

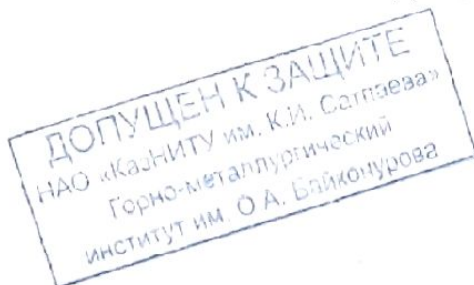
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени К.И. САТПАЕВА

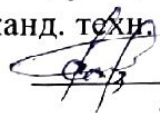
СӘТБАЕВ
УНИВЕРСИТЕТІ



ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И
ОБОРУДОВАНИЕ



«Допущена к защите»
Заведующий кафедрой ТМиО
канд. техн. наук, ассоц. проф.
 К.К. Елемесов
«17» 05, 2019 г.

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: «Проектирование конструкции шарошечного долота
диаметром 215,9 мм для бурения в средних по твердости породах»

По специальности 5В072400 – «Технологические машины и оборудование
нефтегазовой отрасли»

Выполнил:



Толыбай А.А.

Научный руководитель:



канд. техн. наук, профессор
С.А. Заурбеков

«17» мая 2019 г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт им.О.А. Байконурова

Кафедра Технологические машины и оборудование

5B072400 - Технологические машины и оборудование



Заведующий кафедрой ТМиО
канд. техн. наук, ассоц. проф.
К.К.Елемесов
«20» ноября 2018 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся: Толыбай Алишеру Акылбекулы

Тема: *«Проектирование конструкции шарошечного долота диаметром 215,9 мм для бурения в средних по твердости породах».*

Утверждена приказом по университету №113 от «08» 10 2018г.

Срок сдачи законченного проекта «10» мая 2019 г.

Исходные данные к дипломному проекту:

- диаметр долота 215,9 мм;
- вооружение - зубья;
- способ бурения – роторный;

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

- а) В техническом разделе рассмотреть конструкции трехшарошечных долот, провести анализ и выбрать прототип.*
- б) В расчетном разделе провести расчеты основных параметров долота.*
- в) В специальном разделе на основе патентного поиска дать предложение по усовершенствованию.*
- г) В разделе безопасность жизнедеятельности и охрана труда рассмотреть вопросы охраны труда буровой бригады.*
- д) В разделе охрана окружающей среды оценить степень вредного воздействия на окружающую среду от процесса бурения скважины.*
- е) В экономическом разделе провести расчеты ожидаемой экономической эффективности.*

Перечень графического материала (листы графического материала формата А1):

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа состоит из пояснительной записки на 32 листах машинописного текста и графической части на листах формата А1.

Разделы работы взаимосвязаны и дополняют друг друга. В первом разделе приведен обзор существующих конструкций 3-х шарошечных долот, в соответствии с заданием выбран прототип проектируемого долота диаметром 215,9 мм, подробно описана конструкция и принцип работы долота, приведены современные материалы используемые для изготовления долота.

Во втором разделе предложено усовершенствование конструкции долота на основе проведенного аналитического и патентного поиска современных решений направленных на повышение работоспособности долота. Предложено использовать напыление из современных материалов на вооружение шарошек, что позволяет увеличить проходку на долото.

АНДАТПА

Диссертациялық жұмыста 32 типографиялық мәтіндік параққа түсіндірме жазба және А1 парақтарындағы графикалық бөлім бар.

Жұмыстың бөлімдері өзара байланысты және бір-бірін толықтырады. Бірінші бөлімде 3 роликтің биіктігінің конструкцияларына шолу жасалады, тапсырмаға сәйкес 215,9 мм диаметрі бар биттің прототипі таңдалады, бит жұмыс істеу принципі және конструкциясы егжей-тегжейлі сипатталған, бит жасайтын қазіргі заманғы материалдар берілген.

Екінші бөлім бит өнімділігін жақсартуға бағытталған заманауи шешімдерді аналитикалық және патенттік іздеу негізінде бит дизайнын жақсартуды ұсынады. Биттың енуін арттыруға мүмкіндік беретін конустардың қару-жарағын алу үшін заманауи материалдардан шашырауды қолдану ұсынылады.

ANNOTATION

The thesis consists of an explanatory note on 32 typewritten text sheets and the graphic part on A1 sheets.

Sections of the work are interrelated and complement each other. The first section provides an overview of the existing designs of 3 roller bits, the prototype of the designed bit with a diameter of 215.9 mm is selected in accordance with the task, the design and principle of operation of the bit are described in detail, modern materials used to make the bit are given.

The second section proposes an improvement in the design of the bit based on the analytical and patent search of modern solutions aimed at improving the performance of the bit. It is proposed to use sputtering from modern materials for the armament of cones, which allows to increase the penetration of the bit.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Обзор конструкции трехшарошечных долот и выбор прототипа	4
1.1	Назначение, классификация и основные требования предъявляемые к 3-х шарошечным долотам	4
1.2	Принципиальная конструктивная схема 3-х шарошечного долота	6
1.3	Выбор прототипа и описание конструкции	11
2	Усовершенствование конструкции	16
2.1	Краткий обзор по патентному поиску	16
2.2	Описание предлагаемого усовершенствования	18
2.3	Выбор материала деталей 3-х шарошечного долота	19
3	Технологические, конструктивные и проверочные расчеты на прочность долота	23
3.1	Расчет действующих нагрузок	23
3.2	Расчет конструктивных параметров	25
3.2.2	Выбор формы зубков шарошек	25
3.2.3	Выбор шага зубьев шарошечного долота	26
3.2.4	Определение равнодействующей реакции забоя	29
3.3	Проверочные расчеты на прочность	31
3.3.1	Расчет лапы долота на прочность	31
3.3.2	Проверочный расчет вооружения долота на статистическую и усталостную прочность	32
3.4	Расчет зубьев долота на прочность	33
3.5	Определение модели, типоразмера долота и проектирование данных в производственных работах	33
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	36
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	37

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с стратегией индустриально-инновационного развития Республики Казахстан, объем добычи нефти должен быть доведен к 2020 году до 120 – 150 млн. тонн в год и держаться на этом уровне в течение 25-30 лет.

Нефтегазовая отрасль Казахстана в настоящее время, переживает мощный рост инвестиционной и производственной активности, в значительной мере влияющей на общую экономическую динамику развития Казахстана в связи с ростом объемов бурения и добычи углеводородов, строительства магистральных, в том числе и экспортных нефте- и газопроводов, морских портов и т.д..

За последние 20 лет объем добычи нефти в Казахстане вырос с 30 млн. 80 млн. тонн в год и темы роста добычи продолжают расти из года в год.

Чтобы решить одну из поставленных задач по увеличению объемов работ по разведочному и эксплуатационному бурению, следует изучить и правильно использовать инструмент, применяемый в процессе проводки скважин.

Оценка эффективности бурения скважины осуществляется на основе полученных показателей механической скорости бурения и проходки на долото. Рациональное сочетание двух этих показателей и определяет экономическую эффективность проводки скважины.

Ввиду многообразия способов бурения и физико-механических свойств горных пород породоразрушающие инструменты изготавливаются различных типов по воздействию на горную породу и конструктивному исполнению.

Наибольшее распространение в практике буровых работ получили следующие типы долот:

- шарошечные долота дробящее - скалывающего и дробящего действия (применяются при бурении пород любой твердости);
- алмазные и твердосплавные буровые долота истирающего действия (применяются при бурении твердых, хрупких пород);
- лопастные долота режуще-скалывающего действия (используются для бурения мягких и пластичных пород).

Шарошечными долотами выполняется 80-85% от общего объема бурения скважин.

1 Обзор существующих конструкций трехшарошечных долот

1.1 Назначение, классификация и основные требования

В процессе бурения нефтяных и газовых скважин для разрушения породы забоя используются следующие виды породоразрушающего инструмента:

- буровые долота для бурения скважин сплошным забоем;
- бурильные головки для бурения скважин кольцевым забоем;
- расширители для расширения ствола скважины;
- калибраторы, стабилизаторы, центраторы для выравнивания стенок скважины и центрирования бурильной колонны.

В настоящей дипломной работе рассмотрим только трехшарошечные долота для бурения скважин сплошным забоем.

Буровое долото – инструмент, обеспечивающий разрушение горных пород и формирование забоя и стенок скважины в процессе бурения.

Шарошечное долото – породоразрушающий инструмент, рабочими органами которого являются шарошки, перекатывающиеся по забою скважины.

Шарошечные долота разделяются по количеству рабочих органов на:

- одношарошечные;
- двухшарошечные;
- трехшарошечные;
- четырехшарошечные;
- многошарошечные.

Наиболее широкое распространение получили трехшарошечные долота, на их долю приходится 90% всего объема проходки глубоких скважин.

Преимущества трехшарошечных долот, по сравнению с одно- и двухшарошечными – их устойчивость на забое, хорошая вписываемость шарошек в круглое поперечное сечение скважины, удовлетворительное самоцентрирование, хорошая калибровка стенок скважины в процессе бурения, относительно небольшое естественное искривление ствола скважины в процессе бурения.

В соответствии с классификацией по IADC (International Association of Drilling Contractors) - Международной ассоциации буровых подрядчиков трехшарошечные долота подразделяются на 2 класса, 8 групп и 32 типа, при этом каждый тип долот имеет порядка 9 модификаций.

Квалификационная система позволяет определить положение в ней любого трехшарошечного долота в зависимости от его назначения и его конструктивных особенностей.

В фирменных каталогах и проспектах рядом с фирменным обозначением долота обычно приводится и его код по классификации IADC.

На территории стран СНГ основным поставщиком долот для глубокого бурения является Россия. Требования, предъявляемые к выпускаемым трехшарошечным долотам, регулируются ГОСТ 20692-75 и техническими условиями отраслевого стандарта на долота шарошечные ОСТ 26-02-1315-84, в соответствии с которыми трехшарошечные долота выпускаются 39 типоразмеров диаметром 46 - 508 мм

Каждой модели трехшарошечного долота присваивается шифр. По шифру определяют разновидность, серию, тип, класс, модификацию и размер.

