить почему зубки, работающие в угловой области забоя скважины быстро изнашиваются и ломаются, по сравнению расположенными близко к оси скважины.
7. Выявленные закономерности параметров расположения зубков в теле шарошки позволили изменить представление о принципе его работы и рассчитать рациональную сферическую форму забоя скважины.
8. Полученные параметрические уравнения кинематики одношарошечного долота с учетом внедрения его рабочих органов в забой скважины позволили разработать кинетический паспорт работы одношарошечного долота и определить скорость и путь контакта зубка с породой.
9. Кинетические паспорта новых усовершенствованных конструкций ОД диаметрами $\varnothing 112$ и $\varnothing 140$ мм со ступенчатыми формами шарошек, показали что значения A'_{\min} более равномерны по венцам, имеют более низкое значение A'_{\max} по сравнению с долотом со сферической шарошкой.
10. Разработанные конструкции ОД, учитывающие закономерности изменения усилий разрушения горных пород в зависимости от расположения зубка на поверхности забоя скважины, позволяют бурить геологоразведочные скважин в широком диапазоне перемежающихся по твердости горных пород.
11. Результаты работы можно использовать в учебном процессе при чтении дисциплины «Разрушения горных пород при бурении скважин» для специальности «Технология и техника геологоразведочных работ».

Публикации. Основные результаты работы изложены в 10 печатных трудах, в том числе в 5 научных статьях, вошедших в перечень ВАК и 5 тезисах.

В рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ:

1. Бронников И.Д., Тошов Ж.Б., Нахангов Х.Н. Критерии оценки работоспособности одношарошечных буровых долот. Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». 2016. – №2. - С. 24-27.

2. Бронников И.Д., Тошов Ж.Б., Нахангов Х.Н. Аналитическая модель взаимодействия зубков шарошечного долота с забоем скважины. Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». 2017. – №2. - С. 16-19.

3. Нахангов Х.Н.. Исследования оптимальных параметров расположения зубцов шарошечного долота в условиях забоя скважины. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017.- №5 – 8 с.

4. Тошов Ж.Б, Бронников И.Д., Нахангов Х.Н. Теоретические основы построения аналитической модели одношарошечного долота. // Горный

информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2017.-№6. Пути повышения эффективности бурения геологоразведочных скважин – С. 3-5.

5. Нахангов Х.Н., Тошов Ж.Б. Усовершенствования одношарошечных долот. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2017.-№6. Пути повышения эффективности бурения геологоразведочных скважин – С. 6-10.

В прочих изданиях:

1. Нахангов Х.Н., Бронников И.Д. Критерии работоспособности вооружения одношарошечных долот. VII международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о земле» Доклады М.: 2014, с.299-300

2. Нахангов Х.Н. Аналитические исследования кинематики одношарошечного бурового долота. VIII международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о земле» Доклады М.: 2016, с.260-262

3. Тошов Ж.Б. Нахангов Х.Н., Тошниёзов Л.Г., Урчинов М.Н. Новые технические решения разработки буровых инструментов. Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития: Материалы VIII-международной научно-технической конференции. – Навои, 2015. – С.195

4. Нахангов Х.Н., Бронников И.Д. Определение параметров расположения зубков долота на забое скважины. XIII международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о земле» Доклады М.: 2017, т.2, с.20-21.

5. Тошов Ж.Б., Нахангов Х.Н. Критерии вооружения рабочих поверхностей шарошек трех- и одношарошечных долот. Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития: Материалы VI-международной научно-технической конференции. – Навои, 2013. - С.262÷263.