

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа  
«Технологические машины и оборудования нефтегазового комплекса»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Э. А. Петровский

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

15.03.02 - Технологические машины и оборудование

Проектирование шарошечного долота диаметром 184 мм для глубокого  
бурения пород средней и большой крепости

Руководитель \_\_\_\_\_  
подпись, дата

\_\_\_\_\_ к.т.н., доцент  
должность, ученая степень

А.К. Данилов.  
инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_  
подпись, дата

М.В. Масленко  
инициалы, фамилия

Красноярск 2016

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа  
«Технологические машины и оборудования нефтегазового комплекса»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Э. А. Петровский

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме бакалаврской работы**

Студенту Масленко Максиму Васильевичу

Группа НБ 12-02

Направление подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»

Тема выпускной квалификационной работы «Проектирование шарошечного долота диаметром 184 мм для глубокого бурения пород средней и большой крепости»

Утверждена приказом по университету № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР А.К. Данилов, доцент кафедры ТМиОНГК, Институт нефти и газа Сибирского федерального университета

Исходные данные для ВКР:

Перечень рассматриваемых вопросов (разделов ВКР):

Введение. Актуальность темы и современное состояние проблемы

Раздел 1 – Литературный обзор. Обзор существующих конструкций опорных узлов шарошечных инструментов, механизм избирательного переноса, факторы проявления эффекта избирательного переноса, влияние различных факторов на безызносность узлов трения машин.

Раздел 2 – Обоснование технологии избирательного переноса. Структурные критерии явления избирательного переноса, применение избирательного переноса, механизм образования сервовитной пленки, роль поверхностно - активных веществ, активация контактных поверхностей, преимущества избирательного переноса.

Раздел 3 – Выбор и обоснование конструкции опорного узла шарошечного инструмента. Конструкции корпусов долот, организация опорного узла, шарошечное долото, шифры шарошечных долот, а также их преимущества.

Заключение. Выводы по результатам выполненной работы.

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов: патентно информационный обзор (1 лист формата А2), шарошечное долото (1 лист формата А3), лапа (1 лист формата А3), шарошка (1 лист формата А4), втулка дифференциальная (1 лист формата А4), презентация (10 - 16 страниц).

Руководитель ВКР	_____	А.К. Данилов
Задание принял к исполнению	_____	М.В. Масленко

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Проектирование шарошечного долота диаметром 184 мм для глубокого бурения пород средней и большой крепости» содержит 82 страницы текстового документа, 26 рисунков, 1 приложение, 36 использованных источников, 5 листов графического материала.

### ШАРОШЕЧНОЕ ДОЛТО, ОПОРНЫЙ УЗЕЛ, ИЗБИРАТЕЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС.

Цель работы: Разработка опорного узла шарошечного оборудования с использованием избирательного переноса.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проанализировать существующие конструкции опорных узлов шарошечных долот;
- изучить теорию избирательного переноса и дать рекомендации к ее применению для создания узлов скольжения опорных узлов скольжения шарошечного долота;
- разработать конструкцию и предложить опорный узел шарошечного долота с использованием теории избирательного переноса.

В ходе выпускной работы были проанализированы существующие конструкции опорных узлов шарошечных долот, изучена теория избирательного переноса, а также разработана конструкция и опорный узел шарошечного долота с использованием теории избирательного переноса.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Литературный обзор .....	8
1.1 Обзор существующих конструкций опорных узлов шарошечных инструментов .....	8
1.2 Механизм избирательного переноса.....	41
1.3 Факторы проявления эффекта избирательного переноса .....	43
1.4 Влияние различных факторов на безызносность узлов трения машин .....	49
2 Обоснование технологии избирательного переноса .....	51
2.1 Структурные критерии явления избирательного переноса .....	51
2.2 Применение избирательного переноса .....	53
2.3 Механизм образования сервовитной пленки .....	54
2.4 Роль поверхностно - активных веществ .....	59
2.5 Активация контактных поверхностей.....	61
2.6 Преимущества избирательного переноса .....	63
3 Выбор и обоснование конструкции опорного узла шарошечного инструмента .....	66
3.1 Конструкции корпусов долот .....	66
3.2 Организация опорного узла .....	69
3.3 Шарошечное долото .....	70
3.4 Шифры ГНУ и ГАУ .....	72
3.5 Преимущества шарошечных долот .....	74
3.6 Расчет нагрузок .....	75
Заключение .....	78
Список использованных источников .....	79
Приложение А. Графические материалы .....	83

## ВВЕДЕНИЕ

Для нормальной работы нефте- и газодобывающих компаний, требуется современное нефтегазовое оборудование, соответствующее жестким мировым стандартам качества и надежности. От того, насколько правильно и точно подобраны все узлы и элементы систем добычи, транспортировки и хранения нефти и газа, напрямую зависит не только производительность нефтедобывающей точки, но и безопасность сотрудников. По этой причине сложно переоценить важность высокого качества нефтегазового оборудования.

Опора долота является одним из наиболее важных узлов в конструкциях шарошечных долот. Она обеспечивает действие кинематических схем долота и создает условия для эффективной работы вооружения. Сложность повышения надёжности опоры долота заключена в ограничении объема под узлы трения. Поэтому известные конструкторские решения в машиностроении не всегда приемлемы для их реализации в специфических условиях

Цель работы: Разработка опорного узла шарошечного оборудования с использованием избирательного переноса.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проанализировать существующие конструкции опорных узлов буровых долот;
- изучить теорию избирательного переноса и дать рекомендации к ее применению для создания узлов скольжения опорных узлов скольжения шарошечного долота;
- разработать конструкцию и предложить опорный узел шарошечного долота с использованием теории избирательного переноса.

## **1 Литературный обзор**

### **1.1 Обзор существующих конструкций опорных узлов шарошечных инструментов**

В настоящее время геологоразведка, нефте- и газодобыча, имеющие огромное значение для обеспечения населения энергоресурсами, не могут обойтись без соответствующего качественного и надежного оборудования.

Значительную роль для эффективной разработки земных недр имеет многофункциональное буровое оборудование, в том числе буровые долота. Энергетические затраты, качество сделанной работы и скорость бурения напрямую зависят от правильной подборки долота, от качества его изготовления и свойств материала, из которого он изготовлен.

Долото – основной элемент специального инструмента для сплошного бурения нефтяных, газовых, водных скважин и скважин для прочих промышленных, технических и строительных нужд. Его задачей является разрушение грунта в зоне воздействия буровой колонны и глубинная проходка. Поэтому долота относятся к породоразрушающему снаряжению.

Указанный компонент бурового оборудования имеет множество разнообразных конструкций и их модификаций. Они определяются особенностями и способами бурения различных горных пород, а также технологическими целями, поставленными перед ними. Поэтому буровые долота можно разделить по следующим признакам.

По назначению:

- для сплошного бурения (разрушение горной породы по всему забоя скважины);
- для бурения с отбором керна (разрушение горную породу по кольцу забоя скважины с оставлением в её центральной части керна);



– для специальных целей (зарезные долота, расширители, фрезеры и др.)

По исполнению:

- пикообразные;
- ступенчатые;
- радиальные;
- лопастные;
- шарошечные;

По воздействию на горную породу:

– режущее – скалывающего типа (лопастные), они разрушают породу лопастями, которые наклонены в сторону вращения долота. Предназначены они для разбуривания мягких пород;

– дробящее – скалывающие типа (шарошечные), разрушающие породу штырями или, расположенными на шарошках, которые вращаются вокруг своей оси и вокруг оси долота. При вращении долота наряду с дробящим действием зубья (штыри) шарошек, проскальзывая по забою скважины, скалывают (срезают) породу, за счет чего повышается эффективность разрушения пород. Предназначены такие долота для разбуривания неабразивных и абразивных средней твердости, твердых, крепких и очень крепких пород;

– режущее – истирающего типа (ИСМ, алмазные), разрушающие породу алмазными зернами или твердосплавными штырями, располагающиеся в торцевой части долота или в кромках лопастей долота. Долота с алмазными зернами и твердосплавными штырями в торцевой части применяются для бурения неабразивных пород средней твердости и твердых. Долота лопастные, армированные алмазными зернами или твердосплавными штырями — для разбуривания перемежающихся по твердости абразивных и неабразивных пород [1].

Наибольшее распространение при бурении скважин получили шарошечные долота. Они представляют собой наиболее универсальный породоразрушающий буровой инструмент, поскольку область их применения охватывает практически все многообразие горных пород: от очень мягких до весьма твердых. Ежегодно ими выполняется более 90% объема проходки [1]. Такие долота относятся к дробяще – скалывающему типу.

По сравнению с лопастными долотами, шарошечные имеют ряд преимуществ:

- меньшая площадь контакта долота с забоем, чем у лопастных долот, но длина их рабочих кромок больше, что в свою очередь повышает эффективность разрушения горных пород;

- шарошки долота перекатываются по забою, вследствие чего интенсивность износа зубьев шарошек значительно уменьшается;

- вследствие перекатывания шарошек по забою крутящий момент, потребляемый долотом, сравнительно невелик, поэтому опасность заклинивания шарошечного долота сводится к минимуму [2].

Шарошечные долота в свою очередь можно разделить по следующим признакам.

По количеству шарошек:

- одношарошечные (I);
- двухшарошечные (II);
- трехшарошечные (III).

По расположению и конструкции промывочных или продувочных отверстий:

- долото с центральной промывкой (Ц), имеет одно отверстие в центре долота либо 3 отверстия или щели в корпусе (промывочной плите), через которые промывочная жидкость протекает через промывочные отверстия, омывая шарошки, попадая в центральную часть скважины;

– долото с боковой (гидромониторной) промывкой (Г), струя промывочной жидкости достигает поверхности забоя, что дает возможность использовать гидромониторный эффект для очистки поверхности забоя и частичного разрушения породы;

– долото с центральной продувкой (П);

– долото с боковой продувкой (ПГ).

При бурении применяют как трехшарошечные, так и двух- и одношарошечные долота. Двухшарошечные долота предназначены для бурения более мягких и вязких пород с пропластками пород средней твердости. Отличительной особенностью двухшарошечных долот от трехшарошечных одинаковых диаметров является увеличение размеров шарошек и более благоприятные условия для расположения промывочных отверстий. Двухшарошечные долота представляют собой неразборную конструкцию, состоящую из двух сваренных между собой секций (лап), на цапфах которых смонтированы свободно вращающиеся на опорах шарошки с зубьями для разрушения пород. (рисунок 1) Двухшарошечные долота — гидромониторные с двумя боковыми каналами, в которые устанавливаются сменные насадки, направляющие струи бурового раствора на периферийную часть забоя скважины.

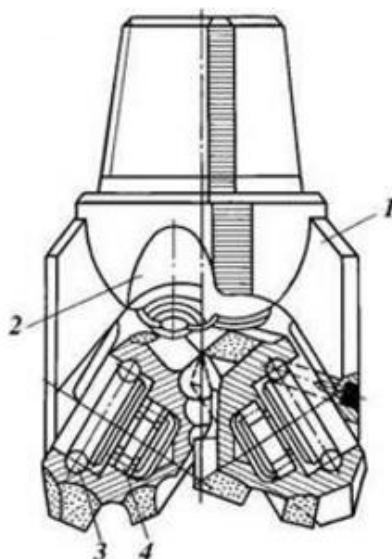


Рисунок 1 – Двухшарошечное долото: 1 — секция герметизированной опоры долота; 2 – боковые и центральное промывочные отверстия; 3, 4 – подшипники шариковый, роликовый соответственно

Одношарошечные долота применяются для бурения твердых пород, залегающих на больших глубинах. Они состоят в основном из одной лапы, на цапфе которой свободно вращается на шариковых опорах сферическая шарошка, в тело которой запрессованы твердосплавные цилиндрические зубья (штыри) с полусферической или призматической рабочей поверхностью (рисунок 2) [2].

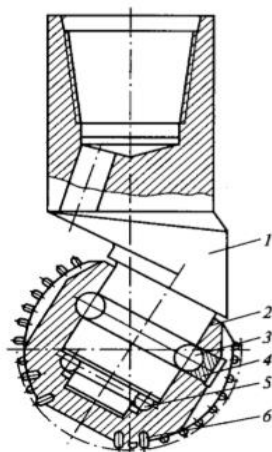


Рисунок 2 – Одношарошечное долото: 1 – лапка; 2 – шарошка; 3,5 – шарики; 4 – палец; 6 – твердосплавленный зубец

Наиболее распространенным вариантом долота является трехшарошечный. Конструкция такого долота наилучшим образом вписывается в цилиндрическую форму скважины тремя коническими шарошками, при этом обеспечивается оптимальное центрирование и устойчивость работы долота. При вращении долота шарошки, перекатываясь по забою, совершают сложное вращательное движение со скольжением (рисунок 3). При этом зубцы шарошек наносят удары по породе, дробят и скалывают ее. Шарошечные долота успешно применяются при вращательном бурении пород самых разнообразных физико-механических свойств. Изготавливают их из высококачественных сталей с последующей химико-термической обработкой наиболее ответственных и быстроизнашивающихся деталей, а сами зубцы изготавливаются из твердого сплава.

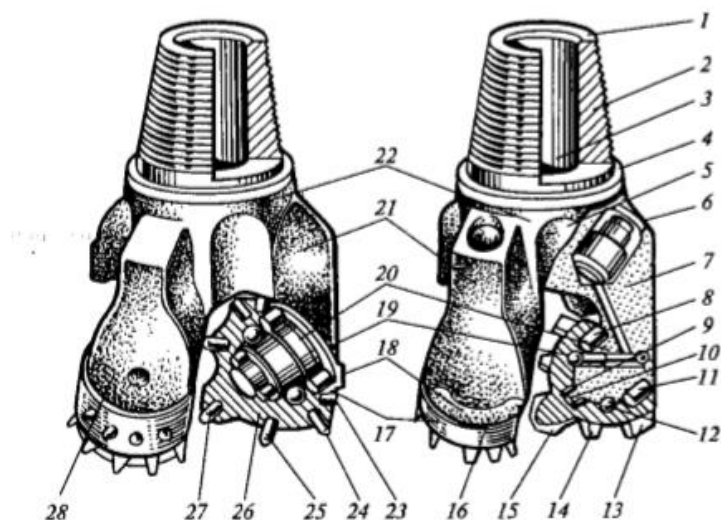


Рисунок 3 – Трехшарошечное долото: 1 – торец присоединительного ниппеля; 2 — присоединительный ниппель с замковой резьбой; 3 — внутренняя полость присоединительного ниппеля; 4 — упорный уступ долота; 5 — резервуар для размещения смазки; 6 — система компенсации давления смазочного материала; 7 — лапа; 8 — периферийный роликовый радиальный подшипник качения; 9 — концевой радиальный подшипник скольжения; 10— концевой упорный подшипник скольжения; 11 — герметизирующий элемент; 12 — средний шариковый радиально-упорный подшипник качения; 13 — фрезерованный зуб периферийного венца; 14 — фрезерованный зуб среднего венца; 15 — фрезерованный зуб вершины шарошки; 16 — наплавка зерновым твердым сплавом; 17 — шарошка; 18 — козырек лапы; 19 — замковый палец; 20 — цапфа лапы; 21 — спинка лапы; 22 — корпус долота; 23 — твердосплавный зубок, запрессованный в тыльный корпус шарошки; 24 — твердосплавный зубок периферийного венца шарошки; 25 — твердосплавный зубок среднего венца шарошки; 26— концевой роликовый подшипник скольжения; 27 — твердосплавный зубок вершины шарошки; 28 — твердосплавный зубок, запрессованный в козырек лапы

Так же шарошечные инструменты различаются по конструкции опор шарошек (рисунок 4):

- на подшипниках качения (В);
- на одном подшипнике скольжения, остальные подшипники качения (Н);
- герметизация опоры с маслонаполнением (У);
- на двух или более подшипниках скольжения (А) [3].