Ведущим заводом по выпуску буровых долот в России является ОАО «Волгабурмаш». Предприятие выпускает долота всех типоразмеров и обеспечивает 90% объема потребления долот в России.

На предприятии внедрена Система менеджмента качества, получен Международный сертификат качества и ОАО «Волгабурмаш» является членом Международной Ассоциации Буровых Подрядчиков. На предприятии принята своя нумерация выпускаемой продукции, соответствующая международным стандартам.

Например, запись долота 111 215,9СЗ-ГВ-2 по ГОСТ 20692-75 расшифровывается как:

111 – обозначает количество рабочих органов (шарошек);

215,9 – номинальный размер (диаметр), мм;

СЗ – тип долота для бурения средних абразивных пород (второго класса с твердосплавным вооружением);

ГВ – серия долота, свидетельствующая одновременно о модификации по системе промывки (Г – гидромониторная или струйная) и по опоре (В – с двумя или более подшипниками качения);

2 – порядковый номер конструкции данной модели.

При этом, данная запись долот считается устаревшей и постепенно заменяется на маркировку в соответствии с международными стандартами.

Например, долото 215,9 VU-LS43Z-R206 расшифровывается следующим образом:

215,9 - диаметр долота;

VU - продуктовая линия;

LS - модификация по долоту и лапе (префиксы);

43 - код IADC;

Z - модификация по шарошке (суффиксы);

R206 - порядковый номер конструкции завода-изготовителя.

Продуктовые линии (серии по типам опор)

A - два радиальных подшипника скольжения;

V - только подшипники качения;

N - один подшипник скольжения (остальные подшипники качения);
VU - только подшипники качения с уплотнением;
NU - один подшипник скольжения с уплотнением;
AU - два радиальных подшипника скольжения с уплотнением;
AUP - долота малого диаметра до 172 мм;
AUL - два радиальных подшипника скольжения с уплотнением (разрезная плавающая втулка и упорная шайба).

Префиксы и суффикс

Префиксы (система промывки)

C - центральная насадка;
K - комбинированная промывка;
A - продувка воздухом;
N - удлиненные насадки;
L - наплавка козырька и набегающей грани лапы;
S - армирование спинки лапы твердосплавными зубками;
D - армирование спинки лапы зубками с алмазным покрытием.

Суффиксы (вооружение)

X - клиновидный зубок;
Y - конический зубок;
Z - зубок прочей формы, отличный от клиновидного и конического;
T - усиленная объемная наплавка зубьев;
G - дополнительное армирование твердосплавными зубками обратного конуса шарошки;
D - армирование обратного конуса шарошки зубками с алмазным покрытием.

1.2 Принципиальная конструктивная схема 3-х шарошечного долота

Трехшарошечные долота выпускаются в двух вариантах:

-секционные;
-корпусные.

Секционное трехшарошечное долото состоит из трех лап, соединенных между собой при помощи сварки. Каждая секция долота состоит из лапы с косой цапфой, на которой монтируется конусообразная шарошка на подшипниках опоры шарошки (рис. 1.1).

Соединение секций между собой производится путем сопряжения плоских граней двухгранного угла $\gamma = 120^0$, которые, как правило, подвергаются шлифовке. Сопряжение секций при сварке осуществляется при помощи штифтов, под которые в каждой лапе высверливаются глухие отверстия. Присоединительная резьбовая головка выполнена ниппельной, правой и примыкает к упорному уступу (торцу). Резьба – коническая, выполняется в соответствии с ГОСТ 20692-75 на долота шарошечные.

Лапа долота выполняется со спинкой, имеющей форму прилива, и козырьком, выступающим за основание цапфы. Козырек спинки лапы наплавляется твердым сплавом.

Шарошки долота различаются по числу образующих конусов, геометрии и типу вооружения. Шарошки размещаются со смещением осей относительно оси долота в направлении вращения долота.

Трехшарошечные долота комплектуются многоконусными шарошками, на поверхности которых концентрическими рядами (венцами) располагается вооружение (зубья или зубки). Венец, расположенный у основания шарошки, называется периферийным.

Нумерация венцов начинается с ее вершины, имеющей наименьшее число зубьев. Зубья одной шарошки заходят во впадины смежной шарошки и обеспечивается эффект самоочищения долота.

Шарошечные долота имеют 3 вида вооружения:

- с фрезерованными зубьями по телу шарошки (для долот типов М, МС, СТ, Т, ТК);
- со вставными твердосплавными зубками (для долот типов МЗ, СЗ, ТЗ, ТКЗ, К, ОК);
- со вставными зубками и фрезерованными зубьями (для долот типа МСЗ).

Для повышения износостойкости зубья наплавляются твердым сплавом. Вставные зубки имеют сферическую либо клиновидную форму рабочего торца. Диаметр зубком находится в пределах 3,2-14,3 мм, в зависимости от диаметра долота.

Опора шарошки долота представляет собой многорядный подшипник качения и скольжения. Вследствие ограниченных размеров шарошек в долотах используются безбойменные, бессепараторные подшипники качения.

Шарошка удерживается на цапфе лапы при помощи шариков, одна часть каждого из которых входит во внутреннюю беговую дорожку цапфы, а другая - в наружную беговую дорожку шарошки. Это часть конструкции опоры называется замком. Такое закрепление шарошки на цапфе лапы долота используется почти у всех трехшарошечных долот.

Замковые шарики заводятся после монтажа шарошки на цапфе через проходной канал в теле лапы и фиксируется в своем рабочем положении при помощи замкового пальца прихватываемого снаружи сварным швом.

На рисунке 1.1 показано объединение двух однотипных трехшарошечных долот диаметром 215,9 мм с различным вооружением в одно.

Шарошечное долото представляет собой сложный механизм, в процессе производства которого соблюдается выполнение 414 размеров. Размерные цепи долот состоят из 224 звеньев, геометрически связанных линейными и угловыми размерами, выполняемыми по различным системам допусков и посадок.

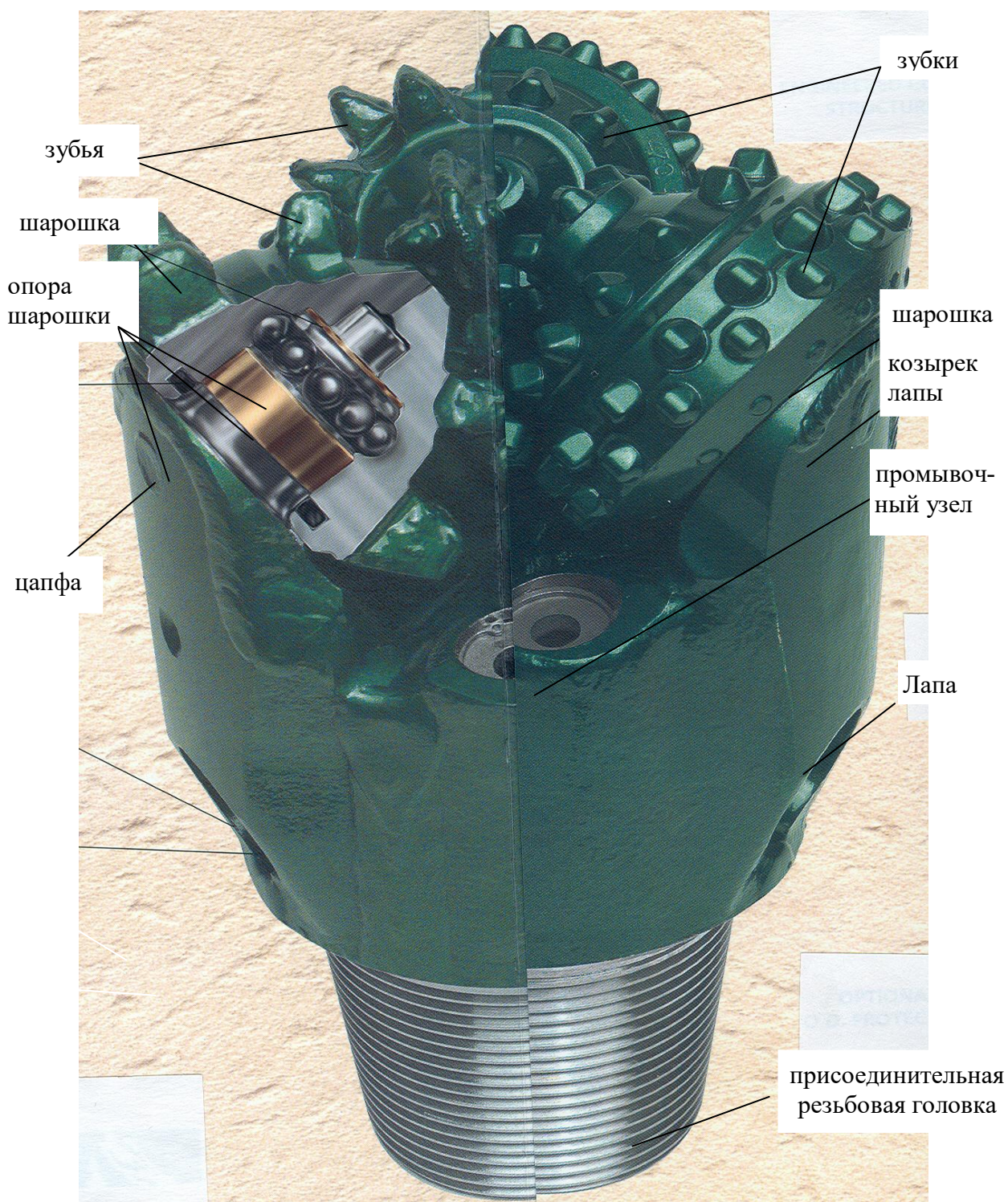


Рисунок 1.1 Трехшарошечное долото

Шарошечное долото является инструментом одноразового использования и в процессе работы испытывает значительные статистические и динамические осевые нагрузки и действие переменного крутящего момента, в связи с чем, его конструкция должна быть рассчитана на экономически обоснованный срок службы.