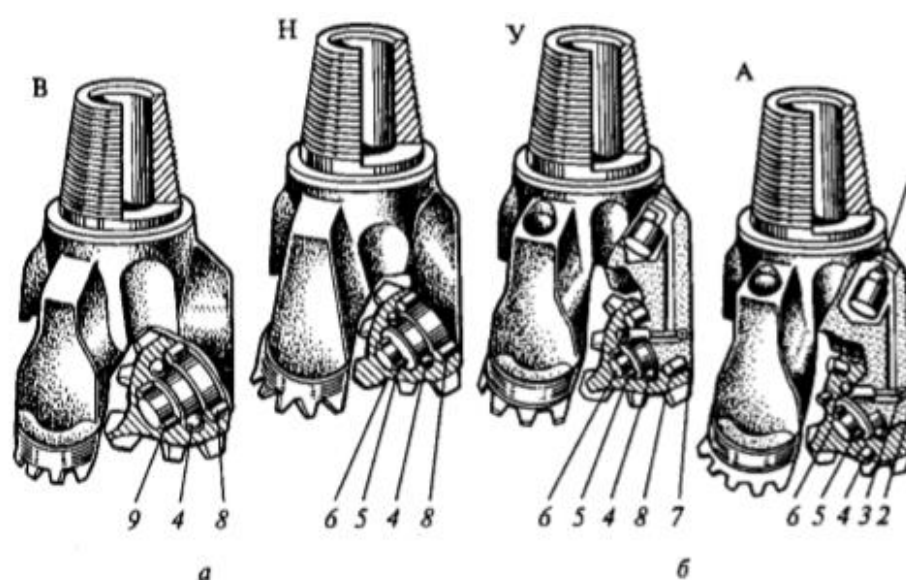


Рисунок 4 – Основные виды опор: а – негерметизированные; б – герметизированные маслонаполненные; 1- система компенсации давления смазочного материала; 2 — уплотнительное кольцо; 3 — периферийный подшипник скольжения с антифрикционным покрытием; 4 — замковый шариковый радиально-упорный подшипник скольжения; 5 — концевой радиальный подшипник скольжения; 6— концевой упорный подшипник скольжения; 7 — герметизирующий элемент; 8 — периферийный роликовый радиальный подшипник качения; 9 — концевой роликовый радиальный подшипник

Опора является важным элементом долота, она определяет его моторесурс. Назначением опоры является – передача нагрузки вооружению шарошек через цапфу и подшипники.

При конструировании опор учитывают следующие особенности подшипников:

- роликподшипник имеет высокую несущую способность. Требуется значительно больше места для размещения в опоре. Наблюдаются случаи заклинивания роликов в беговых дорожках при износе опоры;

- шарикоподшипник имеет малую несущую способность. При износе и перекосах шарошки заклиниваний не наблюдается. Сравнительно быстро нагревается и может служить источником выхода из строя соседних элементов опоры;

- подшипник скольжения имеет самую высокую несущую способность. При высоких скоростях вращения возникают очаги перегрева, что может вызвать выход из строя всей опоры [4].

Конструктивно опоры могут быть открытыми (негерметизированными) или маслonaполненными герметизированными.

Опора шарошки предназначена для фиксирования положения шарошки на цапфе с возможностью вращения и передачи осевой нагрузки и крутящего момента от корпуса долота к вооружению с минимальными внутренними потерями энергии и включает от двух до пяти подшипников.

В опорах используются следующие подшипники:

- качения радиальные с цилиндрическими роликами. Подшипник не имеет ни колец, ни сепараторов. Функции внутреннего кольца выполняет цапфа, а наружного – шарошка. Положение роликов на цапфе определяется бортами, которые выполняются на цапфе или в шарошке. В шифре опоры подшипник обозначается буквой Р;

- качения шариковые радиально-упорные. Подшипник называется замковым, если он двойного действия (воспринимает нагрузку вдоль оси



подшипника в обоих направлениях). В шифре опоры обозначается буквой Шз. В опорах возможно выполнение двухрядных замковых подшипников. Такой подшипник собирается через отверстие в лапе и цапфе, которое после сборки закрывается пальцем. После сборки палец приваривается к лапе;

– скольжения радиальные. Поверхность скольжения на цапфе армирована твердым сплавом. Малый подшипник армируется по всей поверхности цапфы, а большой подшипник – только с нижней стороны цапфы. В шарошке поверхности скольжения выполнены запрессованными в нее втулками. Втулка большого радиального подшипника выполняется в виде гильзы с внутренним слоем из композиционного материала. Эти подшипники в шифре опоры обозначаются буквой С;

– скольжения упорные на цапфе представлены наплавкой твердого сплава на торцовой поверхности, а в шарошке запрессованным в нее подпятником. Возможна наплавка торца борта замкового подшипника, по которому скользит внутренний торец шарошки. Эти подшипники в шифре опоры обозначаются буквой Су [4].

В качестве радиальных опор буровых долот используются подшипники роликовые, шариковые и скольжения, подшипники радиально-упорных долот — шариковые подшипники, упорных — подшипники скольжения.

В каждой опоре имеется замковый шариковый подшипник, который удерживает шарошку на цапфе и воспринимает осевую составляющую нагрузку на долото. Число роликов и шариков в опоре шарошек и их размеры зависят от размера долота, схемы опоры — от режима бурения.

При высокооборотном бурении (более 250 об/мин), используемые долота имеют опору с телами качения без герметизации, при среднеоборотном бурении (до 250 об/мин) — опору по схеме ролик-шарик — скольжение — упорная пятка без герметизации, либо с герметизацией при помощи торцевой манжеты. Долота для низкооборотного бурения (до 60 об/мин) имеют

герметизированную маслonaполненную опору по схеме скольжение — шарик — скольжение — упорная пята с радиальной уплотняющей манжетой.

В долотах с герметизированной маслonaполненной опорой в утолщённой части лапы имеется специальный резервуар со смазкой, в который вмонтирован эластичный мешок, изменяющий форму по мере увеличения давления при спуске долота в скважину и способствующий вытеснению смазки по смазочным каналам к трущимся элементам опоры. При этом уплотнительная манжета должна обеспечить герметичность опор со стороны торца шарошки. Это достигается жёсткостью торцевой манжеты и плотным прилеганием её к торцу шарошки [5].

Шариковый подшипник характеризуется малой несущей способностью, но хорошо работает в условиях перекоса шарошки и является незаменимым для замкового подшипника качения.

Роликовый подшипник имеет среднюю несущую способность. Основным недостатком – при износе тел качения и беговых дорожек в условиях перекоса шарошек имеет тенденцию к самозаклиниванию в результате поворота ролика.

Подшипники скольжения имеют высокую несущую способность и наименьшие габаритные размеры. Но эти подшипники нельзя эксплуатировать при повышенных частотах вращения из-за выделения большого количества тепла и опасности изнашивания схватыванием поверхностей трения [4].

Из всего разнообразия существующих схем опор шарошечных долот в современных долотах большинство ведущих фирм – производителей используют, в основном, две.

Первая из них — это герметизированная опора на подшипниках скольжения по схеме «скольжение-шарик-скольжение» (с-ш-с), обозначаемая по ГОСТ 20692-75 «АУ», и вторая — герметизированная опора на подшипниках качения по схеме «ролик-шарик-ролик» (р-ш-р), обозначаемая «ВУ». Широко распространенная ранее опора на подшипниках качения и скольжения (р-ш-с), обозначаемая «НУ», практически не применяется в

современных долотах, поскольку она не может конкурировать с опорой «АУ» при низкооборотном (роторном) бурении, а с опорой «ВУ» — при высокооборотном (турбинном) бурении.

Ниже в работе будут рассмотрены существующие технологии опор шарошечного долота.

Известна опора шарошечного долота, которая содержит лапу с наклонной цапфой, выполненной с осевым и радиальными каналами для подачи смазки, узел уплотнения и шарошку, установленную на цапфе посредством подшипника скольжения в виде втулки с клинообразными пазами на внутренней поверхности и замкового подшипника. Клинообразные пазы на внутренней поверхности втулки выполнены глухими и расположены со стороны торца цапфы. Другая часть втулки, расположенная со стороны основания цапфы, выполнена с кольцевыми канавками на ее наружной и внутренней поверхностях под узел уплотнения. Втулка установлена с возможностью вращения относительно шарошки. Наружная поверхность втулки выполнена с продольными пазами, расположенными с угловым смещением относительно пазов на ее внутренней поверхности. Пазы на внутренней и наружной поверхностях имеют одинаковую длину и сообщены между собой сквозными каналами [6].

Техническим результатом, по мнению автора, является улучшение ресурса работы опоры и долота в целом путем увеличения опорной поверхности и повышения надежности герметизации.

Решению поставленной задачи способствует также и то, что:

– наружная поверхность подшипника скольжения выполнена с продольными пазами, расположенными с угловым смещением относительно пазов на его внутренней поверхности, при этом пазы на внутренней и наружной поверхностях имеют одинаковую длину и сообщены между собой сквозными каналами;

– опора снабжена обратным клапаном, размещенным в осевом канале цапфы перед его радиальными каналами.

Опора бурового шарошечного долота включает лапу 1 с цапфой 2, узел уплотнения и шарошку 3 с замковым подшипником 4 и подшипником скольжения 5. Лапа 1 и цапфа 2 выполнены с каналами 6 и 13 для подачи смазки из маслonaполненной емкости (не показана) (рисунок 5). Шарошка 3 закреплена на цапфе 2 посредством шарикового замкового подшипника 4.

Подшипник скольжения 5 выполнен в виде «плавающей» втулки, установленной с возможностью вращения как относительно цапфы 2, так и относительно шарошки 3. Подшипник скольжения 5 выполнен со сквозными каналами 7 и глухими продольными пазы 8 и 9 соответственно на ее внутренней и наружной поверхностях. Внутренние и наружные пазы 8 и 9 имеют в поперечном сечении клинообразную форму и расположены с угловым смещением одних относительно других. При этом часть втулки с продольными пазы 8 и 9 расположена со стороны торца цапфы 2, а другая часть втулки, расположенная со стороны основания цапфы 2, выполнена с кольцевыми канавками на ее наружной и внутренней поверхностях под узел уплотнения. Последний образован эластичными кольцами 12, перекрывающими зазор между шарошкой 3, подшипником скольжения 5 и цапфой 2. Пазы 8 и 9 соединены между собой сквозными каналами 7. В осевом канале 13 цапфы 2 установлен обратный клапан 10, обеспечивающий перекрытие канала 6 для подачи смазки при резком повышении давления в полости шарошки 3. Обратный клапан 10 размещен перед радиальными каналами 11 в цапфе 2, соединяющими осевой канал 13 цапфы 2 для подачи смазки с полостью пазов 8 на внутренней поверхности подшипника скольжения 5. Такое повышение давления наблюдается при каждом совпадении нагруженной части цапфы 2 с участками подшипника скольжения 5 с минимальным внутренним диаметром.

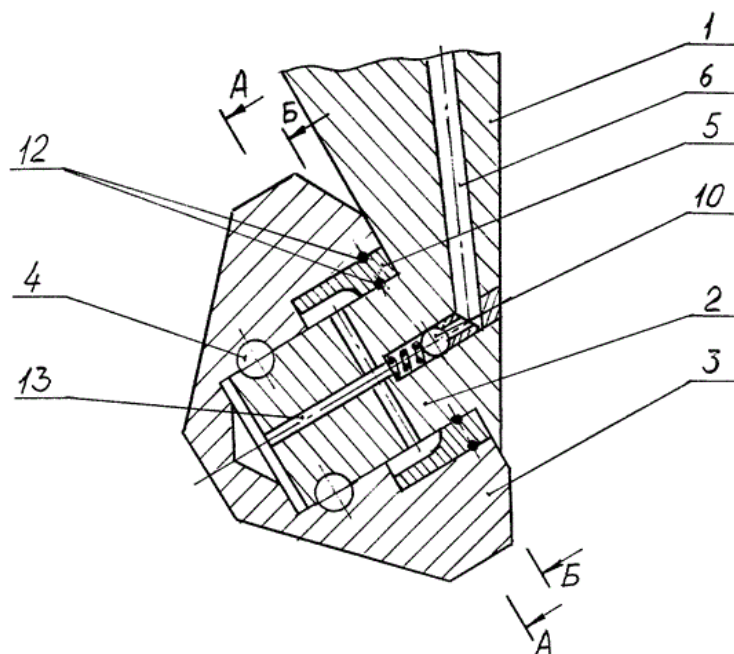


Рисунок 5 - Опора шарошечного долота

Принцип работы опоры долота заключается в следующем. В процессе бурения осевая нагрузка, передаваемая через колонну бурильных труб, воспринимается замковым подшипником 4 и подшипником скольжения 5. При этом благодаря использованию подшипников скольжения 5 со сквозными каналами 7, а также продольными пазами 8 и 9 соответственно на его внутренней и наружной поверхностях смазка из полости между цапфой 2 и шарошкой 3 постоянно циркулирует через радиальные каналы 7, сообщая полости между шарошкой 3 и подшипниками скольжения 5. Выполнение же пазов 8 и 9 с поперечным сечением клинообразной формы позволяет создать масляный клин с одной стороны между шарошкой 3 и подшипником скольжения 5, а с другой стороны между цапфой 2 и тем же подшипником скольжения 5 при вращении последнего относительно цапфы. Это значительно снижает ударные нагрузки на опору долота и в первую очередь на замковый подшипник 4, являющийся слабым звеном опоры, т.к. замковый подшипник 4, наряду с радиальными нагрузками, воспринимает также и осевые нагрузки. При совмещении нагруженной части цапфы 2 с

выступающими частями подшипника скольжения 5 благодаря указанной форме выполнения пазов 8 на его внутренней поверхности происходит рост давления смазки в полости подшипника скольжения 5, чему способствует также перекрытие обратным клапаном 10 канала 6 и наличие узла уплотнения. Это обеспечивает бесконтактное вращение шарошки 3 относительно подшипника скольжения 5. Одновременно с этим масло под давлением через каналы 7 поступает в полость между подшипником скольжения 5 и шарошкой 3, где также происходит рост давления благодаря клинообразной форме наружных пазов 9 и тем самым обеспечивается бесконтактное вращение подшипника скольжения 5 относительно цапфы 2. Таким образом, циклически нарастающее гидродинамическое давление, возникающее в клинообразных пазах 8 и 9, удерживает подшипник скольжения 5, а вместе с ним и шарошку 3 на «масляном клине».

Также известна опора шарошечного долота которая содержит выполненную за одно целое с лапой цапфу, выполненную с каналами для подачи смазки, и шарошку, закрепленную на цапфе посредством подшипников скольжения в виде плавающей втулки и замкового подшипника качения. Особенностью предложенной опоры является то, что цапфа под подшипник скольжения выполнена у основания с коническим буртом, а на противоположном конце цапфы закреплена втулка с коническим торцом. Вершины конических поверхностей обращены одна к другой и расположены на оси цапфы, при этом конические поверхности выполнены с одинаковым углом конусности, а плавающая втулка выполнена на концах с ответными коническими участками, длина которых составляет (0.1-0.2) от длины втулки [7].

Техническим результатом данного изобретения является уменьшение удельной нагрузки на подшипник скольжения, что приводит к увеличению срока его службы.

Указанный технический результат достигается тем, что в опоре шарошечного долота, содержащей наклонную цапфу, выполненную с осевым

и радиальными каналами для подачи смазки, и шарошку, установленную на цапфе посредством подшипников скольжения в виде плавающей втулки и замкового подшипника, согласно изобретению цапфа под подшипник скольжения выполнена у основания с коническим буртом, а на противоположном конце цапфы закреплена втулка с коническим торцом, причем вершины конических поверхностей обращены одна к другой и расположены на оси цапфы, при этом конические поверхности выполнены с одинаковым углом конусности, а плавающая втулка выполнена на концах с ответными коническими участками, длина которых составляет (0.1-0.2) от длины втулки.

Опора бурового шарошечного долота включает наклонную цапфу 2, выполненную за одно целое с лапой 1 и закрепленную на цапфе 2 посредством замкового подшипника 3 и подшипника скольжения в виде плавающей втулки 5, шарошку 4. Лапа 1 и цапфа 2 выполнены с каналами 11 и 12 для подачи смазки из маслonaполненной емкости (не показана). Цапфа 2 под подшипник скольжения выполнена у основания с коническим буртом 13, а на противоположном конце цапфы закреплена втулка 6 с коническим торцом, причем вершины обеих конических поверхностей обращены одна к другой, имеют одинаковый угол конусности и расположены на оси цапфы 2. При этом плавающая втулка 5 выполнена на концах с ответными коническими участками 9 и 10, длина которых составляет (0.1-0.2) от длины втулки 5, причем противоположные образующие 7-8 и 9-10 указанных конических поверхностей расположены параллельно одна к другой (рисунок 6).

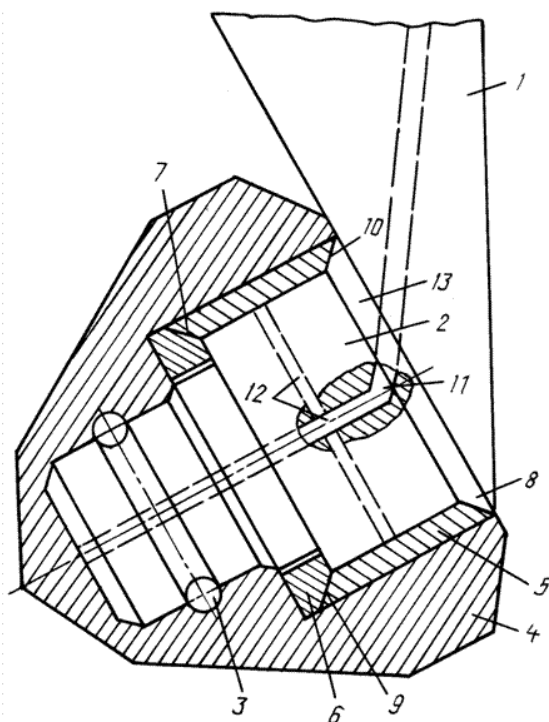


Рисунок 6 - Опора шарошечного долота

Принцип работы опоры бурового долота заключается в следующем. В процессе бурения осевая нагрузка воспринимается опорными элементами шарошечного долота, а именно замковым подшипником 3 и подшипником скольжения 5. При этом вследствие консольности цапфы 2 наблюдается эксцентричное нагружение подшипников. В первую очередь это относится к подшипнику скольжения, который начинает контактировать с цапфой 2 по значительно меньшей поверхности. С целью уменьшения этого вредного явления плавающая втулка 5 выполняется с удлиненными коническими участками, контактирующими с ответными коническими участками конического бурта 13 и втулки 5. Благодаря выполнению противоположащих конических поверхностей 7-8 и 9-10 параллельными обеспечивается постоянный контакт плавающей втулки 5 с цапфой 2, коническим буртом 13 и втулкой 6. Это значительно снижает удельные нагрузки на подшипник скольжения и тем самым повышает срок его службы, а следовательно, и опоры в целом.



Существует герметизированная опора шарошечного долота которая содержит в себе лапу с цапфой, выполненных с каналами для подачи смазки, шарошку, закрепленную на цапфе посредством замкового подшипника, и размещенное в выточке уплотнительное эластичное кольцо. Особенностью предложенной опоры является то, что выточка под узел герметизации расположена к продольной оси цапфы под углом, отличным от перпендикулярного, причем верхняя часть выточки под уплотнительное кольцо смещена относительно ее нижней части в сторону оси долота. Такое выполнение опоры позволяет повысить надежность герметизации и тем самым защитить полость опоры от попадания шлама, что увеличивает срок службы опоры и долота в целом [8].

Указанный технический результат достигается тем, что в герметизированной опоре шарошечного долота, содержащей лапу с наклонной цапфой, выполненными с каналами для подачи смазки, шарошку, установленную на цапфе посредством замкового подшипника, и размещенное в выточке уплотнительное эластичное кольцо, согласно изобретению, выточка под узел герметизации выполнена под углом к продольной оси цапфы.

Решению поставленной задачи способствует также и то, что верхняя часть выточки под уплотнительное кольцо смещена относительно ее нижней части в сторону оси долота.

Опора бурового шарошечного долота включает лапу 1, цапфу 2, шарошку 3 с замковым подшипником 4 и эластичное уплотнительное кольцо 5, размещенное в выточке 6 цапфы 2 или шарошки 3. Лапа 1 и цапфа 2 выполнены с каналами 7 для подачи смазки из маслonaполненной емкости (не показана). Шарошка 3 закреплена на цапфе 2 посредством замкового подшипника 4. В предложенной опоре выточка 6 под уплотнительное кольцо 5 выполнена не перпендикулярно к продольной оси цапфы 2, а под углом -  $\alpha$ , при этом верхняя часть выточки 6 под уплотнительное кольцо 5 смещена относительно ее нижней части в сторону оси долота.

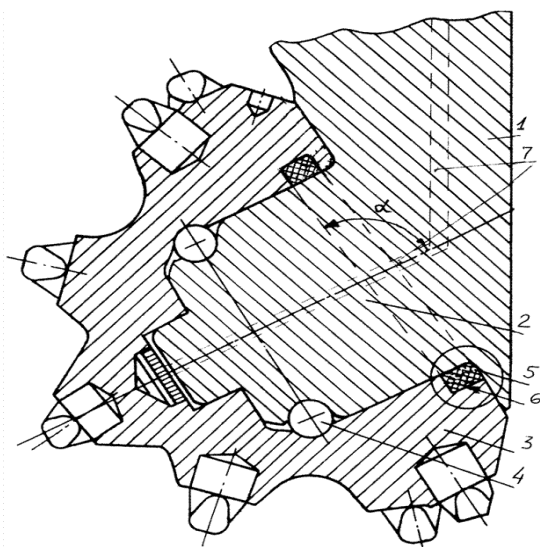


Рисунок 7 - Герметизированная опора шарошечного долота

Принцип работы опоры долота заключается в следующем. В процессе бурения уплотнительное кольцо 5 при расположении его в кольцевой выточке 6 в шарошке 3 вращается вместе шарошкой 3 вокруг цапфы 2, постоянно контактируя с ней благодаря силам упругости и предохраняет опору от попадания бурового шлама. В случае размещения уплотнительного кольца 5 в выточке 6 цапфы 2 рабочая поверхность его постоянно контактирует с внутренней поверхностью шарошки 3 и также обеспечивает надежную герметизацию опоры, перекрывая зазор между шарошкой 3 и цапфой 2. Этому способствует выполнение выточки 6 под углом -  $\alpha$  к продольной оси цапфы 2. Расположение уплотнительного кольца 5 под углом к уплотняемой поверхности цапфы 2 или шарошки 3 практически исключает проворот кольца 5 относительно них. А это, с одной стороны, повышает надежность герметизации опоры, а с другой стороны, значительно уменьшает износ самого кольца 5, что увеличивает срок его службы и опоры в целом. Расположение же верхней части выточки 6 под уплотнительное кольцо 5 со смещением относительно ее нижней части в сторону оси долота позволяет

успешно бороться против «насосного эффекта», возникающего вследствие различной скорости движения тел качения в нагруженной и ненагруженной зонах опоры и ведущего к подосу шлама из затрубного пространства и вымыванию смазки из полости шарошки, что значительно снижает как проходку на долото, так и скорость бурения.

Известна опора бурового шарошечного долота. Опора содержит цапфу, шарошку, конический подшипник скольжения, сопрягаемые поверхности которого выполнены конусными. В верхней части шарошки и цапфы выполнены кольцевые канавки, в которых размещено замковое устройство, состоящее из разрезной крышки с упругим уплотнительным элементом, резинометаллической прокладкой, закрепленными на шарошке крепежными элементами [9].

Техническим результатом данного изобретения является повышение надежности и долговечности опоры и снижение трудозатраты на ее изготовление.

Задача, положенная в основу заявляемого технического решения, заключается в создании конструкции опоры шарошечного долота, имеющей высокую надежность и долговечность, а также низкие трудозатраты на ее изготовление.

Поставленная задача решается следующим образом.

В опоре бурового шарошечного долота, содержащей цапфу, втулку, шарошку, сопрягаемые поверхности которых выполнены конусными, размещенное в кольцевых канавках цапфы и шарошки замковое устройство, упорный подшипник и уплотнение, согласно заявляемому техническому решению кольцевые канавки выполнены в цапфе и шарошке в их верхней части, а замковое устройство выполнено в виде разрезной крышки с упругим уплотнительным элементом и резинометаллической прокладкой, закрепленными на шарошке крепежными элементами.

Замковое устройство вынесено за пределы рабочей зоны цапфы, что увеличивает рабочую поверхность цапфы по длине, позволяя полностью,

использовать контактируемые поверхности цапфы с шарошкой для распределения осевой нагрузки на большую расчетную площадь и значительно снижает величину удельных нагрузок и контактных напряжений. Вынос замкового устройства за рабочую зону цапфы и выполнение его в виде разъемной крышки с упругим уплотнительным элементом и резинометаллической прокладкой, съемно крепящихся к шарошке винтами, упрощает производственный процесс изготовления долота. В результате отпадает необходимость в расточке беговых дорожек на цапфе и шарошке, упраздняются тела качения, технологические отверстия и исключается технологическая сварка для монтажа шаров.

Независимое и автономное расположение замкового устройства и вынос его из рабочей зоны исключают возможность выпадения шарошки в скважину, что сокращает количество трудоемких и дорогостоящих спускоподъемных операций, а также обеспечивает самоцентрировку шарошки относительно цапфы.

Принципиальная схема шарошечного бурового долота показана на рисунке 8.

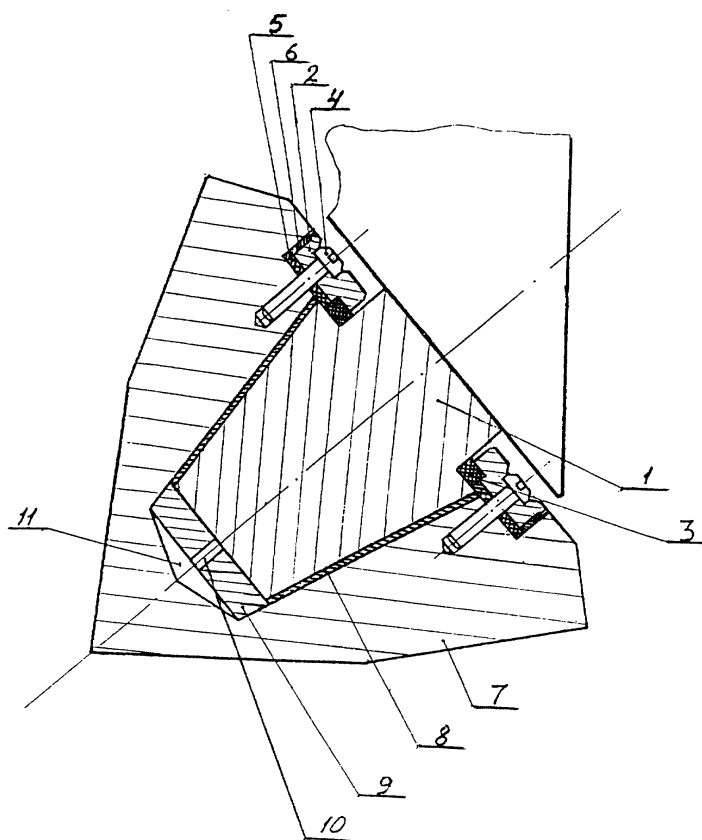


Рисунок 8 - Принципиальная схема опоры шарошечного бурового долота

Опора долота включает цапфу 1, шарошку 7, замковое устройство, установленное в верхней части шарошки и цапфы, состоящее из разрезной крышки 2, упругого уплотнительного элемента 3, резинометаллической прокладки 5, уплотнения 6, зафиксированные с помощью разрезной крышки и винтов 4 на кольцевой канавке торца шарошки 7.