Долото должно удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать максимальную механическую скорость бурения, максимальную проходку на долото, эксплуатационную надежность вооружения и опоры долота, причем долговечность опоры должна быть выше, т.к. до 80% шарошечных долот выходят из строя вследствие преждевременного износа элементов опор шарошек;
- обеспечивать получение скважины заданного диаметра;
- иметь достаточную прочность, исключаящую разрушение или деформацию деталей при действии максимальной нагрузки;
- иметь оптимальную конструкцию опоры при заданных параметрах режима бурения;
- обеспечивать надежную систему смазки подшипников шарошек;
- иметь радиальное биение шарошек относительно оси резьбы не более $0,8 \times 10^{-3}$ м и разновысотность шарошек относительно упорного уступа не более $0,9 \times 10^{-3}$ м;
- иметь износостойкое вооружение шарошек;

Долото представляет собой соединенные между собой 3 лапы в сборе.

Соединение лап осуществляется при помощи крепежного устройства. Причем секции в последнее время собираются при помощи крепежного устройства? Представленного не тремя отдельными (как обычно) штифтами, соединяющими секции, а с помощью тройника. Каждое из трех ответвлений тройника заходит в соответствующее глухое гнездо, выполненное на плоской посадочной площадке ребра двухгранного угла секции. Монолитность этих ответвлений позволяет резко уменьшить величину зазора между крепежным устройством и стенками гнезд, уменьшить разновысотность шарошек и повысить точность сборки и надежность долота.

Отличительной особенностью опоры данного долота является замена роликового подшипника (подшипник качения) фрикционным (подшипник скольжения).

Долото состоит из следующих основных узлов: непосредственно лапы, узла опор, включающего цапфу и три подшипника с подпятником, шарошку, узел смазки и систему промывки.

При этом, внутренняя поверхность стенка шарошки 12 в зоне подшипника наплавляется мягким (серебросодержащим) сплавом 6, а контактирующая с этим сплавом поверхность цапфы 7 на ее нагруженной стороне наплавляется износостойким твердым сплавом 9 и полируется с целью минимизации коэффициента трения скольжения. Концевой узел скольжения 10 выполняется без фрикционной втулки, но с подпятником 11, запрессованным в шарошку 12. Полость шарошки герметизируется округлым уплотнительным кольцом 8. Лубрикатор 3 оснащается диафрагменным компенсатором 1 и закрывается крышкой с отверстием 2 для прохода промывочной жидкости, давление которой деформирует компенсатор и заставляет смазку перемещаться по каналам 5 к элементам опоры шарошки. В смазочном узле предусмотрен предохранительный

клапан 4, сбрасывающий часть смазки при чрезмерно больших давлениях в смазочной системе во избежание разрыва уплотнительного кольца 8.

Уплотнительное кольцо изготавливается из специальной резины или металла.



Рисунок 1.2 Узел герметизации опоры шарошки

При этом, один из подшипников опоры шарошки, является замковым, т.е. через специальный канал в лапе в опору подаются шарики, которые и обеспечивают удержание шарошки на цапфе лапы, как показано на рисунке 1.2.

Промывочный узел долота может быть выполнен в 2-х модификациях: в виде осевого промывочного канала т.е. с центральной промывкой, или в виде осевой ниппельной полости с ответвляющимися тремя каналами располагающихся в приливах лап.

Струи промывочной жидкости направляются на забой скважины между зубьями шарошек. Эффективность очистки забоя возрастает с увеличением скорости движения промывочной жидкости и при значениях 120 м/с и более создается эффект динамического воздействия струи на забой (гидромониторный эффект).

Для создания гидромониторного эффекта в долотах применяют насадки (сопла), выполненные из износостойкого керамического алюмооксидного материала 2ХС, а также более долговечного материала маловольфрамовых сплавов МВ-1, МВ-2 и МВ-3. Насадки должны удерживаться при перепадах давления жидкости до 11,8 МПа и легко извлекаться. По форме насадки выполняются трех видов: - НГ, НКВ, НГУ.

1.3 Выбор прототипа и описание конструкции

Из широкого спектра выпускаемых трехшарошечных долот, в соответствии с заданием на проектирование выбираем в качестве прототипа трехшарошечных долот диаметром 215,9 мм для бурения в твердых породах выпускаемое российской компанией «БУРИНТЕХ» 215,9Z45RD1SD.

Расшифровка записи долота приведена на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 Расшифровка записи долота 215,9Z45RD1SD

Современные долота PDC производства ООО «НПП «БУРИНТЕХ», к которым также относится выбранное в качестве прототипа трехшарошечное долото 215,9Z45RD1SD, представляют собой инновационный продукт с улучшенными технологическими показателями, для производства которого используется уникальные запатентованные системы и материалы.

Общий вид долота 215,9Z45RD1SD представлен на рисунке 1.4. Отличительной особенностью данной конструкции долота является то, что конструкция отдельных элементов и применяемые материалы отличаются инновационной направленностью, а именно:

1) Опора долота (см.рис.1.5)

- при изготовлении подшипникового узла используются высокопрочные материалы с низким коэффициентом трения;
- форма уплотнения позволяет значительно увеличить срок работы подшипникового узла;
- материал изготовления сальникового уплотнения обеспечивает долговременную износостойкость.

2) Уникальная система смазки с запатентованным резервуаром

- инновационная рецептура консистентной смазки разработана специально для опоры долота;
- обладает повышенной герметичностью, работает в комбинации с конструкцией опоры и усиливает ее несущую способность;
- обеспечивает наиболее эффективный отвод тепла и увеличивает срок службы опор долота.

3) Вооружение

- высококачественные карбид – вольфрамовые вставки вооружения позволяют эффективно решать самый широкий круг задач, по обеспечению стойкости вооружения, износостойкости козырьков лап и цилиндричности ствола скважины;
- особая форма режущей структуры позволяет наиболее эффективным способом разрушать горную породу при различных условиях бурения.
- обеспечивает наиболее эффективный отвод тепла и увеличивает срок службы опор долота.

4) Усиленная калибрующая часть

- позволяет применять данное долото для бурения как вертикальных так и горизонтальных скважин;

- способствует снижению преждевременного износа долота по диаметру и предотвращению разрушения опоры;
- имеет в два раза большее содержание вставок карбида вольфрама по сравнению с обычными долотами, обеспечивая активную режущую структуру;
- в условиях направленного бурения позволяет исключить усиленный износ калибрующей части и значительно уменьшить боковые нагрузки, влияющие на сохранение полного диаметра скважины, управляемость долота и срок службы опор.

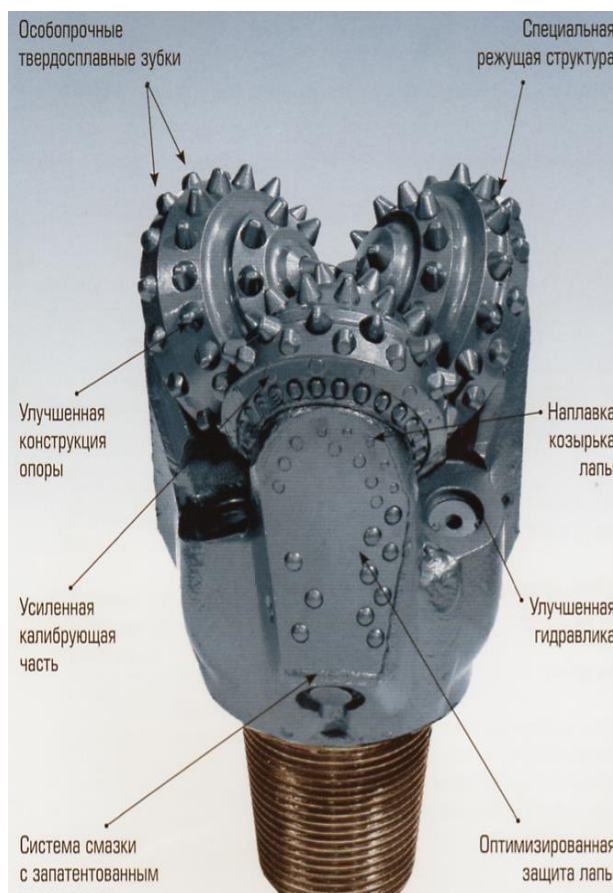


Рисунок 1.4 Конструкция трехшарошечного долота 215,9Z45RD1SD

5) Система промывки

- инновационная конструкция промывочного узла позволяет подбирать эффективную гидравлическую систему для конкретных условий.

Стали, применяемые для изготовления шарошечных долот. Долговечность шарошечных долот определяет эффективность процесса углубления скважин, при этом их прочность и износостойкость во многом определяются правильным выбором и качеством сталей и других конструкционных и упрочняющих металлов и сплавов, резин и смазок.

В связи с тем, что буровые долота эксплуатируются в исключительно тяжелых условиях, подбор сталей и других материалов должен быть строго дифференцирован для каждого отдельного элемента долота - от тел качения

и подшипников скольжения до корпусов лап, шарошек и армирующих твердосплавных наплавок.