Сопрягаемые поверхности шарошки 7 и цапфы 1 выполнены конусными. Опора содержит также втулку 8, упорный подшипник 9 с отверстием 10 и масляный резервуар 11.

При работе долота часть осевой нагрузки (относительно цапфы) через шарошку 7 воспринимается упорным подшипником 9, остальная часть - внутренней поверхностью шарошки 7 и через цапфу 1 передается на лапу секции долота.

Резинометаллическая прокладка 5 и уплотнительный элемент 6 выполняют роль гасителей ударных импульсов и одновременно

ограничителей осевых и радиальных перемещений шарошки относительно цапфы.

Известна опора шарошечного долота [10]. Целью настоящего изобретения является снижение механических и термических напряжений в соприкасающихся поверхностях элементов опоры и повышение ее стойкости при высокооборотном бурении. Цилиндры 6 выполнены с радиальными канавками 15 на торцевых поверхностях, а на наружных и внутренних поверхностях - со спиральными канавками 14. Направление спиралей 15 совпадет с направлением вращения шарошек. Диски 7 выполнены с отверстиями, радиальными канавками 16 и аксиальными канавками 17. Канавки 15 и 14, а также 16 и 17 попарно соединены между собой. Цилиндры 6 установлены с частичным перекрытием друг друга со стороны торца цапфы 2 и возможностью взаимодействия соприкасающихся поверхностей (рисунок 10).

Поставленная цель достигается тем, что цилиндры выполнены с радиальными канавками по торцевым поверхностям и со спиральными канавками на наружных и внутренних поверхностях с нечетным числом, направление спиралей которых совпадает с направлением вращения шарошек, а диски выполнены с отверстиями, радиальными канавками по торцевым поверхностям и аксиальными канавками на наружных поверхностях, причем на цилиндрах и дисках радиальные канавки и канавки на наружных и внутренних поверхностях попарно соединены между собой, а цилиндры установлены с частичным перекрытием друг друга со стороны торца цапфы и возможностью взаимодействия соприкасающихся поверхностей друг с другом.

Секция долота содержит лапу 1, которая переходит в цапфу 2. Опора долота размещается внутри шарошки 3 и включает, кроме цапфы, замковые шарикоподшипник 4 и палец 5, а также кольцевые цилиндры 6 и диски 7. Лубрикатор, размещающийся в лапе и предназначенный для создания избыточного давления в системе смазки над окружающей средой, содержит

подпружиненный поршень 8 с уплотнениями, цилиндрическую втулку 9 и крышку 10 со сквозным отверстием. В цапфе просверлены отверстия 11 для прохождения смазочного материала из полости цилиндра 9 ко всем трущимся элементам.

Сальниковое уплотнение состоит из кольца 12, жестко связанного с шарошкой и вращающегося с ней, и кольца 13, установленного на лапе с возможностью осевого перемещения и прижимающегося к кольцу 12 упругими элементами. Усилие прижатия кольца 13 к кольцу 12 принимается из расчета, что при вращении шарошки происходит дозированная утечка смазочного материала через соприкасающиеся торцы колец под действием избыточного давления, создаваемого лубрикатором. Это, а также выполнение колец из твердого износоустойчивого металла позволяет использовать сальниковое уплотнение не только при низкооборотном, но и при высокооборотном бурении.

Кольцевые цилиндры 6 имеют: на наружных и внутренних образующих канавки 14 спиральной формы, направленные в сторону вращения долота, а на торцах - радиальные канавки 15. Каждые из тех и других канавок попарно соединены между собой.

Диски 7 также имеют канавки на плоскостях радиальные 16, а на наружных образующих 17, направленные вдоль оси дисков; все канавки и здесь попарно соединены между собой. Принципиальная схема шарошечного долота показана на рисунке 9.

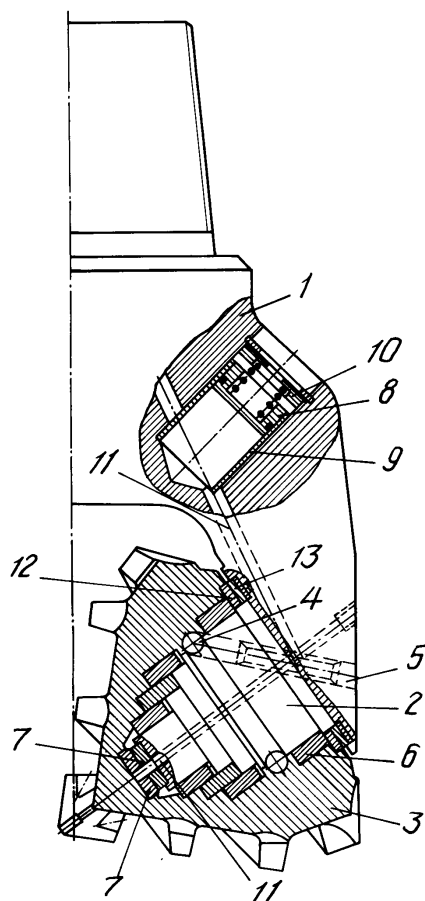


Рисунок 9 - Принципиальная схема опоры шарошечного долота

Работает долото с предлагаемой опорой следующим образом. Перед спуском его в скважину все полости системы смазки опоры заполняют смазочным материалом, подавая его в систему до тех пор, пока поршень 8 лубрикатора не поднимется в верхнее положение, не доходя до упора, из расчета возможности расширения смазочного материала при увеличении температуры.

Поскольку поршень 8 подпружинен, а давление окружающей среды через поршень передается на смазочный материал, внутри полостей системы смазки постоянно создается избыточное давление, что исключает проникновение бурового раствора внутрь системы смазки до тех пор, пока не будет израсходован весь смазочный материал в системе и поршень не дойдет до нижнего крайнего положения. Разделение цилиндров долота показано на рисунке 10 и рисунке 11.



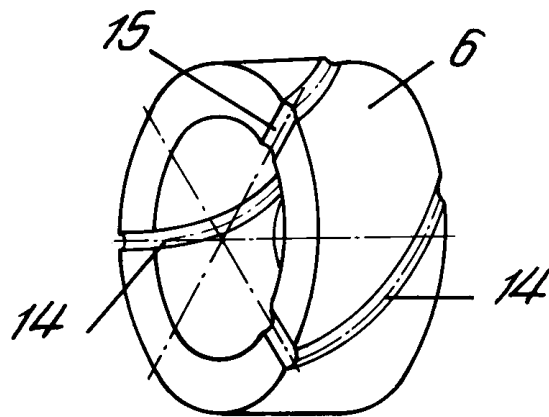


Рисунок 10 - Разделение цилиндров долота

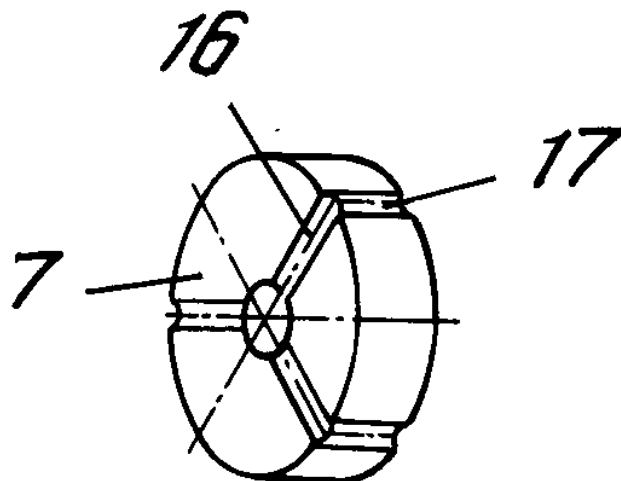


Рисунок 11 - Разделение цилиндров долота

При работе долота в связи с постепенной, дозированной утечкой смазочного материала через сальниковые уплотнения последний восполняется, поступая от лубриката через отверстие в центре цапфы к дискам 7, проходит через отверстия в них, канавки 16 и 17, далее перемещается к кольцевым цилиндрам 6, размещенным вблизи вершины шарошки, проходит через канавки 14 и 15 в них, шарошкоподшипник 4,

канавки 14 и 15 в кольцевом цилиндре 6, размещенном вблизи затылка шарошки.

Известна опора шарошечного долота [11]. Целью изобретения является повышение долговечности опоры за счет улучшения подвода смазочного материала к подшипникам опоры. Указанная цель достигается тем, что опора шарошечного долота включает шарошку и цапфу лапы с замковым шариковым подшипником, твердосплавную пятую на торце цапфы и периферийный опорный подшипник скольжения, содержащий наплавленный на цапфу твердый сплав. Наплавление твердого сплава на опорный подшипник скольжения выполнено в виде сегментов, разделенных канавками. При этом сегмент, наплавленный между буртами лапы и замкового подшипника и расположенный на максимальном удалении от оси долота, имеет длину по дуге окружности цапфы в интервале  $90 - 120^\circ$ , а общее число сегментов, расположенных на оставшейся длине окружности цапфы, составляет не менее трех. Данные сегменты прилегают поочередно к бурту лапы и бурту замкового подшипника с оставлением канавки у противоположного бурта. В бурте замкового подшипника выполнены пазы, являющиеся продолжением разделительных канавок между сегментами, а на пяте выполнена как минимум одна канавка, расположенная по хорде пяты [11].

Общий вид опоры шарошечного долота показан на рисунке 12. Узел А показан на рисунке 13.



Б - Б

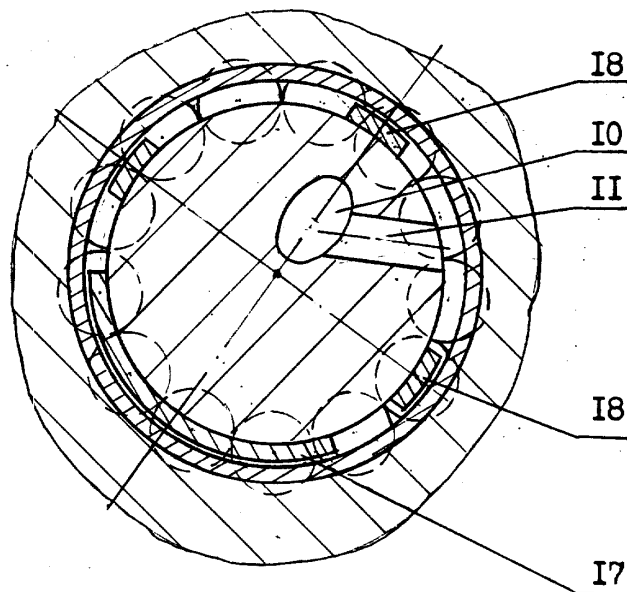


Рисунок 14 - Разрез Б-Б рисунка 12

Опора шарошечного долота имеет следующую конструкцию. На цапфе 1, составляющей единое целое с лапой 2, монтируется с помощью блока подшипников шарошка 3 с породоразрушающими зубками 4. Блок подшипников включает шариковый замковый подшипник 5, периферийный большой опорный подшипник скольжения 6 и малый подшипник скольжения 7.

Опора долота герметизирована. Смазка подается в опору из смазочного узла, включающего заполненный смазкой резервуар (лубрикатор) 8, диафрагму 9, каналы 10, 11 для подвода смазки к подшипникам и сальниковое уплотнение 12.

Шариковый подшипник имеет беговую дорожку 13, ограниченную буртами 14 и 15. Большой опорный подшипник скольжения содержит наплавленный на цапфу слой твердого сплава (например, сплав ЗВ14К-Б, стеллит и др.). Твердый сплав наплавлен на цапфу между буртом 14

шарикового подшипника и буртом 16 лапы в виде сегментов. Наибольший по размерам сегмент распложен на максимальном удалении от оси долота и имеет длину по дуге окружности цапфы в интервале 90 - 120°. При этом твердый сплав в данном сегменте 17 наплавлен на цапфу между буртами 14 и 16 сплошным слоем по всей длине окружности цапфы в интервале 90 - 120°. Разрез В - В показан на рисунке 15.

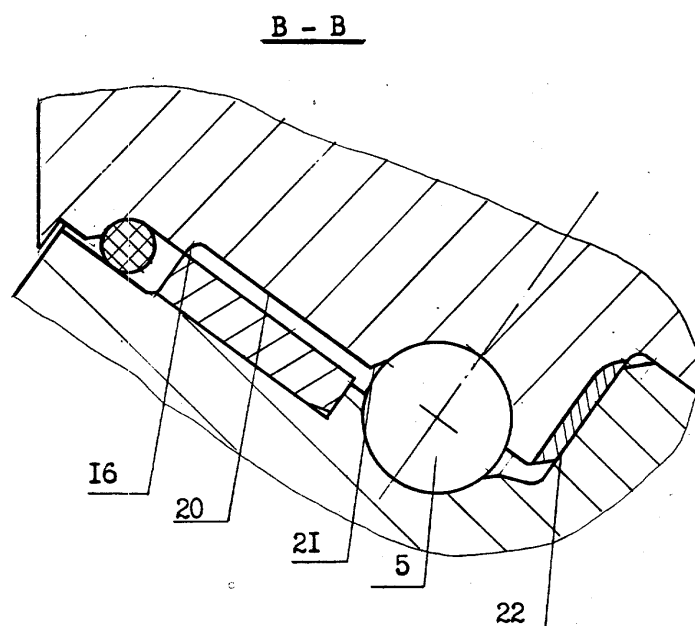


Рисунок 15 - Разрез В-В рисунка

Число меньших по размеру сегментов 18, расположенных на оставшейся длине окружности цапфы, составляют не менее трех. Данные сегменты направляются на цапфу с прилеганием поочередно к бурту 14 подшипника и бурту 16 лапы и с оставлением канавок 19 вдоль противоположного бурта. Сегменты 17 и 18 на цапфе разделены поперечными канавками 20, являющимися продолжением канавок 19. В бурте 14 замкового подшипника выполнены пазы 21, являющиеся продолжением поперечных разделительных канавок 20 между сегментами 17 и 18.

На торцовую поверхность (пяту) 22 цапфы между буртом 15 замкового подшипника и малым подшипником скольжения 7 также наплавлен слой

твердого сплава. При этом по хорде торцевой поверхности (пяты) 22 выполнена как минимум одна канавка 23, расположенная по хорде пяты.

Вид Г показан на рисунке 16.

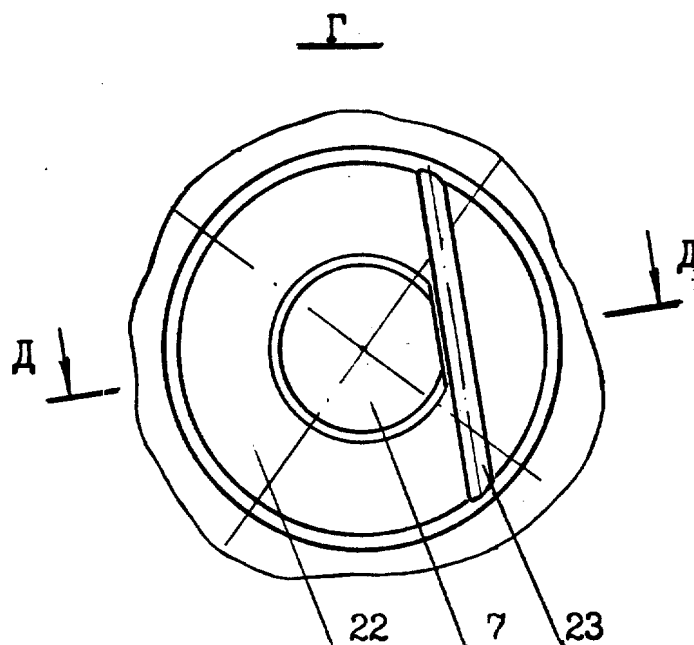


Рисунок 16 - Вид Г рисунка 12

Опора долота работает следующим образом. В процессе бурения скважины диафрагма 9 обеспечивает проталкивание смазки из резервуара 8 через каналы 10, 11 к опорному узлу долота, защищенному сальниковым уплотнением 12. Через канал 11, выходящий в разделительную канавку 20 между твердосплавными сегментами 18, смазочный материал подается в большой опорный подшипник в зазор между цапфой и внутренней стенкой шарошки.

Ввод смазки в разделительную канавку 20 с дальнейшим перетеканием в канавки 19 позволяет в любых условиях бурения обеспечить наличие смазочного материала в полости большого опорного подшипника скольжения 6, воспринимающего основное действие осевых нагрузок. Основным условием для повышения стойкости данного подшипника является уменьшение

коэффициента трения скольжения за счет наличия пленки смазочного вещества между цапфой и внутренней поверхностью шарошки. При бурении происходит нагружение элементов опоры долота, смазка выжимается из опорного подшипника скольжения, возникают разрывы пленки смазочного вещества. Это крайне негативно сказывается на долговечности работы опоры и долота в целом. Разрез Д - Д показан на рисунке 17.

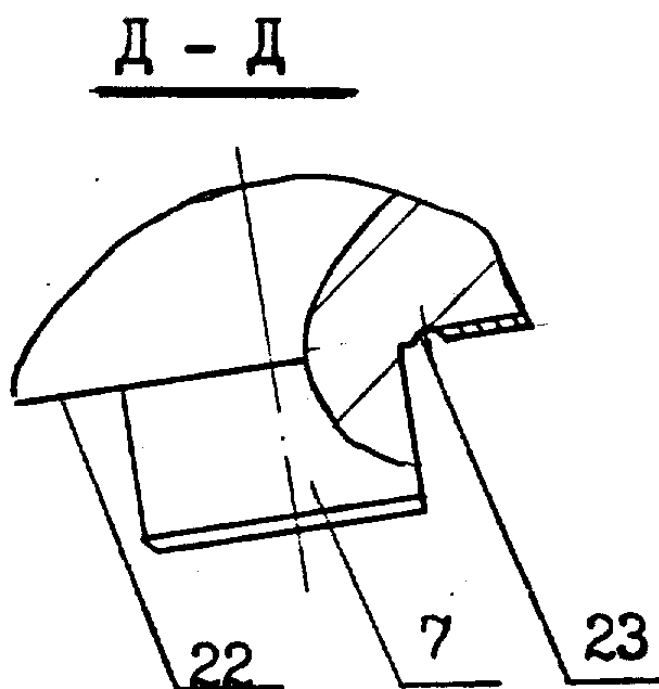


Рисунок 17 - Разрез Д-Д рисунка 16

Наличие смазки в продольных 19 и поперечных 20 канавках между твердосплавными сегментами опорного подшипника скольжения позволяет улучшить ее подвод к твердосплавным сегментам 18 и наиболее нагруженному сегменту 17. Длина сегмента 17 в интервале  $90 - 120^\circ$  по дуге окружности цапфы основана на экспериментальных данных и определяется оптимизацией процессов нагружения и подвода смазочных материалов к данному сегменту. Наплавление твердого сплава на цапфу в данном наиболее

нагруженном сегменте 17 производится сплошным слоем между буртами 14 и 16 по всей длине сегмента. Это позволяет уменьшить вероятность поломки и истирания буртов под действием критических нагрузок. Число сегментов 18, расположенных на оставшейся длине окружности (не менее трех), а также их расположение с прилеганием поочередно к бурту 16 лапы и бурту 14 замкового подшипника и с оставлением канавки у противоположного бурта, также определяется условиями равномерного распределения нагрузок и смазки в опорном подшипнике.

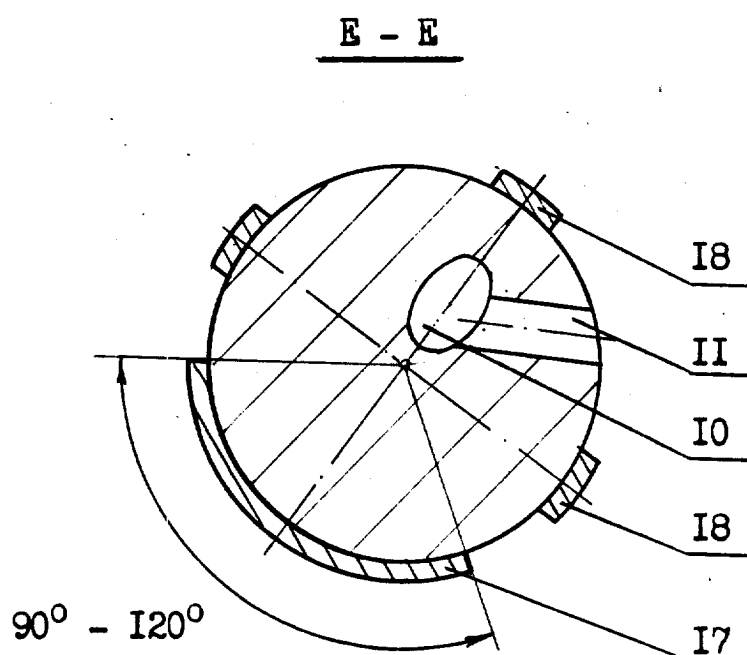


Рисунок 18 - Разрез E-E рисунка 13

Далее смазочный материал из разделительных канавок в полости опорного подшипника 6 через пазы 21 в бурте попадает в полость замкового подшипника 5. Движение тел качения - шариков при вращении долота способствует перераспределению смазки в шариковом подшипнике, а наличие пазов 21 обеспечивает ее подвод в замковый подшипник и перенос обратно в опорный подшипник, т.е. циркуляцию в достаточном объеме. В дальнейшем при работе долота часть смазки через бурт 15 подводится к твердосплавной



поверхности (пяте) 22 цапфы. Наличие на пяте как минимум одной канавки 23 расположенной по хорде пяты, способствует аккумулярованию и лучшему подводу и распределению смазочного материала как по поверхности самой пяты, так и в малом подшипнике скольжения 7.

## **1.2 Механизм избирательного переноса**

На современном этапе науки и техники для создания различных конструкций машин и оборудования необходимо применять материалы, обладающие высокими механическими свойствами и способные противостоять изнашиванию при различных режимах работы узлов трения. Также для обеспечения работы сопряжений применяются различные смазочные материалы, предупреждающие при трении прямой контакт поверхностей деталей.

В последние годы были выявлены причины отказов узлов трения машин и механизмов и также найдены меры по их устранению. Например, если ввести специальные масла и смазки с химически активными присадками, содержащими металл, то с их помощью обеспечивается реализация эффективного метода борьбы с износом и увеличение надежности их работы.

Основным методом повышения противоизносных и противозадирных свойств смазочных материалов является введение химически активных веществ, которые имеют в своем составе серу, фосфор и хлор. Данные добавки приводят к противостоянию задирам трущихся поверхностей и повышают несущую способность масла. При высокой температуре и большом давлении между трущимися деталями соединения серы, фосфора и хлора разлагаются и вступают в реакцию с поверхностью металла, за счет чего образуются пленки сульфида железа, фосфита железа и хлорида железа. Пленки, образованные при химической реакции, предотвращают металлический контакт, уменьшают силу трения, вследствие чего происходит снижение температуры [13].

С повышающимися требованиями к эксплуатационным свойствам смазочных материалов и к материалам, которые применяются в узлах трения, разрабатываются более совершенные методы борьбы с изнашиванием, чтобы увеличить долговечность узлов трения машин и механизмов. Наиболее перспективным направлением является применение избирательного переноса (ИП) металла в узлах трения машин, основанного на протекании физико-химических, химических, электрических и механических процессов, которые в других видах трения и изнашивания не проявлялись.

Избирательный перенос представляет собой такой вид трения, который обуславливается самопроизвольным образованием в зоне контакта тонкой не окисляющейся металлической пленки, которая обладает низкими сопротивлением сдвигу и способностью накапливать дислокации при деформации.

Данный способ обуславливается следующими особенностями и достоинствами:

- сохранением образовавшейся поверхности трения на протяжении работы узла оборудования;
- длительностью сохранения свойств антифрикционного характера модифицированного поверхностного слоя и сопровождающей его пластической деформации;
- созданием в зоне контакта пластической металлической пленки с постоянным числом дислокаций и большим числом вакансий;
- значительным повышением износостойкости трущихся деталей механизма за счет удержания продуктов износа электрическими силами [13].

Чтобы объяснить эффект безызносности нужно опираться на следующие представления о механизме процессов трения и изнашивания. Под эффектом безызносности можно понимать такой принцип воздействия, при котором снижаются силы трения и интенсивность изнашивания деталей оборудования. С одной стороны, на фрикционном контакте протекают физико-химические

процессы под действием механических факторов, а с другой — происходит избирательное растворение и перенос металлов на поверхность трения. Вследствие этого явления адсорбционного уменьшения прочности и избирательного переноса приобретают большое значение, в их основе лежит сложный комплекс физико-химических и электрических процессов, которые протекают на фрикционном контакте.

### **1.3 Факторы проявления эффекта избирательного переноса**

Образовавшаяся при трении металлическая медная пленка, называется сервовитной пленкой. Она является веществом (в данном случае металлом), которое образовалось потоком энергии и существует оно в процессе трения. Трение создает сервовитную пленку, следовательно, оно не может ее уничтожить.

Эффект избирательного переноса характеризуется высокой износостойкостью, она связана с действием специальных факторов, которые обусловлены возникновением сервовитной пленки. К таким факторам можно отнести:

– осуществление контакта поверхностей через тонкий пластический слой меди. Сервовитная пленка способна перекрывать неровности на поверхности деталей, которые подвергаются трению, она легкодеформируемая и может сглаживать рельеф, увеличивая при этом контактную площадь трения. Благодаря этому уменьшается давление на поверхностях трения, вследствие чего снижается вероятность схватывания и взаимного внедрения выступов, что и приводит к дальнейшему износу;

– предотвращение окислительных процессов металла на поверхности трения. Окислительные пленки устраняют явление схватывания поверхностей, но из-за повышенной хрупкости они склонны к быстрому разрушению, что в свою очередь увеличивает скорость износа детали. При избирательном

переносе хрупкие окислительные пленки не могут возникнуть, за счет того, что на поверхности находятся защитная сервовитная пленка и плотный слой положительно заряженных молекул поверхностно-активных веществ (ПАВ), возникающие при трении. Обычно, окислительные пленки препятствуют выходу дислокаций на поверхность и потому ускоряют наклёп и разрушение поверхностных слоев. Сервовитные пленки обладают высокой пластичностью, поэтому в них дислокации могут “разряжаться” без существенного упрочнения поверхности, что представлено на рисунке 19;

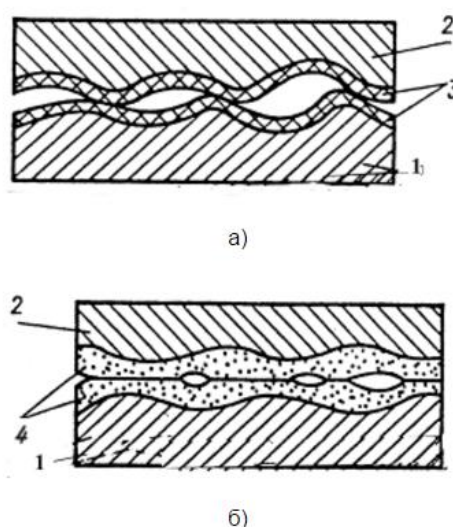


Рисунок 19 – Контакт деталей при наличии окислов при граничной смазке (а) и в случае реализации ИП (б): 1- сталь, 2 - бронза, 3 - пленка окислов, 4 - сервовитная пленка.