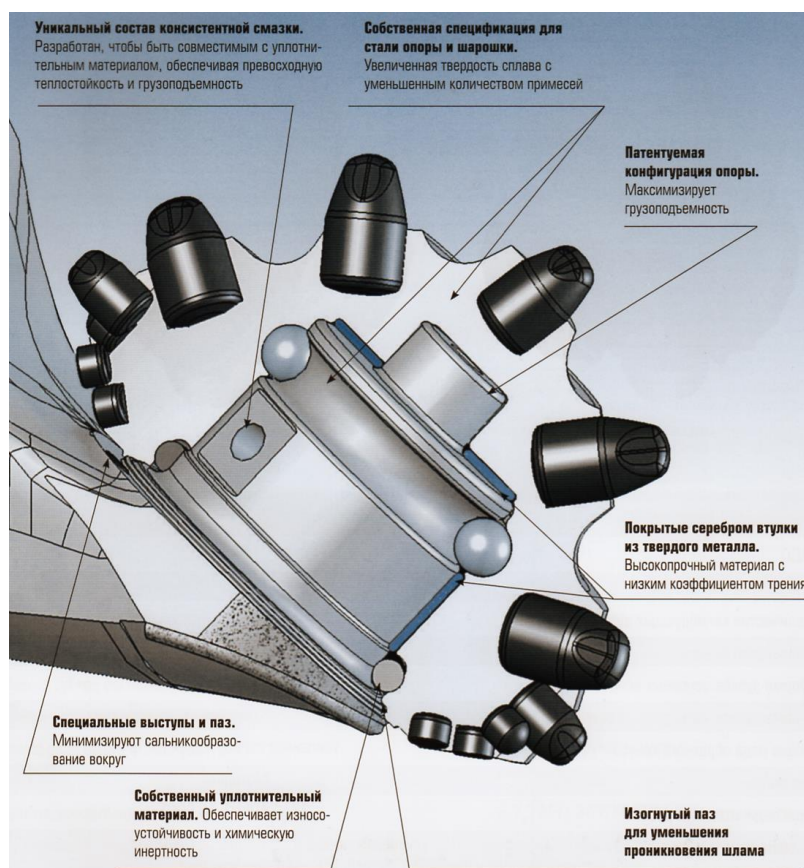


Рисунок 1.5 Конструкция опоры трехшарошечного долота 215,9Z45RD1SD – герметизированный подшипник скольжения с твердосплавными зубками на обратном конусе шарошки

Опора лапы долота - цапфа, на которой вращается шарошка, подвергается воздействию значительных статических и динамических нагрузок. Особенности условий работы цапфы характеризуются контактно-усталостным изнашиванием в случае негерметизированной опоры. Поэтому сталь, используемая для изготовления лапы долота, должна обеспечивать высокую прочность и вязкость в сочетании с высокой контактной выносливостью и хорошей износостойкостью. Кроме того, конструктивные особенности буровых долот обуславливают необходимость хорошей свариваемости материала лап.

Стали, применяемые для изготовления деталей долот. К материалу корпуса шарошки, особенно с твердосплавным вооружением, предъявляется не менее сложный комплекс требований, поскольку он должен обеспечивать надежное удержание твердосплавных зубков, закрепляемых в отверстиях шарошки способом холодной запрессовки.

Таблица 1.1 - Стали, применяемые для изготовления деталей долот

Наименование детали	Диаметры долот, мм	Марка стали	ГОСТ, ТУ
Шарошка фрезерованным вооружением	все размеры	15НЗМА	ТУ 3 - 102-80
Шарошки штыревые	все размеры	14ХНЗМА	ТУ 3-102-80
Лапа	до 244,5	15НЗМА	ТУ 3-102-80
Лапа	244,5 и более	19ХГНМА	ТУ 3-102-80
Втулка малая	все размеры	14Х17Н2	ГОСТ 5949-75
Подпятки	все размеры	Р6М5	ГОСТ 19265-73
Шары, ролики	все размеры	55СМ5ФАШД	ТУ 14-1-2666-79

За рубежом большинство ведущих фирм - изготовителей шарошечных долот использует для изготовления лап сталь AISI 4815H (отечественный аналог - сталь 15НЗМА) или AISI 8720 (аналог 19 НМА). В зависимости от диаметра долота, для изготовления фрезерованных шарошек - сталь AISI4815H, штыревых шарошек - сталь AISI 9315H (аналог - сталь 14ХНЗМА). Для изготовления тел качения применяется сталь AISI S2 (аналог - 55СМ5ФА).

За рубежом большинство ведущих фирм - изготовителей шарошечных долот использует для изготовления лап сталь AISI 4815H (отечественный аналог - сталь 15НЗМА) или AISI 8720 (аналог 19 НМА). В зависимости от диаметра долота, для изготовления фрезерованных шарошек - сталь AISI4815H, штыревых шарошек - сталь AISI 9315H (аналог - сталь 14ХНЗМА). Для изготовления тел качения применяется сталь AISI S2 (аналог - 55СМ5ФА).

Таблица 1.2 - Стали для изготовления лап и шарошек по ОСТ 26-02-1315-84

Наименование детали	Диаметр долота, мм	Марка стали	Номер ТУ
Долото с опорой скольжения			
Шарошка	46,0-212,7	17НЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	215,9-295,3	16ХНЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	311,1 и более	18ХНЗМА	ТУ 3-859-80
Лапа	46,0-151,0	14ХНЗМА-Ш	ТУ3-938-79
	158,7-212,7	22ХГНМА-Ш	ТУ 3-35-79
	215,9	22ХГНМА-Ш	ТУ 3-35-79
		14ХНЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	222,3-295,3	22ХГНМА	ТУ 3-35-79
	311,1 и более	14ХНЗМА 14Х2НЗМА	ТУ 3-850-80
Долото с опорой качения			
Шарошка	112,0-190,5	17НЗМА-Ш	ТУ 3-398-79

	215,9-295,3	16ХНЗМА-Ш	ТУ 3-398-79
	311,1 и более	16ХНЗМФА 18ХНЗМА	ТУ 3-195-83 ТУ 3-850-80
Лапа	112,0-190,5	14ХНЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	215,9-295,3	14ХЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	311,1 и более	14ХНЗМА 14Х2НЗМА	ТУ 3-195-83 ТУ 3-850-80

Не менее важным материалом в производстве высококачественных шарошечных долот являются вольфрамокобальтовые твердые сплавы, применяемые для изготовления зубков и армирования зубьев фрезерованных шарошек, козырьков лап и других частей долота, подвергающихся в процессе работы абразивному износу.

Недостатком известного долота является его низкая производительность из-за нерационального размещения износостойких элементов.

Цель изобретения - повышение производительности долота за счет рационального размещения износостойких элементов.

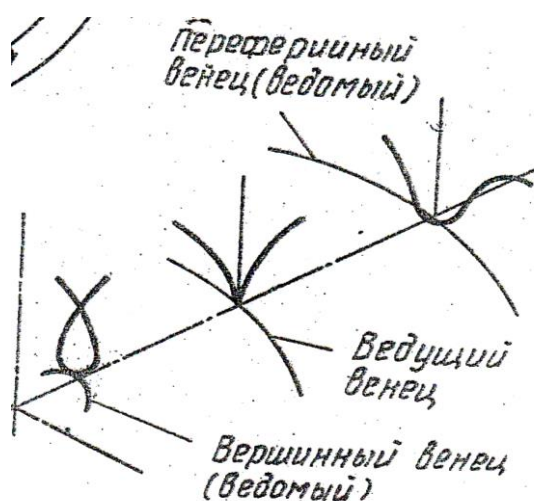
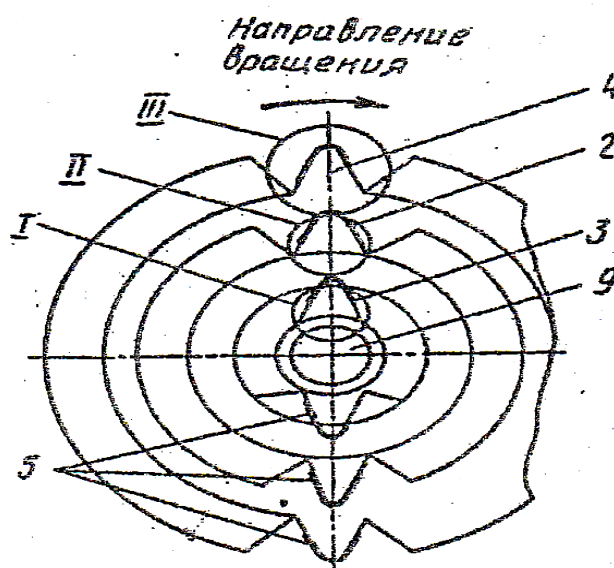


Рисунок 2.2 Схема взаимодействия зубьев различных венцов с забоем
схема взаимодействия зубьев различных венцов с забоем;



2-ведущий венец; 3-вершинный венец; 4-ведомый венец; 5-зубья; 9-вершина

Рисунок 2.3 Вид на шарошку со стороны ее вершины

Буровое долото содержит шарошки 1 с ведущими и ведомыми венцами 2, 3 и 4 зубьев 5 и износостойкие элементы 6, закрепленные на обеих гранях 7 и 8 зубьев 5 на одинаковую и различную величину по высоте зубьев 5 по разным венцам. Износостойкие элементы 6 расположены на ведущих

венцах 2 по всей высоте зубьев на обеих гранях, на зубьях 5 венцов 3, расположенных от ведущих венцов 2 к вершинам 9 шарошек 1 на передних гранях, и на зубьях 5, расположенных от ведущих венцов 2 к периферии 10 шарошки 1 на задних гранях. Износостойкие элементы 6 расположены по всей высоте зуба, а на противоположных гранях зубьев 5 этих венцов 3 и 4 – в вершинной части зубьев.

На противоположенных гранях зубьев 5 ведущих венцов допускается не устанавливать износостойкие элементы 6.

В практике долотостроения зачастую на каждой шарошке 1 бывает не три венца, а два или четыре и даже больше. В этом случае определяется ведущий венец 2, износостойкие элементы 6 закрепляются на них на обеих гранях, а все остальные венцы - согласно указанному принципу. В случае, когда шарошка 1 имеет два венца, также определяется ведущий венец, а на втором венце – также по тому же принципу.

Каждый зуб любого венца в долоте может иметь дополнительные износостойкие элементы, закрепленные по торцам, а также другим поверхностям, например, в случае, когда зуб имеет сложный профиль (Г-образный, П-образный). Но во всех случаях армирование должно производиться по приведенной методике.

2.2 Описание усовершенствования

Работает долото следующим образом.