– реализация эффекта Ребиндера. Окислительные пленки блокируют выход молекул ПАВ к поверхности детали, поэтому эффект пластификации (размягчения) поверхности не может быть достигнут. Сервовитная пленка наоборот благоприятно влияет на проявление эффекта Ребиндера (рисунок 20). Рабочие поверхности, которые были размягчены, при трении лучше прирабатываются друг к другу, что приводит к увеличению площади фактического контакта;

– способность частиц к переносу с одной поверхности трения на другую и удержание их электрическим полем в зоне контакта. Обычные элементы, которые подверглись износу, имеют на себе продукты износа, их можно представить как незаряженные частицы окислов, которые в дальнейшем уносятся с поверхности; при этом их действия подобны абразиву, царапают поверхность. При ИП продуктами износа считают частицы меди. Данные частицы обладают пористой поверхностью, которая характеризуется повышенной активностью, что ведет к быстрому покрытию плотным слоем ПАВ. Эти частицы носят названия мицеллы, они обладают электрическим зарядом. Под действием электрического заряда мицеллы скапливаются в зазорах и способны переноситься с одной поверхности на другую, восстанавливая при этом разрушенную сервовитную пленку (рисунок 21). Таким образом, частицы износа сервовитной пленки не удаляются из зоны трения, что приводит к резкому снижению износа;

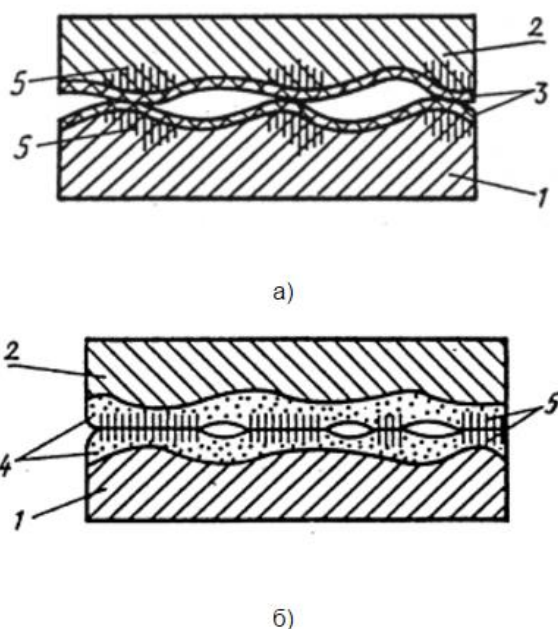


Рисунок 20 – Схема распространения деформации в местах контакта при граничной смазке (а) и при ИП (б): 1- сталь, 2 - бронза, 3 - пленка окислов, 4 - сервовитная пленка, 5 - места деформации.

– образование полимеров материала на поверхности сервоитной пленки. В материал, который служит смазкой, довольно часто добавляют специальные вещества (например, смесь метилового эфира многоосновной кислоты и полимера (полиаминов)), которые при трении способны полимеризоваться и образовывать дополнительный защитный слой. Справедливо заметить, что при использовании граничной смазки полимерные пленки могут получиться лишь спустя некоторое время, из-за присутствия окисных пленок, которые препятствуют процессу полимеризации (рисунок 22). При ИП полимеризация ускоряется, так как сервоитная пленка является катализатором процесса полимеризации и окисные пленки отсутствуют [14].

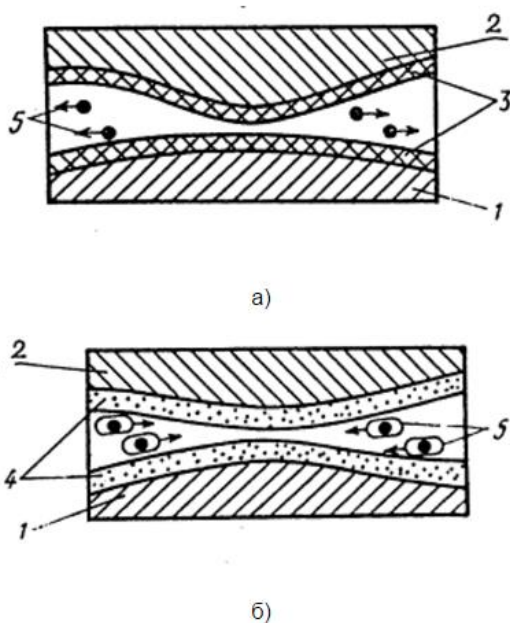
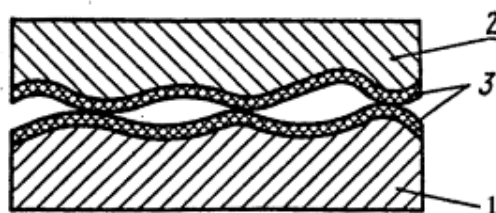


Рисунок 21 – Схема движения частиц износа в зоне контакта при граничной смазке (а) и при ИП (б): 1- сталь, 2 - бронза, 3 – окисная пленка, 4 - сервоитная пленка, 5 - частицы изнашивания.



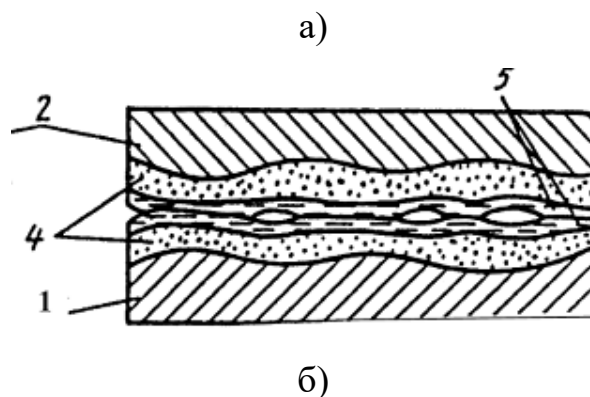


Рисунок 22 – Контакт деталей в присутствии смазочного материала со специальными добавками при граничной смазке (а) и при ИП (б): 1- сталь, 2 - бронза, 3 - пленка окислов, 4 - сервовитная пленка, 5 - пленки полимера.

В последнее время, эффект ИП находит широкое применение в технике. Он используется при трении различных пар, таких как: сталь – сталь, сталь – чугун, чугун – чугун, сталь - порошок материал (металлополимер, стекло, бронза, Al-сплавы). Задачей ученых на сегодняшний день является расширение сферы использования эффекта безизносности за счет оптимизации материала деталей и типа смазочного вещества.

В основе процесса формирования поверхностного слоя при трении лежат следующие эффекты:

- эффект избирательного растворения (коррозионный);
- эффект Ребиндера (адсорбционный);
- эффект Кирендела (диффузионный).

Интенсивность вышеперечисленных физико-химических процессов напрямую зависит от характера напряженного состояния поверхностей, поддающихся трению.

Если рассматривать явление избирательного переноса как сложный процесс, происходящий в зоне трения, то можно сделать вывод, что трибодеструкция смазки в самом начале трения в режиме избирательного переноса кроме решения проблемы ее окисления также приводит к ряду полезных процессов. За счет разрушения молекул смазки на химически

активные и электрически заряженные частицы, приходит в действие электрохимический механизм избирательного растворения анодных участков сплава, что приводит к снижению прочности поверхностного слоя. Из этого вытекают два важнейших следствия: образование металлоорганических соединений; образование вакантных мест в поверхностном слое, которые понижают поверхностное натяжение металла (разжижая его) и способствуют его деформированию.

Образование поверхностной пленки при избирательном переносе, происходит за счет возникновения металлических связей, введенных в контакт поверхностей, они определяют монолитность детали.

Между образованной поверхностной металлической (в данном случае) пленкой при условии ИП и трении могут возникать, как отмечалось ранее, механические и химические связи. Механическая связь характеризуется недостаточной прочностью, так как такой вид связи образован за счет шероховатой поверхности. Для того чтобы возникла химическая связь необходимы благоприятные условия. Одно из условий это существование химического сродства между поверхностью медной пленки и поверхностью тела трения. Вторым условием является наличие достаточной энергии атомов и молекул, которые приводятся в соприкосновение, чтобы могла возникнуть химическая связь.

Чтобы реализовать условия избирательного переноса, необходимы такие воздействия давления, скорости скольжения и температуры, при которых металл будет подвергаться пластической деформации, что в свою очередь приведет к увеличению поверхностной активности и подвижности частиц кристаллической решетки. Все это создает необходимую концентрацию энергии в зоне контакта, которая может обеспечить перестройку поверхностных слоев контактирующих поверхностей, а также более медленные вторичные процессы взаимной диффузии образовавшейся жидкой пленки, рекристаллизации и другие самопроизвольные процессы.



## **1.4 Влияние различных факторов на безызносность узлов трения машин**

При оценке влияния внешних и внутренних факторов на реализацию избирательного переноса металла в узлах трения необходимо в первую очередь учитывать следующее:

- влияние исходного состава и состояния металла;
- величину и характер действующей нагрузки;
- влияние напряжений и окружающих условий на изменение состояния и структуры металла;
- физико - химическую характеристику действующей среды.

При определении влияния величины факторов на процесс реализации эффекта безызносности, следует уделить внимание наличию как внутренних напряжений металла, которые возникают при механическом или тепловом воздействии на деталь при обработке, так и внешних воздействий, прилагаемых к деталям узлов трения при испытаниях или возникающих при работе узлов трения машин. Воздействие разного рода напряжений на сплавы, работающих в смазочных средах, приводит к возникновению ряда факторов, которые ускоряют разрушения поверхности трения металла. К ним относятся следующие факторы:

- фазовые превращения в металле под действием нагрузок на поверхность трения, которые ведут к появлению, как структурной неоднородности, так и внутренних напряжений в нем. Это является причиной усиления электрохимической неоднородности в структуре металла. Возникновение фазовых превращений при действии нагрузок возможно при повышении температуры на поверхности трения;

- понижение прочностных характеристик металла, подвергнутого действию растягивающих напряжений в жидкой среде (масляной, смазочно-

охлаждающих жидкостях и т. п.), содержащей поверхностно-активные вещества;

– повышение внутренней энергии в поверхностном слое металла при приложении к нему растягивающих напряжений. Однако это среднее изменение энергетического уровня металла не показывает местные микроскопические условия;

– возникновение в металле усталостных явлений при воздействии переменных напряжений. На данное явление благоприятно влияет снижение электродного потенциала металла в местах концентрации напряжений и образование местных электрохимических пар;

– обязательное разрушение оксидных пленок, препятствующих реализации избирательного переноса металла. Эти пленки изолируют поверхность металла от воздействия окружающей среды. Что в свою очередь может привести к появлению значительной электрохимической неоднородности поверхности.

При определении факторов, которые оказывают влияние на безызносность узлов трения, также следует учитывать состав и состояние материала, используемого для деталей, работающих в узлах трения. Важную роль в явлении избирательного переноса металла играет среда, воздействующая на металл [13].

## **2 Обоснование технологии избирательного переноса**

### **2.1 Структурные критерии явления избирательного переноса**

В критериях актуального на сегодня технического прогресса в многонациональной России воплощается программная разработка механизации и автоматизации производственного изготовления.

Рациональное формирование технологической оснастки использования позволяет повысить производительность труда и сбавить затраты на изготовление оснастки за счет увеличения использования рабочего отрезка времени продолжительности и повышения надежности.

Внедрение особого технологического оснащения на нефтеперерабатывающих предприятиях коренным образом видением поменяло технологические задачи по использованию оборудования.

Рост использования земляных недр принуждает задуматься об использовании непрерывающегося повсеместно оборудования, в связи с чем и появляется проблема низкого свойства оборудования.

Эффект избирательного съезда с переносом при трении металлов является высоко, структурно - чувствительным и характеризуется сто процентов установленными закономерностями структурных перевоплощений в поверхностных прослойках взаимодействующих металлов. Структурные конфигурации перемены связаны с образованием дающим воспитанием на контактирующих плоскостях сферах пленки меди с специальными характерными атрибутами, формированием пределы раздела меж защитной пленкой меди и главным в основном металлом и определенным специфическим перераспределением легирующих и примесных элементов металлов и сплавов. Изменения в конструкции материала связаны с комплексом набором физико-химических ходов процесса формирования дел в районе в контакте потенциально вероятного справедливого сотрудничества, они являются слишком важным условием избирательного съезда с переносом

и вместе с общепризнанными аспектами (резкое понижение интенсивности износа, включительно до безызноса, и коэффициента трения до тысячных долей) их рассматривают как приоритетные правила явления избирательного сдвига с переносом при трении.

Эффективность употребления технологического оснащения в важной высоте уровня размещаться в зависимости от технического состояния более максимально накладного и трудозатратного конструктивного автомата – силового агрегата или мотора, долговечность и безотказность трудовые обязанности которого определяется климатическо – погодными критериями , нагрузочными, высокоскоростными , температурными режимами работы, особенностью качественного свойства обслуживания и многими другими факторами. Влияние этих обстоятельств увеличивается с снижением температурной среды находящейся вокруг среды. Изучению пусковых износов и сотворению и подготовке действенных сбережений и средств предпусковой подготовительной тренировки посвящено к большое суммарное число работ, выполненных в различных отраслях.

Избирательный сдвиг – это комплекса наборов набор физико-химических явлений на контакте поверхностей при трении, который разрешает осилить ограниченность ресурса трущихся сочленений машин и понизить утраты на трение. Избирательный сдвиг есть особенный вид трения, который обоснован самопроизвольным образование дающим воспитанием в районе контакта неокисляющейся узкой из металла изготовленной пленки с низким противодействием сдвигу и неспособной наклепываться. На пленке появляется в личное время полимерная пленка, которая создает дополнительный антифрикционный слой.

Открытие избирательного сдвига , либо прочими словами "эффекта безызноса", изготовленное социалистическими образованными сотрудниками Д.Н. Гаркуновым и И.В. Крагельским в 1956 году, разрешило скорректировать сложившееся представление о механическом приспособлении изнашивания и трения [15].

Явление избирательного съезда с переносом сначала было названо атомарным схватыванием. После того как явление было не закрыто, ему дали определение: вид фрикционного равноправного сотрудничества, характеризуемый в основном молекулярной составляющей силы трения. Возникает в итоговом продукте протекания на поверхности химических и физиологических ходов процесса формирования дел, приводящих к образовательному воспитанию систем автокомпенсации износа и снижения трения [16].

Образование защитной пленки больше свойственна, в ней происходит диффузионно - вакансионный приспособление деформации, протекающий без скопления дефектных недостатков, характерным усталостным процессам.

Полезным свойством избирательного с переносом съезда является свойство делать работу в средах, где трение при граничной смазке не может отлично делать свои обязанности. Избирательный перенос проявляет умение перестройки защитных конструктивных порядков. Они колеблются зависимо от свойств среды, являющейся начальным вещественной основой для образование дающего воспитания системы снижения износа и трения.

## **2.2 Применение избирательного переноса**

Избирательный сдвиг использован либо апробирован в машинах: летательных аппаратах, автотранспортных средствах, станках, паровых машинах, дизелях тепловозов, прессовом оборудовании, редукторах, оборудовании химической индустрии, механизмах морских кораблей, магистральных нефтепроводах, электробурах, холодильниках, гидронасосах, нефтепромысловом оборудовании.

Избирательный сдвиг в применении используется еще в устройствах и может использоваться для с увеличением повышения с повышением стойкости режущего набора инструментов при сверлении, фрезеровании, протягивании, дорновании и резьбонарезании [17].

Содержание избирательного с переносом съезда отмечают в том, что при трении медных совместных составов о сталь в критериях граничной смазки, исключаяющей окисление меди, происходит явление избирательного с переносом съезда меди из твердого раствора медного сплава на сталь и обратного её с переносом съезда со стали на медной сплав, сопровождающееся уменьшением коэффициента трения до жидкостного и приводящее к значительному снижению износа пары трения.

### 2.3 Механизм образования сервовитной пленки

Название "сервовитная" (пленка) происходит от латинского *servovitte* - спасти жизни, что относится в данном случае к запчастям. На рисунке 23 показан график изменения ширины интерференционных линий меди по глубине образцов  $t$  после трения.

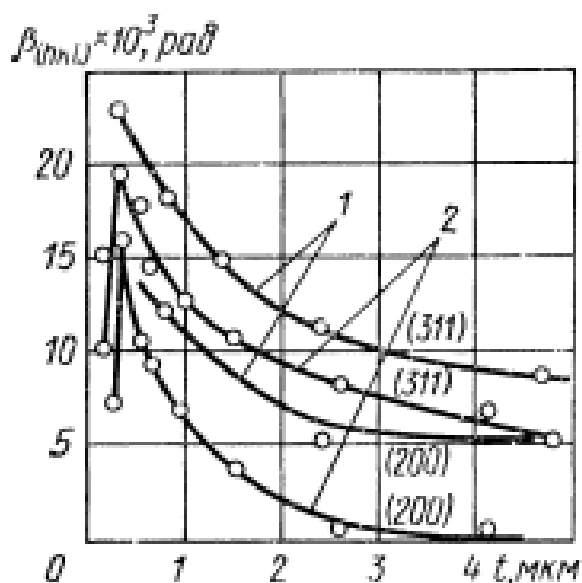


Рисунок 23 - График изменения ширины интерференционных линий меди по глубине образцов  $t$  после трения в течение 0.5 ч и 35,5 ч

На рисунке с представлением показаны итоги для опытов исследовательские изучения конструкции поверхности, обретенные с поддержкою известной методики скользящего пучка. Были опытно изучены образцы из технологической меди и совместных составов на базе меди в последствии трения в купе со сталью 45 на машине 77MT-1 с возвратимо - поступательным перемещением в среде глицерина.

Начинается формирование сервовитной пленки со смазывания бронзы-сталь глицерином. Глицерин является модельной жидкостью, которая легче иных пустит на реализацию режим избирательного съезда с переносом при трении пары бронза — сталь. В 1-й временной промежуток трудовые нагрузки пары происходит растворение поверхности трения бронзы. Глицерин действует как слабая кислота.

Атомы легирующих составляющих бронзы (олово, цинк, железо, алюминий и др.) уходят в смазочный материал, в эффекте в итоге поверхность бронзы обогащается атомами меди. После ухода атомов легирующих составляющих с поверхности бронзы деформация её при трении вызывает диффузионный поток свеженьких по новизне атомов легирующих составляющих к поверхности, которые вслед за тем уходят в смазочный материал.

Таким видением образа, слой бронзы, который деформируется при трении, высвобождается от легирующих элементов и становится в главном из меди. В нем появляется огромное суммарное число не занятых должностей, часть из их нигелирует, образуя поры, которые заполняются молекулами глицерина [18].

Глицерин, как известно, ощутимым образа видением является восстановителем окиси и закиси меди, в следствии этого поверхность трения медной пленки свободна от окисных пленок, она слишком деятельна и годна по возможностям к схватыванию со металлической поверхностью, потому что имеет волей не ограниченные связи. В последствии металлическая поверхность умеренно покрывается тонким слоем меди.

Поскольку слой меди, образующийся на из бронзы поверхности, утончается на основании его сдвига на металлическую поверхность, то происходит последующее растворение из бронзы поверхности. Этот ход процесса формирования дела происходит до тех времен , пока на обеих сферах плоскостей, металлической и бронзовой, не появляется слой меди толщиной 1...2 мкм.

После того как медная пленка покрывает бронзовую и стальную поверхности, молекулы глицерина уже не могут взаимодействовать с бронзой и "вытягивать" атомы легирующих элементов, процесс растворения бронзы прекращается и наступает установившийся режим избирательного переноса [19].

После обрабатывания изделия глицерином сервоитная пленка может создаваться в узле трения сталь — сталь при работе с металлоплакирующими смазочными вещественными истинами , содержащими малые частицы бронзы, меди, свинца, серебра и др. При использовании ЦИАТИМ-201 с добавками порошка меди, бронзы либо латуни, а еще свинца в купе сталь — сталь поверхности подробностей покрываются узкой пленкой, состоящей из железа применяемых порошков.

В процессе работы порошки отчасти растворяются в смазочном материале и в итоге восстановления окисных пленок на их поверхности прочно схватываются со сталью, образуя сервоитную пленку. Сервоитные пленки пластичных металлов имеют пористую конструкцию и в содержании держат смазочный материал. Коэффициент трения при больших нагрузках понижается , а металлические поверхности не изнашиваются. При трении сдвиг поверхностей трения происходит во внутренности образующихся пленок по диффузионно - вакансионному механизму.

При хорошо восстанавливающих свойствах смазочного материала можно для реализации избирательного переноса вводить закись или окись меди. Сервоитная пленка образуется в результате восстановления окислов меди в процессе трения.



В промышленности разработан ряд порошковых твердоспеченных материалов, работающих в режиме избирательного переноса, ее называют шихта. Шихта для твердоспеченного материала готовится из тонко дисперсных смесей порошков ВКЗ, ВК6, ВК8 или из указанных смесей с добавлением литого карбида вольфрама ( $WC+W_2C$ ) релита зернистостью 0,1..0,25 мм в отношении 1:3.

В качестве связующего материала применяют сплавы, содержащие медь (главным образом медно-никелевые), они обладают жидкотекучестью и обеспечивают высокую прочность порошкового материала. Порошковые материалы могут работать в режиме ИП при смазывании нефтью, нефтепродуктами и сточными водами. Сервовитная пленка образуется на поверхности твердых составляющих сплава в результате механического выдавливания мягкой составляющей и ее последующего растворения. Сплавы способны работать в одноименной паре (композиционный материал по композиционному материалу). Такое сочетание материалов работоспособно только благодаря образованию сервовитной пленки, которая обеспечивает смазывание твердых составляющих порошковой композиции. Эти составляющие без пленки меди не могут нести нагрузку, происходят задиры поверхностей [20].

На рисунке 24 показан график изменения коэффициента трения  $f$  в зависимости от нагрузки  $p$  для скоростей скольжения.

Создание условий в узле трения, при которых образуется сервовитная пленка:

- разработка металлоплакирующих смазочных материалов и присадок к ним (добавлением бронзовой пудры в трансмиссионное масло);
- разработка материалов, содержащих металлоплакирующий состав, обеспечивающий в процессе трения формирование сервовитной пленки (добавление латунных поршневых колец);
- разработки конструктивных мероприятий (бронзовые вставки или специальные металлоплакирующие элементы в конструкцию узла трения),

обеспечивающие образование сервовитной пленки (ФАБО- финишная безабразивная обработка поверхностей деталей узлов).

Исследование избирательного переноса в настоящее время ведется с нескольких основных позиций и направлений. К ним относятся:

- дислокационно - вакансионный механизм и координационная трибохимия. Наиболее новым является так называемый вакансионно-дислокационный механизм сдвига при ИП. Избирательный перенос - это вид трения, который в основном как внутреннее трение в спонтанно возникающей металлической пленке, она же в свою очередь образуется на поверхностях трения при определенных сочетаниях конструкционных и смазочных материалов. Эта пленка повышает износостойкость поверхностей многократно и снижает силы трения на один порядок по сравнению с аналогичными условиями трения при граничной смазке. Для нее характерен нелинейный режим взаимодействия вакансий и дислокаций.

- вакансионно - дислокационный механизм сдвига, задаваемый повышенной концентрацией вакансий при избирательном растворении упрочненных участков в процессе трения [21].

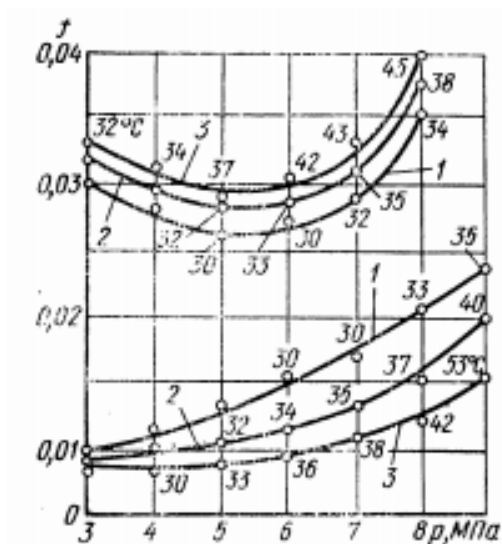


Рисунок 24 - График изменения коэффициента трения  $f$  в зависимости от нагрузки  $p$  для скоростей скольжения

Сервоитная пленка при трении отличается от пленки граничной смазки не только по величинам трения и износа. На рисунке приведены зависимости коэффициента трения  $f$  от давления  $p$  для скоростей скольжения: 0,6; 1 и 2 м/с в режиме граничной смазки и режиме избирательного переноса. На кривые нанесены значения температур для тех точек, в которых измерялся коэффициент трения.

## 2.4 Роль поверхностно - активных веществ

Почти все смазочные материалы содержат поверхностно-активные вещества (ПАВ), что предопределяет возможность пластификации поверхностных слоев материалов трущихся деталей и снижения сил трения. При обычном трении окисные пленки препятствуют проникновению среды (а в месте с ней и ПАВ) к металлу, в результате пластические деформации участков контакта охватывают более глубокие слои (рисунок 25, а).

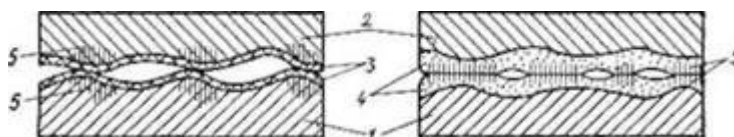


Рисунок 25 - Схема распространения деформаций в местах контакта при граничной смазке (а) и ИП (б):

1 — чугун; 2 — сталь; 3 — окисные пленки; 4 — сервоитные пленки

При ИП окисные пленки отсутствуют, в результате деформируется лишь сервоитная пленка; подповерхностные слои металла деформации не претерпевают (рисунок 25, б). Молекулы ПАВ находятся в порах сервоитной пленки, не имеют возможности удалиться скольжением и внутри пленки по принципу диффузионно-вакансионного механизма, но с малой затратой энергии. Все это снижает трение и изнашивание [22].

В отношении процессов, протекающих в СМ при избирательном переносе, наиболее ценны работы А.С.Кужарова, проведенные на стыке трибологии, трибохимии и координационной химии. Им изучено влияние трения на протекание трибокоординации и обратное ее влияние на условия функционирования, самоорганизации, параметры трения и износостойкость фрикционных систем. Эти исследования были объединены в новое направление теоретических исследований координационная трибохимия. А.С. Кужаровым впервые изучены кинетические закономерности трибокоординации, т.е. трибохимических реакций активных компонентов дМ с поверхностью трущегося металла. Выявлено влияние внешних условий на ее скорость, установлен механизм трибохимических реакций комплексообразования и его отличия от химических реакций в обычных условиях.

Установлено, что на заключение при применении фрикционного нанесения медьсодержащих покрытий оказывают влияние следующие основные факторы:

1. Адгезионная склонность между наносимым материалом и обрабатываемой поверхностью.
2. Элементный, структурный и фазовый состав обрабатываемой поверхности.
3. Конструкционные особенности ТС.
4. Подготовительная (предварительная) обработка.
5. Качество обрабатываемой поверхности (параметр шероховатости, отсутствие коррозии и т.д.).
6. Условия трения и изнашивания.
7. Применяемые в эксплуатации обработанных соединений СМ. Формирование антифрикционных покрытий при ФАБО происходят вследствие протекания физико-химических процессов.

Фрикционное нанесение покрытий при ФАБО (т.е. нанесение при помощи трения) имеет характерные особенности, аналогичные тем процессам,

которые протекают при сварке трением. Такие как; активация поверхности, наличие прижимающих усилий, относительное перемещение поверхностей друг относительно друга. После этого происходит разогрев контактирующих участков, образование ювенильных поверхностей, схватывание и т.д. Благодаря этому материал с натирающего инструмента, изготовленного из пластичного металла переносится на обрабатываемую деталь.

Повышение производительности процесса нанесения покрытия и улучшение его качества в большой степени зависят от интенсивности и полноты протекания стадий образования физического контакта и активации контактных поверхностей [22].

## **2.5 Активация контактных поверхностей**

Современной науке известны четыре канала активации контактных поверхностей: механический, термический, химический и канал, связанный с высвобождением энергии при выходе на поверхность в результате микропластической деформации структурных дефектов, типа: дислокаций, вакансий и межузельных атомов. Эти каналы взаимосвязаны между собой и очевидно, что образование качественного покрытия возможно при их полном задействовании в процессе ФЛ.

Структурные изменения меди на первом этапе работы исследуемой пары определяются внешними параметрами трения, в частности величиной действующего нормального давления. В результате плотность дислокаций, оцениваемая по ширине интерференционных линий, достигает в тонких приповерхностных слоях больших (предельных для данных условий трения) значений, после чего происходит их разрядка, и на рентгенограммах фиксируется уменьшение ширины интерференционных линий. Таким образом, максимум структурных искажений в процессе трения смещается в более глубокие слои, свидетельствуя об изменении толщины сформировавшейся поверхностной пленки. Слои, лежащие под

образовавшейся пленкой, обладают высокой плотностью дислокаций ( $\sim 10^{12}$  см) и обеспечивают упрочненную подложку.

Падение плотности дислокаций в приповерхностном слое обусловлено эффектом пластифицирования (эффект Ребиндера). Продукты деструкции глицерина, действуя как ПАВ, адсорбируясь, понижают свободную поверхностную энергию, способствуя выходу дислокаций в зоне контакта на поверхность. Таким образом, при трении в условиях ИП не происходит накопления структурных несовершенств типа дислокаций, приводящих со временем к усталостному разрушению поверхностных слоев.

С другой стороны, проведенные исследования показали, что период кристаллической решетки медной пленки, сформированной на поверхности, составляет в среднем 3,54 Å при теоретическом значении 3,615 Å. Такое падение периода решетки меди связано с накоплением высокой плотности ( $10^{21}$  ат/см<sup>3</sup>) точечных дефектов (вакансий) в пленке меди, на два—три порядка превышающих число вакансий при обычных условиях нагрева и деформации меди ( $10^{18}$ — $10^{19}$  ат/см<sup>3</sup>).