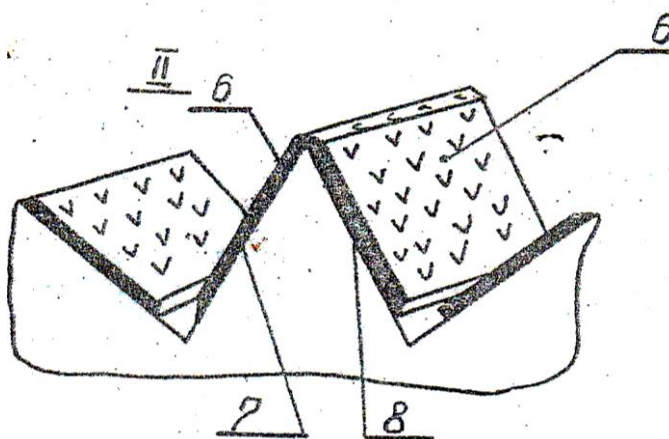
При перекачивании шарошки 1 по забою зубья 5 ведущего венца 2 без скольжения вминаются в породу забоя и производят либо выдавливание породы с последующим отделением, либо хрупкое разрушение. Зубья 5 венца 3, расположенного ближе к вершине 9 шарошки 1, совершает петлеобразное движение и не перекачиваются по забою, а срезают за счет скольжения зубьев часть породы своей передней гранью. При этом с породой забоя взаимодействует в основном только эта армированная грань. Зубья же 5 венца 4 также за счет скольжения в обратную сторону взаимодействуют с породой своей задней гранью, которая также имеет большую площадь армирования.

Таким образом, за счет обязательного армирования только рабочих граней зубьев каждый зуб взаимодействует с породой забоя только армированной поверхностью, вследствие чего снижается износ зубьев, а вооружение сохраняет геометрию значительно дольше. При этом имеются хорошие предпосылки для самозатачивания зубьев при некотором износе вершин зубьев.

Армирование же только рабочих поверхностей зубьев позволяет также и экономить дорогостоящие наплавочные материалы.

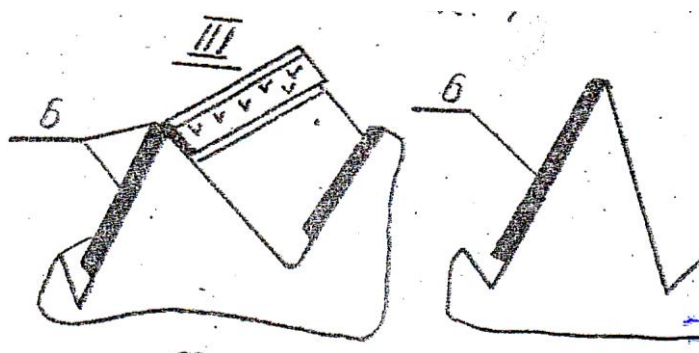
Формула изобретения. Буровое долото, содержащее шарошки с ведущими и ведомыми венцами зубьев и износостойкие элементы, закрепленные на обеих гранях по всей длине зубьев на одинаковой и

различной величину по высоте зубьев по разным венцам, отличающееся тем, что, с целью повышения производительности долота за счет рационального размещения износостойких элементов, последние расположены на ведущих венцах по всей высоте зубьев на обеих гранях, на зубьях венцов, расположенных от ведущих венцов к вершинам шарошек, на передних гранях и на зубьях, расположенных от ведущих венцов к периферии шарошек, на задних гранях износостойкие элементы расположены по всей высоте зуба, а на противоположных гранях зубьев этих венцов износостойкие элементы расположены в вершинной части зубьев.



6-износостойкие элементы; 7, 8-грани зубьев

Рисунок 2.4 Узел II из рисунка 3



6-износостойкие элементы

Рисунок 2.5 Узел III из рисунка 3

2.3 Выбор материала деталей трехшарошечного долота

Конструкционные стали выбирают исходя из требований к их механическим, теплофизическим и технологическим свойствам,

предъявляемым условиями изготовления и эксплуатации рассматриваемой детали.

Механические и теплофизические свойства сталей характеризуют возможность применения детали в той или иной конструкции с определенным напряженно-деформированным состоянием и режимом нагружения.

По технологическим свойствам сталей оценивают возможность обработки материала деталей при их изготовлении.

К механическим свойствам обычно относят сопротивление металла деформации (прочность) и сопротивление разрушению (пластичность, вязкость, сопротивляемость хрупкому разрушению):

Прочность конструкции - способность сопротивляться нагрузкам без разрушения;

Упругость - способность к деформациям (изменениям размеров и формы без разрушения) и восстановлению первоначальных размеров и формы после снятия нагрузки;

Пластичность - способность получать при нагружении и сохранять значительную деформацию, остающуюся после снятия нагрузки. Эту деформацию называют остаточной;

Хрупкость - способность материала разрушаться при воздействии нагрузок без заметных остаточных деформаций; хрупкость материала, наблюдающуюся только при ударных нагрузках, называют ударной; хрупкость, проявляющуюся при низких температурах, называют хладноломкостью;

Твердость - способность материала сопротивляться при местных контактных нагрузках пластической деформации или хрупкому разрушению в поверхностном слое;

Сопротивление усталости - свойство материала противостоять усталости, т.е. процессу постепенного накопления повреждений под действием переменных напряжений, приводящих к изменению свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению;

Износостойкость - сопротивление поверхностному разрушению материалов в различных условиях контактного взаимодействия, в том числе в присутствии абразива и коррозионных сред.

Прочность материала, упругость, пластичность, хрупкость и твердость должны сочетаться и обеспечивать такие необходимые технологические свойства, как:

- обрабатываемость режущим инструментом;
- литейные свойства (способность расплавленного металла заполнять литейные формы и образовывать плотные отливки);
- свариваемость (способность металлов свариваться с образованием прочных сварных соединений);
- обрабатываемость давлением в горячем и холодном состоянии.

В зависимости от условий испытаний механические свойства можно разделить на следующие критерии:

- характеристики, определяемые путем стандартных испытаний;
- характеристики конструктивной прочности, характеризующие работоспособность материала в условиях эксплуатации;
- характеристики прочности конструкции в целом в процессе натурных испытаний.

Основными механическими характеристиками сталей, которые используются при расчетах конструкций, в том числе и в нефтегазовой отрасли, являются:

- σ_B - предел прочности, МПа;
- σ_T - предел текучести, МПа;
- σ_{-1} - предел выносливости при симметричных циклах напряжения, МПа;
- δ - относительное удлинение, % ;
- ψ - относительное сужение, %;
- K_C - ударная вязкость, Дж/м²;
- E - модуль упругости, Н/м²;
- α - удельный угол закручивания, град (рад.)

3 Технологические, конструктивные и проверочные расчеты на прочность долота

3.1 Расчет действующих нагрузок

Под оптимальным режимом бурения понимается гармоничное сочетание осевой нагрузки, числа оборотов, момента и мощности на долоте, обеспечивающих достижение максимального значения механической скорости бурения.

Выбор режимных параметров зависит от условий проводки скважины, способа бурения, конструктивных особенностей используемого долота, его диаметра, вооружения. Поэтому, режим бурения должен быть выбран на основе всестороннего анализа имеющихся данных с учетом полученных теоретических и экспериментальных зависимостей.

Определение оптимальной нагрузки на долото:

$$G_g = a \cdot P_{\frac{P}{ш}} \cdot S_t = 0,8 \times 5500 \times 10^3 \times 44,64 \times 10^{-6} = 196,4 \text{ кН}$$

где $a = 0,47-0,97$ - коэффициент, учитывающий влияние забойных условий на твердость горных пород при данном способе бурения и тип породоразрушающего инструмента;

$P_{\frac{P}{ш}}$ - твердость разбуриваемых горных пород в условиях всестороннего сжатия, определяемая по следующей формуле:

$$P_{\frac{P}{ш}} = P_{ш} + \Delta P = 5500 \times 10^3 + 500 \times 10^3 = 5500 \times 10^3 \text{ кН/м}^2$$

$P_{ш} = 5000 \times 10^3 \text{ кН/м}^2$ - твердость разбуриваемых горных пород в атмосферных условиях;

$\Delta P = 500 \times 10^3 \text{ кН/м}^2$ - упрочнение пород от действия всестороннего сжатия, кН/м^2 ;

S_t - площадь контакта зубьев долота с забоем, м^2

$$S_t = b c + 2b h_z \operatorname{tg} \alpha/2 = 12 \times 6 + 2 \times 0,625/2 = 44,64 \times 10^{-6} \text{ м}^2$$

где $b = 12 \text{ мм}$ - длина боковой стороны зуба;

$c = 6 \text{ мм}$ - ширина притупления зуба, мм ;

$\alpha = 32^\circ$ - угол при вершине зуба;

$h_z = 2 \text{ мм}$ - величина внедрения зуба в породу.

Определение критической частоты вращения долота:

$$n_k = 0,6 \cdot 10^5 d_{ш} / (\tau_m z_n D_d), == 0,6 \times 10^5 (72 \times 10^{-3}) / (5 \times 16 \times 0,2159) = 250 \text{ об/мин}$$

где $d_{ш} = 72 \text{ мм}$ - диаметр шарошки;

$z_n = 16$ - число зубьев на периферийном венце шарошки;

$D_d = 215,9 \text{ мм}$ - диаметр долота;

τ_m - минимальное время контакта зубьев с породой, при котором происходит разрушение, мс.

В расчетах рекомендуется принимать:

$\tau_r = (3-6) \text{ мс}$ - для упруго-хрупких пород;

$\tau_r = (5-7) \text{ мс}$ - для упруго-пластичных пород;

$\tau_r = (6-8) \text{ мс}$ - для пород, не дающих хрупкого разрушения (пластичных).

Определение рационального расхода промывочной жидкости:

$$Q = f_c v_d = 249,6 \times 10^{-6} \times 80 = 0,1997 \text{ м}^3/\text{с} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} \quad (20 \text{ л/с})$$

f_c - суммарная площадь проходного сечения сопел долота, определяемая по формуле

$$f_c = n \pi d_c^2 / 4 = 3 \times 3,14 \times (0,0103)^2 / 4 = 249,6 \times 10^{-6} \text{ м}^2$$

где $n = 3$ - число сопел;

$d_c = 10,3 \text{ мм}$ - диаметр сопла.

Определение момента и мощности на долоте:

$$M_d = M_y \cdot G_g = 9 \times 200 = 1,8 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

где $M_y = 9 \text{ Н м / кН}$ – удельный момент на долоте, численно равен отношению момента на долоте при максимальной механической скорости $M_{эф}$ к осевой нагрузке $G_{эф}$, т.е.

$$M_y = M_{эф} / G_{эф}, \quad (\text{Н} \cdot \text{м} / \text{кН})$$

$$N_d = M_d n_k / 974 = (1800 \times 250) / 974 = 462 \text{ кВт}$$

Таблица – 3.1 – Результаты расчетов действующих нагрузок

Диаметр, мм	Осевая нагрузка, кН	Мах частота вращения, об/мин	Расход раствора, л/с	Момент, кН м	Мощность, кВт
215,9	200	250	20	1,8	460

3.2 Расчет конструктивных параметров

3.2.1 Выбор формы шарошек

При идентичных условиях эксплуатации долговечность работы шарошечного долота определяется, в основном, прочностью и износостойкостью опор и вооружения шарошек.

Диаметр скважины является основным лимитирующим критерием для увеличения объема шарошек с целью размещения наиболее прочной и износостойкой опоры заданной конструкции, а также увеличения поверхности шарошек для расположения наибольшего числа зубьев заданного профиля.

Поэтому для рационального размещения отдельных элементов долота должны использоваться все возможности, представляемые геометрией данной конструкции долота.

Предъявляемым требованиям наиболее полно на сегодняшний день отвечают долота типа:

- с одноконусными шарошками;
- самоочищающимися шарошками без смещения осей;
- с самоочищающимися шарошками со смещенными осями.

Долота типа М, МЗ, МС, МЗС, С, СЗ имеют самоочищающиеся двух- и трехконусные шарошки со смещенными осями в сторону его вращения для увеличения эффекта скалывания породы и относятся к долотам дробящескалывающего действия. Долота типа СТ, Т, ТЗ, ТК, ТКЗ, К, ОК имеют оси шарошек, пересекающиеся с осью долота, выполняются с минимальным скольжением зубьев при перекатывании шарошек по забою и относятся к долотам дробящего действия.

Методика геометрического расчета формы и диаметра шарошек, угла наклона их к оси долота, угла при вершине конуса шарошек, проверка шарошек на вписываемость, определение коэффициента перекрытия забоя и целого ряда других конструктивных элементов приведена в специальной литературе, а такие в заводских расчетных инструкциях долотных заводов.

3.2.2 Выбор формы зубков шарошек

$$G_g \geq S_t \cdot \sigma_{сж}, \quad (\text{кН})$$

где $\sigma_{сж}$ - предел прочности породы при одноосном сжатии, кН/м^2 ;
 S_t - площадь контакта зубьев долота с породой забоя должна быть.

В случае отсутствия нагрузки контакт клина с плоскостью забоя будет по линии, а полусферы - в точке.

При приложении равной нагрузки происходит внедрение (h_z) обоих зубков в горную породу и при достижении величины $h_z \geq 0,245d/2$ площадь контакта сферического зуба становится больше чем призматического при равнозначной величине осевой нагрузки. Из этого следует, что для бурения пород, обладающих повышенной твердостью, т.е. в тех случаях, когда внедрение зуба происходит на величину $0 \leq h_z \leq 0,245d/2$, требуется применять долота со сферической формой зубков, т.е. долота типа ТК, К и ОК.

В результате исследований, установлена важная зависимость между длиной зуба (l_z), внедрением его в породу (h_z) и объемом отделяющейся породы.

Глубина внедрения зуба в горную породу (h_z) увеличивается с уменьшением длины зуба (l_z) при одинаковых нагрузках и, кроме того, расчетный объем разрушенной породы обратно пропорционален длине зуба.

Длина зуба трехшарошечных долот со смещенными осями, для полного перекрытия забоя, должна удовлетворять неравенству:

$$l_z \geq 2k, (\text{м})$$

где k - величина смещения осей шарошек, м.

3.2.3 Выбор шага зубьев шарошечного долота

Общая продолжительность контакта зуба определяется временем передачи усилия от зуба породе и равна времени соприкосновения зуба с поверхностью породы. Таким образом, время контакта зуба с породой должно быть не меньше, чем необходимое время для достижения разрушающей нагрузки, т.е.

$$\tau_k \geq \tau_m$$

где τ_m - минимально возможное время, при котором происходит разрушение горных пород, с;

τ_k - продолжительность контакта зуба с породой определяется по формуле

$$\tau_k = 60 d_{ш} / (\pi D_d z_n) = 60 \cdot 0,125 / (3,14 \cdot 0,2159 \cdot 20) = 0,55 \text{ с}$$

где $d_{ш} = 125 \cdot 10^{-3}$ - диаметр шарошки, м;

$n_k = 250/60 = 4,17$ - критическая частота вращения, об/с;

$D_d = 0,2159$ - диаметр долота, м;

$z_n = \pi d_{ш} / t = (3,14 \cdot 125 \cdot 10^{-3}) / 19 = 20$ - число зубьев периферийного венца шарошки;

$t = 19 \text{ мм}$ - величина шага зубьев, м.

Подставив выражение $z_n = \pi d_{ш}/t$ в и, преобразовав его, получим оптимальное значение величины шага зубьев шарошки

$$t = 52 \cdot 10^{-3} n_k D_d \tau_k = 52 \cdot 10^{-3} \cdot 4,17 \cdot 0,2159 \cdot 0,55 = 19,3 \text{ мм}$$

Определение угла заострения зубьев шарошек

$$\operatorname{ctg} (\alpha/2 + \mu) = 2 t_c \sigma_{сж} / q_z ,$$

где $q_z = G_g / Z_z$ - нагрузка, действующая на один зуб при его внедрении в породу, кН;

Z_z - число зубьев долота, находящихся одновременно в контакте с породой;

$\mu = 0,2 - 0,4$ - угол трения между зубом и породой;

$\sigma_{сж}$ - твердость породы, соответствующая пределу прочности, кН/м².

S - притупление зубьев

Между $\sigma_{сж}$ и $P_{ш}^P$ существует корреляционная связь, в приближительных расчетах можно принять $\sigma_{сж} = 0,1 P_{ш}^P$.

Установлено, что при условии максимально эффективного разрушения горных пород, зависимость притупления зубьев (c) от величины их шага (t) находится в пределах

$$\text{при } P_k < (2,5 - 3,0) P_o \quad c = (0,10 - 0,12) t,$$

$$\text{при } P > 3 P_o, \quad c = (0,12 - 0,14) t,$$

где $P > q_z / S_t$ - контактное давление на один зуб, кН/м²;

P_o - предел текучести породы, кН/м².

Учитывая заданную твердость пород, определяем что:

$$c = (0,10 - 0,12) t = 0,11 \cdot 19,3 = 2,12 \text{ мм}$$

Между P_o и $P_{ш}^P$ существует корреляционная связь, в приближенных расчетах можно принять $P_o = P_{ш}^P$.

Определение общего числа зубьев шарошек и критерии оценки вооружения

- для пластичных и упруго-пластичных пород

$$Z = 3,14 \sqrt{R_o b (tg d / 2 + \mu_1) \sigma_{н\alpha} / q_z}$$

- для упругих и упруго-хрупких пород

$$Z = 3,14 \sqrt{ER_{\text{ш}} c / 3 (1 - \mu_1^2) q_z}$$

$R_{\text{ш}}$ - радиус шарошки, м;

E - модуль упругости породы, кН/м²;

μ_1 - коэффициент Пуассона для породы;

c - ширина притупления зуба, м.

1-ая шарошка: для определения крайних значений берем расчетное значение периферийного венца

$$t = 19,3 \text{ мм}$$

$$t / d = \alpha \rightarrow t / \alpha = 19,3 / 2 = 9,65 \text{ мм}$$

$$h = 1,2 \cdot d = 1,2 \cdot 9,65 = 16,08 \text{ мм} = 0,0116 \text{ м}$$

$$Z_n = 3,14 \cdot 0,125 / 0,0193 = 20$$

$$S_t = v \cdot c + 2bh_z \operatorname{tg} \alpha / 2 = \\ = 0,01208 \cdot 0,00212 + 2 \cdot 0,01208 \cdot 0,0116 \cdot \operatorname{tg} 57^\circ / 2 = 4,718 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

2-ая шарошка: для определения крайних значений берем из таблицы значение периферийного венца

$$t = 20,3 \text{ мм}$$

$$t / d = \alpha \rightarrow t / \alpha = 20,3 / 2 = 10,15 \text{ мм}$$

$$h = 1,2 \cdot d = 1,2 \cdot 10,15 = 12,18 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$Z_n = 3,14 \cdot 0,125 / 0,0203 = 19$$

$$S_t = v \cdot c + 2bh_z \operatorname{tg} \alpha / 2 = \\ = 0,01208 \cdot 0,01218 + 2 \cdot 0,01608 \cdot 0,006 \cdot \operatorname{tg} 57^\circ / 2 = 3,158 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

3-я шарошка: для определения крайних значений берем из таблицы значение периферийного венца

$$t = 21,3 \text{ мм}$$

$$t / d = \alpha \rightarrow t / \alpha = 21,3 / 2 = 10,65 \text{ мм}$$

$$h = 1,2 \cdot d = 1,2 \cdot 10,65 = 0,01278 \text{ м}$$

$$Z_n = 3,14 \cdot 0,125 / 0,0213 = 18$$

$$S_t = v \cdot c + 2bh_z \operatorname{tg} \alpha / 2 = \\ = 0,01208 \cdot 0,01278 + 2 \cdot 0,01608 \cdot 0,006 \cdot \operatorname{tg} 57^\circ / 2 = 4,158 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

В процессе перекачивания по забою шарошки долота становятся то на один, то на два смежных зуба, как показано на рисунке 3.1.

Наибольший изгибающий момент ($M_{из}$) от действия осевой нагрузки можно определить по формуле:

$$M_{из} = q_z h_z \sin \beta_n n/2, \quad (\text{кН}\cdot\text{м})$$

где $h_z = 0,012$ - высота зуба, м;
 β_n - центральный угол между соседними зубьями периферийного венца шарошки, определяемый по формуле:

$$\beta_n = 360^\circ / Z_n = 360^\circ / 18 = 20^\circ$$

тогда

$$M_{из} = 3 \cdot 0,012 \cdot \sin 20^\circ / 2 = 0,006 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

3.2.4 Определение равнодействующей реакции забоя

Расчет опоры шарошки на прочность начинают с определения равнодействующей реакции забоя (R_R). Величину $R_R = 200$ кН определяют графическим методом согласно схеме, представленной на рис.3.6. Полученную равнодействующую раскладывают на составляющие, направленные перпендикулярно R_1 и параллельно R_2 к оси вращения шарошки.

$$R_1 = R_R \cos \gamma = 200 \cos 30^\circ = 173 \text{ кН}$$

$$R_2 = R_R \sin \gamma = 200 \sin 30^\circ = 100 \text{ кН}$$

где $\gamma = 30^\circ$ - угол между равнодействующей и перпендикуляром к оси вращения шарошки.

Крутящий момент приложений к долоту (M_g), вызывает реактивный момент (M_1) на каждой шарошке, численно равный

$$M_1 = M_g / 3 = 1,8 / 3 = 0,6 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

и приложенный на расстоянии $0,71 R$ - радиуса долота, считая от оси долота. Под действием крутящего момента также возникает окружная сила (T), величина которой определяется по формуле:

$$T = M_1 / h_1, = 0,6 / 0,71 \cdot 0,0625 = 13,63 \text{ кН}$$

где $h_1 = 0,71 R$ - плечо действия силы, т.е. расстояние от оси шарошки до точки приложения силы T .

$$R = d_w / 2 = 0,125 / 2 = 0,0625 \text{ - радиус шарошки, м.}$$

Удельная нагрузка на зубчатые венцы шарошек (рис.3.1) определяется по формуле:

$$q_y = G_q / L_q = 200 / 1,8 = 111 \text{ кН/м}$$

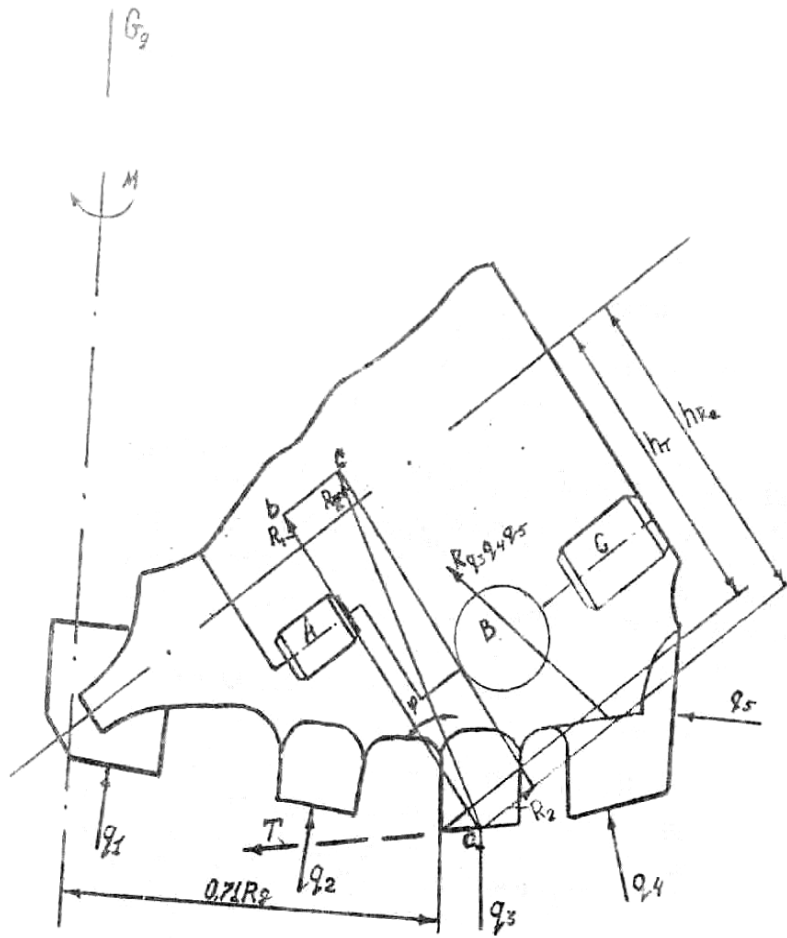


Рисунок 3.1 Расчетная схема для определения равнодействующей реакции забоя

где $L_g = v \cdot n_z = 12 \cdot 150 = 1800 \text{ мм} = 1,8 \text{ м}$ - суммарная длина зубьев шарошек, определяемая по формуле:

$$L_g = L_I + L_{II} + L_{III}, (\text{м})$$

где $v = 12 \text{ мм}$ - ширина зубка;

$n_z = 150 \text{ шт}$ - общее число зубков на 3-х шарошках долота.

L_I, L_{II}, L_{III} - соответственно длина зубьев первой, второй и третьей шарошки, определяемые по формулам:

$$L_I = \ell_1^1 + \ell_2^1 + \ell_3^1 + \ell_4^1 + \ell_5^1, (\text{м})$$

$$L_{II} = \ell_1^2 + \ell_2^2 + \ell_3^2 + \ell_4^2, (\text{м})$$

$$L_{III} = \ell_1^3 + \ell_2^3 + \ell_3^3 + \ell_4^3, (\text{м})$$

где $\ell_1, \ell_2, \ell_3, \ell_4, \ell_5$, - соответственно длина зубьев первого, второго и третьего, четвертого, пятого венцов каждой шарошки долота.

Затем определяем наиболее нагруженную шарошку долота по формулам

$$q_I = q_1^1 + q_2^1 + q_3^1 + q_4^1 + q_5^1, \text{ (кН)}$$

$$q_{II} = q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 + q_4^2, \text{ (кН)}$$

$$q_{III} = q_1^3 + q_2^3 + q_3^3 + q_4^3, \text{ (кН)}$$

где $q_1^1 = q_y \ell_1^1$; $q_2^1 = q_y \ell_2^1$ - соответственно нагрузка на первый, второй, $q_3^1 = q_y \ell_3^1$; $q_4^1 = q_y \ell_4^1$ - третий, четвертый, $q_5^1 = q_y \ell_5^1$ - пятый венцы первой шарошки.

Нагрузка на венцы второй и третьей шарошки долота определяется аналогично.

3.3 Проверочные расчеты на прочность

3.3.1 Расчет лапы долота на прочность

Рассмотрим сечение I-I

При работе долота цапфа испытывает напряжение изгиба от действия сил R_a, R_b, R_c , а также напряжение от действия осевой силы R_2

$$G_{1-1} = G_{сж} + G_{изг} = R_2 / F_{1-1} + M_{1-1} / W_{1-1} \leq [G],$$

где F_{1-1} - площадь поперечного сечения круглого сечения I-I, определяемая по формуле:

$$F_{1-1} = \pi d_{1-1}^2 / 4, \text{ (м}^2\text{)}$$

W_{1-1} - осевой момент сопротивления сечения I-I, определяемый для круглых сечений по формуле

$$W_{1-1} = \pi d_{1-1}^3 / 32, \text{ (м}^3\text{)}$$

d_{1-1} - диаметр цапфы в сечении I-I, м;

M_{1-1} - изгибающий момент, в сечении I-I который определяется по формуле:

$$M_{x-x} = R_a a_1 + R_b a_2 + R_c a_3, \text{ (кН м)}$$

где a_1, a_2, a_3 - соответственно расстояние от плоскости сечения I-I до векторов действующих сил R_a, R_b, R_c .

Рассмотрим сечение I-I

В сечении 2-2 лапа испытывает сложное напряженное состояние от действия изгибающего и крутящего моментов, и результирующее напряжение в сечении 2-2 определяется по объединенной теории наибольших касательных напряжений (третьей гипотезе статистической прочности):

$$G_{II-II} = \sqrt{G_{\xi\eta}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{(\dot{I}_{\xi\eta}/W_{11-11} + (\dot{I}_{\xi\theta}/W_{11-11})^2} \leq [G]$$

где $M_{изг}$ - изгибающий момент в сечении 2-2, определяемый по формуле

$$M_{изг} = R_c^{\kappa} b_3 + R_B^{\tau} b_2 + R_A^{\tau} b_1 - R_2 h_2, \text{ (кН м)}$$

$M_{кр}$ - крутящий момент в сечении 2-2, определяется по формуле:

$$M_{кр} = R_c^b b_3 + R_b^b b_2 + R_A^B b_1, \text{ (кН м)}$$

где $b_1 b_2 b_3$ – расстояние от центра тяжести сечение 2-2 до соответствующих векторам действующих сил, мм;

W_{II-II} - осевой момент сопротивления сечение I-I определяется для прямоугольных сечений по формуле

$$W_{II-II} = bh^2 / 6, \text{ (м}^3\text{)}$$

W_p - полярный момент сопротивления сечения 2-2 для прямоугольных сечений можно определить по формуле

$$W_p = bh^2 / 3, \text{ (м}^3\text{)}$$

где b - основание прямоугольного сечения 2-2, м;

h - высота прямоугольного сечения 2-2, м;

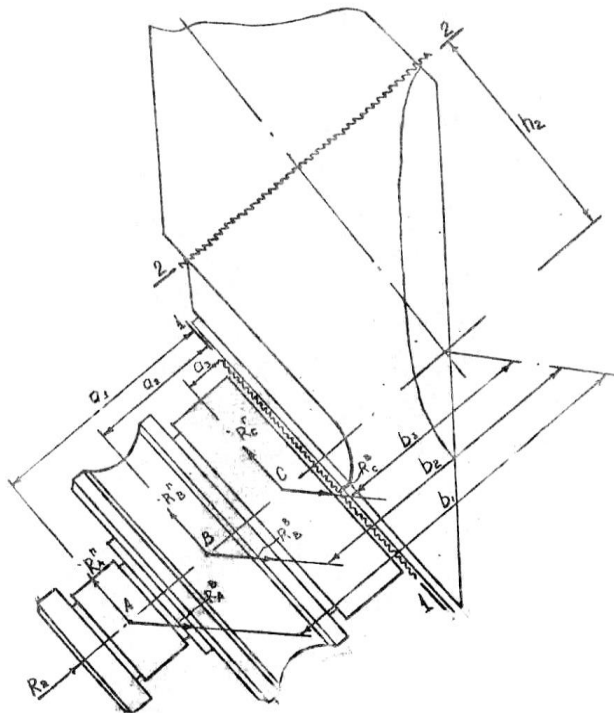


Рисунок 3.2 Схема для расчета лапы долота на прочность

3.3.2 Проверочный расчет вооружения долота на статистическую и усталостную прочность

С достаточной для практических расчетов на статистическую прочность точностью допускают, что забой под зубьями долота абсолютно не деформирован. В процессе перекатывания по забою шарошки долота становятся то на один, то на два смежных.

Наибольший изгибающий момент ($M_{из}$) от действия осевой нагрузки можно определить по формуле:

$$M_{из} = q_z H_z \sin \beta_n n/2, \text{ кН}\cdot\text{м}$$

где H_z - высота зуба, м; $H_z=16\text{мм}=0,016\text{м}$

β_n - центральный угол между соседними зубьями периферийного венца шарошки, определяемый по формуле:

β_n

$$\beta_n = 360^\circ / Z_n$$

Подставляем значение:

$$\beta_n = 360^\circ / 16 = 22,5^\circ$$

$$M_{из} = 3 \cdot 0,016 \cdot \sin 22,5^\circ / 2 = 0,0091 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

3.4 Расчет зубьев долота на прочность

Запишем формулу для установления условия прочности зуба в следующем виде

$$G_g = M_{из} / W_3 < [G_g], \text{ кН/м}^2,$$

где W_3 - осевой момент сопротивления сечения основания зуба определяется по следующей формуле:

$$W_3 = \pi d_3^3 / 32$$

где d_3 - диаметр зуба, м. В данном случае диаметр зуба равен 0,143м

Коэффициент запаса прочности определим по формуле, предложенной в работе, с учетом переменного действия нагрузок на зубья долота:

$$n = \frac{G_1}{K_1 G_a / E_n E_m + G_1 G_m / G_b}$$

где G_1 - предел выносливости материала;

K_1 - коэффициент концентрации напряжений;

G_a - амплитуда напряжения;

E_n - коэффициент качества поверхности;

E_m - масштабный фактор;

G_m - среднее напряжение цикла;

G_b - временное сопротивление материалов.

3.5 Определение модели, типоразмера долота и проектирование данных в производственных работах

Для расчета данного пункта надо задать значения следующим пунктам. На основании 5-6 скважин по проходки, механической скорости, типа долот, средней времени бурения долота строим график проходки и делим буримые промежутки времени на пачки.

Подбираем модель долота, типовые размеры и проектируем рабочие показатели. Расчеты начинаем с выбора промежутки проходки оптимальной модели долота и анализируем.

1 Промежуток 2200 – 3105м, состоит из средних абразивных пород. Тип долота 295,3 СЗ. Вводим данные механической скорости на таблицу 2.3.

Таблица 3.2 -Данные механической скорости пачки 1

N	1
v_{max}	16,0

Промежуток 3105 - 5000м, состоит из средних абразивных пород. Тип долота 295,3 СЗ. Вводим данные механической скорости на таблицу 2.4.

Таблица 3.3 - Данные механической скорости пачки 2

N	1	2	3
v_{max}	8,125	8,67	13,6

2 Определяем значение дефектов механической скорости

а) для минимального значения:

$$\frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1} \geq K_n ,$$

где K_n – данные критерии расчета дефекта, зависит от числа n .
 A – коэффициент доверительной вероятности, $a=0,95$.

б) для максимального значения

$$\frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} \geq K_n$$

Значения подставляем в формулу, получим

$$8,67 - 8,125 / 13,6 - 8,125 = 0,099 \leq 0,941$$

$$13,6 - 8,67 / 13,6 - 8,125 = 0,9 \leq 0,941$$

3 Средне арифметическое значение механической скорости

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} ,$$

$$X = 8,125 + 8,67 + 13,6 / 3 = 10,13 \text{ м/с}$$

4 Определяем изменение значения

$$R = X_n - X_1 ,$$

5 Определяем доверительные промежутки границы

$$\begin{aligned} \bar{x} + R \cdot K_R , \\ \bar{x} - R \cdot K_R , \end{aligned}$$

где K_R – значение коэффициентов показаны на таблице , зависит от n .

$$X + R \cdot K_R = 10.13 + 5.475 \cdot 3.39 = 28.69$$

$$X - R \cdot K_R = 10.13 - 5.475 \cdot 3.39 = - 8.43$$

6 Определяем среднее время механического бурения долота:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n};$$

$$t = 8.1 + 15 + 16/3 = 13 \text{ час}$$

7 Определяем среднюю проходку долота:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h}{n}, \text{ м,}$$

$$h = 130 + 130 + 110 / 3 = 123,3 \text{ м}$$

8 Определяем необходимое число долот для промежутка:

$$n = \frac{H}{\bar{h}}, \text{ шт,}$$

где H – промежуток бурения

$$n = 490 / 123,3 = 3,97 \approx 4$$

9 Определяем общее число времени промежутка бурения долота:

$$T = \frac{H}{g_{\text{мех}}} = \frac{H \cdot t}{\bar{h}};$$

$$T = 490 \cdot 13 / 123,3 = 52 \text{ час}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные направления технического прогресса в области бурового оборудования основываются на последних достижениях науки, ведущих инженеров и специалистов в области бурового оборудования.

Одна из первостепенных задач развития бурового оборудования — улучшение качества буровых долот так как это позволит увеличить проходимое расстояние одним долотом без замены.

Основным минусом долот является малый срок службы. Настоящий дипломный проект посвящён усовершенствованию конструкции шарошечного долота.

Предложено усовершенствование конструкции прототипа и проведены технологические, конструктивные и проверочные расчеты на прочность, в результате которых подтверждена работоспособность усовершенствованной конструкции шарошечного долота, приведены чертежи на 2 листах А1.

Список использованной технической литературы составляет 30 наименований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Масленников И.К., Матвеев Г.И., Инструмент для бурения скважин. Справочное пособие. –М.: Недра 1981.
- 2) Палий П.А., Корнеев К.Е. Буровые долота. Справочник. –М.: Недра, 1971.
- 3) Федоров В.С. и др. Практические расчёты в бурении. –М.: Недра, 1966.
- 4) Якобинский Б.А. Определение оптимального шага размещения зубцов на венцах шарошек буровых долот с использованием принципа моделирования. –Изв. вузов. сер. Нефть и газ 1969, №9.
- 5) Баладов Р.А. О распределении нагрузок по элементам опоры трехшарошечного долота. – Изв. вузов. сер. Нефть и газ. 1968, №4.
- 6) Шрейнер Л.А. и др. Механические и абразивные свойства горных пород. –М.Ж Гостоптехиздат. 1958.
- 7) Мошкин А.С. и др. Шарошечные долота. –М.: Недра, 1971.
- 8) Зубарев А.В. и др. Повышение эффективности работ долот. – Труды ГрозНИИ, 1960. Вып. 6
- 9) Ленгбен М.А. К расчёту опор трехшарошечных долот. – Азербайджанское нефтяное хозяйство. 1955. №11.
- 10) Шанцов Н.И. и др. Бурение нефтяных и газовых скважин. –М.: Гостоптехиздат, 1962.
- 11) Мавлютов М.Р. Разрушение горных пород при бурении скважин –М.: Недра, 1978.
- 12) Бинхэм М.Г. Проблемы буримости горных пород. –М.: ВНИИОЭНГ, 1966.
- 13) Фёдоров В.С. Научные основы режимов бурения. –М.: Гостоптехиздат, 1951.
- 14) Каримов В. Х. и др. О выборе шага зубьев при конструировании вооружения шарошечных долот. –Труды ТатНИИ, 1965, Вып.7.
- 15) Ширяев А.А и др. О методике определения площади контакта шарошечных долот с породой забоя. –Труды УфНИИ, 1965. Вып.16.
- 16) Баграмов Р.А. Буровые машины и комплексы. Учебник для вузов- М: Недра, 1988.-501с.
- 17) Ильский А.Л. Расчет и конструирование бурового оборудования. Учебное пособие для вузов - М: Недра, 1985.- 452 с.
- 18) Палашкин Е.А. Справочник механика по глубокому бурению. Справочник.-М.: Недра, 1981.-510 с.
- 19) Колотилин Б.А. Экономическое обоснование инвестиционного проекта на буровом предприятии. Методические указания. СамГТУ, 2000, 23 с.
- 20) Смолина А.К. Типовые задачи по курсу «Машины и оборудование для бурения». Часть 2. – Ухта: УИИ, 1984. – 51 с.

- 21) Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности.- М.: 2004, 276 с.
- 22) Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. – 5-е изд. Перераб. и доп. – М.: Недра, 1973
- 23) Когаев В. П., Махмутов Н. А., Гусенков А. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. – М.: Машиностроение, 1985
- 24) Шульна В. Г., Бухаленко Г. И. Устьевое оборудование нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 1978
- 25) Эльящевский И. В., Сторонский М. И., Орсуляк Я. М. Типовые задачи и расчеты в бурении. – М.: Недра, 1982
- 26) Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчеты деталей машины на прочность. Руководство и справочное пособие. – М.: машиностроение, 1975
- 27) Биргенр И. А., Шор Б. Ф., Иосилевич Г. Б. Расчет на прочность деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979
- 28) Орлов П. И. Основы конструирования. Т. 1-3. -М.: Машиностроение, 1974
- 29) Аванесов В.А., Москалева Е.М. Расчеты буровых машин: Учебное пособие. – Ухта: УИИ, 1999. – 116 с., ил.
- 30) Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: 9е изд. перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академик», 2006г. 496с.