Эти данные хорошо подтверждаются опытами с последующим нагревом образцов, а также литературными данными, где  $a = 3,54$  Å наблюдалось при быстрой закалке меди из жидкого состояния. Низкое значение периода решетки указывает на чрезвычайно большую «разрыхленность» поверхностных слоев, формирующихся в процессе трения. Плотность металла в самых тонких поверхностных слоях падает почти на 3% по сравнению с отожженным состоянием.

В процессе трения в условиях ИП в поверхностных слоях идут одновременно два процесса: формирование собственно слоя (пленки) со специфическими свойствами и формирование границы раздела между поверхностным слоем меди и подложкой. Результаты специально проведенного эмиссионного микроспектрального анализа показали, что межфазная граница представляет собой слой окислов атомов примесей и основного металла.

## 2.6 Преимущества избирательного переноса

Избирательный перенос это такое явление, благодаря ему есть преимущества, позволяют сократить энергетические и экономические затраты.

1. При изготовлении машин экономить металл (15-20%) за счет большей грузоподъемности (в 1,5-2 раза) пар трения;

2. Увеличить срок работы машин (в 2 раза), сократить период приработки двигателей (в 3 раза) и редукторов (до 10 раз), соответственно сократить расход электроэнергии;

3. В подшипниках качения и скольжения уменьшить расход смазочных материалов (до 2 раз);

4. Повысить КПД глобоидных редукторов с 0,7 до 0,85; винтовой пары с 0,25 до 0,5; увеличить экономию драгоценных металлов (золота, платины, серебра) в приборах в 2-3 раза за счет большей надежности электрических контактов.

При граничном трении основными факторами, определяющими износ поверхностей трения, являются:

— пластические деформации, приводящие к наклепу поверхностей и разрушению микронеровностей;

— окислительные процессы: образующиеся при трении окисные пленки, но и мешают схватыванию и глубинному вырыванию, хрупки и проворно сносятся;

— внедрение отдельных участков плоскости одной подробности в сопряженную плоскость иной, собственно что при скольжении вызывает воспитание неровностей плоскостей и при неоднократном воздействии их разрушение;

— адгезионное схватывание, приводящее к переносу материала одной детали на иную и ужесточение изнашивания;

— наводороживание поверхностей трения подробностей, что ускоряет

изнашивание в зависимости от условий работы трущихся поверхностей более чем на порядок [25].

В связи с указанными причинами оборона от износа обязана быть многофакторной, наверное, в кое-каком согласовании с перечисленными выше явлениями. Подметим, собственно что использование для защиты от изнашивания лишь только смазки но и защищает от схватывания (не очень надежно), но не выручает от обоюдного внедрения неровностей, пластического деформирования, окисления и разрушения окисных пленок и иных необратимых процессов.

Напряжение прижатия инструмента и скорость его движения вдоль обрабатываемой плоскости определяют значение удельной теплоты трения, а значит и температуру плоскостей контакта. Увеличение температуры в локальных поверхностях контакта охарактеризовывает возбуждению поверхностных атомов металлов, участвующих во фрикционном содействии, собственно что упрощает разрушение связей на подобии "Me - O" и гарантирует срабатывание теплового канала активации. Сообразно работам британских научных работников Ф. Боудена и Д. Тейбора тест нагревания при трении области контакта содержит весомое практическое смысл. Прогрессивная урок оценивает процесс взлета температуры на фрикционном контакте как двухстадийный, а как раз, артельный взлет температуры видется как средняя поверхностная жар и локализованные температурные вспышки, вызванные диссипацией энергии на неровностях плоскости трения, и которые накладываются на среднюю поверхностную температуру  $t_{max} = D + всп$  (где  $o$  - средняя поверхностная жар, распределенная по номинальной площади размеренно или же по какому-либо закону;  $всп$ " температурная выходка, рассматриваемая как лишняя над средней температурой [26].

Гипотеза суммирования температур на фрикционном контакте, применительно к работе узлов трения, разработана в исследовательских работах А.В.Чичинадзе и егоучащихся, где вопросы температурной задачи трения рассматриваются с учетом



микрогеометрии настоящих плоскостей контактирующих тел.  
Расплата температурплоскостей трения применительно к нанесению покрытий  
ФАБО дается дальше. Увеличение температуры поверхностных слоев  
вызывает понижение предела текучести и упрощает процесс  
микропластической деструкции. При контактировании металлов  
с различными физико-механическими качествами градиент температур  $do/dt$  и  
градиент механических качеств  $da/dt$  по глубине различны.

### 3 Выбор и обоснование конструкции опорного узла шарошечного инструмента

#### 3.1 Конструкции корпусов долот

Система опорного узла, разработка приготовления и сборки обеспечивают малое осевое движение шарошки сравнительно цапфы лапы, собственно что буквально ликвидирует насосный эффект. Лишнее нажим в маслonaполненной системе ликвидирует попадание абразивных частиц под уплотнения, собственно что гарантирует надежность их работы. Внедрение в предоставленной системы замкового подшипника скольжения разрешило разместить масляный поршневой компенсатор именно в цапфе лапы, потому что отпадает надобность в сверлении отверстия под штифт [27].

Шарошечные долота изготавливаются с цельнолитым либо сварным корпусом. Корпусные конструкции используются для долот диаметром более 394 мм. Долото состоит из литого корпуса 1 с муфтовой присоединительной резьбой 2, вставных лап 4 с цапфами 5, подшипников 6, 7, 8 и шарошек 9. Корпусное долото 1 – литой корпус; 2 – коническая резьба; 3 – сварные швы; 4 – лапы; 5 – цапфа; 6, 7, 8 – подшипники; 9 – шарошки; 10 – центральное промывочное отверстие Лапы 4 закрепляются в корпусе с помощью сварных швов 3. Промывочная жидкость обычно подаётся через центральное промывочное отверстие 10 (рисунок 26). Однако они могут снабжаться и струйными соплами, вмонтированными над шарошками. Секционные долота выполняются с ниппельной присоединительной головкой 4 и состоят, также как и эта головка, из трёх секций, жёстко соединяемых при помощи сварных швов 3. Соединение производится путём сопряжения плоских граней двухгранного угла  $\gamma$ , который составляет обычно  $120^{\circ}$ . Фиксирование граней перед сваркой производится с помощью установочных штифтов, под которые в лапах высверливаются отверстия .

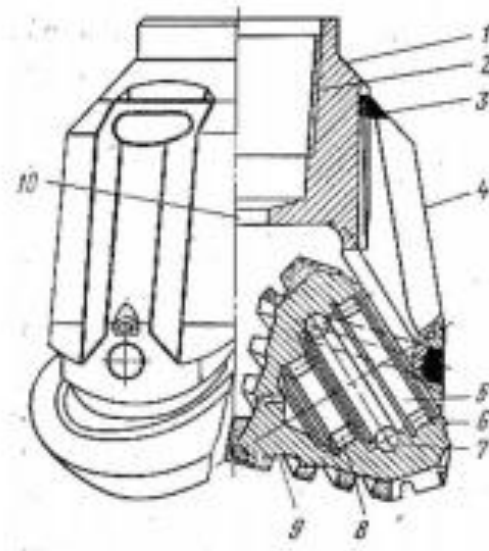


Рисунок 26 - Корпусное долото

Система трёхлопастного долота ЗЛ произведено из корпуса и приваренных к нему лопастей, изготавливаемых из железных поковок. Для соединения с бурильной колонной на головке корпуса наличествует замковая резьба. Трёхлопастные долота выпускаются поперечниками 118-445 мм. Сопло производится из минералокерамики. В гнезде сопло удерживается байонетной шайбой. Торец впускной части сопла герметизируется уплотнительным кольцом из маслoneфtestстойкой резины. В пазы лопастей уточняются твёрдосплавные пластинки (долото на подобии М) или же дроблёные осколки [28].

Обычным эксплуатационным состоянием опорного узла считается работа его при температуре подшипников, не превосходящей 70 С, при недоступности задиров на шейках и плоскости качения опорного ролика, а еще утечки масла из подшипников. Верное состояние опорного ролика сравнительно оси печи контролируется по прижатию упрямого бурта с нижней стороны ролика к упрямому кольцу подшипника без лишнего трения.

При данном промежутке между упрямым буртом верхней шеи ролика и упрямым кольцом не обязан превосходить 10 - 12 мм.

Вертикальный лист стены опорного узла вырезают огневой резкой, пространства реза зачищают и приваривают свежий утолщенный лист. Вертикальный стык со стеной делают на остающейся подкладке. Если диафрагма попадает в зону починки, то ее приваривают к возобновляемому листу сквозь вырез в верхнем поясе. Вслед за тем вырез заделывают накладкой на угловых швах. Толщина накладки равна толщине верхнего пояса. Толщина вертикального свежего листа равна толщине верхнего пояса, но не менее 10 мм. [29].

Определенный вариант организации опорного узла выбирается в результате испытания комплекса по мультипрограммному примеру тест - мониторинговой системы с повышенным объемом буфера записи. В случае если перемена точки заземления комплекса приводит к существенному изменению количества промахов, то подобранная схема сборки ансамбля не обеспечит стойкую (бесперебойную) работу конструкций.

Система упрощает заключение опорного узла, воспринимающего нагрузки при работе шнека. Инжекционный цилиндр содержит некоторое количество зон электронного подогрева с нагревательными веществами на любую зону. Жар цилиндра регулируется термодатчиками, установленными в корпусе цилиндра, и регулируется устройствами. Между зонами подогрева находится кольцевая выточка, в которую сервируется охлаждающая жидкость для создания градиента температур между зонами.

Системы шарошек Шарошки отличаются по количеству образующих конусов, геометрии и типу вооружения. 3-х шарошечные долота оснащаются многоконусными шарошками, на плоскости коих концентрическими рядами (венцами) находится вооружение (зубья, зубки). Венец, находящийся у основания шарошки, называется периферийным. Практически во всех передовых 3-х шарошечных долотах в проточку одной шарошки входит венец

другой шарошки. Это приводит к самоочищению шарошек и предупреждает их сцепление (зацепление по венцам) между собой. Глубину межвенцовых проточек избирают ориентировочно равной высоте  $h$  венца или же зуба и определяют по формуле:  $h = h_1 + b$ , где  $h_1$  – заход венца одной шарошки в межвенцовую проточку шириной, мм;  $b$  – гарантируемый промежуток для сборки долота между верхушкой зуба одной шарошки и поверхностью дна углубления (проточки) иной ( $b = 1,0-3,0$  мм).

Лопастей производятся в облике сошника. В зависимости от метода армирования долота и формы выполнения его режущих составляющих делятся на 2 на подобии: М и МС. Долото на подобии М предназначено для бурения податливых пород и произведено из корпуса, лопастей, вставных твердосплавных штырей и твердосплавных пластинок, устанавливаемых в пазы в теле режущих лезвий лопастей и запаянных припоем. Лопастей исполнены в облике сошника с изгибом лезвия в направлении вращения долота под углом резания  $75^\circ$ . Долото на подобии МС предназначено для бурения мягкосредних пород. Выделяется от на подобии М лишь только наполнением пазов в лопастях не пластинами, а дробленными кусками твердого сплава случайной формы [30].

### 3.2 Организация опорного узла

Опорный узел обязан быть санкционирован в одной из стоек микропроцессора, контроллеров дисков или же месторасположения нулевого блока ОЗУ. В случае если опорный узел специализирован для работы в критериях граничного трения, расплата на крепкость выполняется по контактным напряжениям сжатия аповили на лимитирование относительного удельного давления  $p$  и на предупреждение заедания по относительному аспекту  $p_v$ .

Шарошечные долота – более распространённый вид породоразрушающего инструмента. Эти долота наиболее трудные как по конструкции, так и по технологии их изготовления. В зависимости от количества их рабочих органов они разделяются на разновидности: одно-, двух-, трёх-, четырёх- и многошарошечные [31].

Конструкция опорного узла обязана накрепко укреплять вал и подшипник в осевом направлении. Для предохранения подробностей узла от температурных напряжений обязан быть заранее подготовлен зазор А в осевом направлении, большой потенциальной разности температурных деформаций вала и корпуса. В узлах с радиально-упорными подшипниками таковой зазор не необходим, потому что их устанавливают с подготовительным натягом в осевом направлении.

Долговечность опорного узла шарошек определяется интенсивностью изнашивания поверхностей цапфы лапы, шарошки и тел качения.

### **3.3 Шарошечное долото**

Конструкция опорного узла долот в последнее время претерпевает весомые перемены конфигурации. Долота с раскрытой опорой с течением времени вытесняются долотами с герметизированной маслonaполненной опорой. Теперь, когда улучшение военные снабжения долота разрешило гораздо усилить временной отрезок его службы, собственно стойкость опоры нередко лимитирует долговечность долота. Для роста долговечности долот всё обширнее употребляется герметизированная маслonaполненная опора, состоящая из 2-х подшипников скольжения и замкового.

Особенность кинематики трудовые обязанности шарошки заключается в том, что каждая шарошка участвует в сложном вращательном движении: условно сравнительном движении кругом лично своей оси и переносном вращательном движении кругом оси долота. В итоговом эффекте сложения 2-

ух вращательных движений в почти что каждый часть куска времени длительности отрезка времени шарошка совершает вращение кругом некоторой мгновенной оси с частотой  $w_a$ .

Если моментальная ось вращения шарошки проходит через линию контакта описанного конуса с поверхностью забоя, то взаимная миссия зубцов с забоем происходит без их условного смещения. Если популярна угловая скоростная интенсивность вращения долота  $w_d$ , то угловая скоростная интенсивность вращения шарошки кругом собственной оси равняется  $w_{ш} = w_d / \sin(a/2)$  либо  $w_{ш} = p n / 30 \sin(a/2)$ , где  $p$  — частота вращения долота, мин-1;  $a$  — угол при верху шарошки.

Если моментальная ось пересекается с линией контакта шарошки с забоем, то при вращении шарошки зубцы, удаленные от точки А, будут проскальзывать по забою, изготовляя скол. Скольжение зубцов шарошечного долота ожидается оценочная стоимость коэффициентом скольжения  $k_{ск}$ , который равен отношению суммированной местности площадей, описываемой зубцами долота за один его оборот при их проскальзывании по забою, к площади забоя. Коэффициент скольжения  $k_{ск}$  может изменяться от 0 до 0,15-ть. Увеличение коэффициента скольжения достигается внедрением многоконусных шарошек со смещением осей условно сравнительно оси долота [32].

Таким образа видением, зависимо от приведенных выше конструктивных особенных свойств шарошечное долото возможно отнесено к породоразрушающему инструменту дробяще - скальвающего либо дробящего воздействия. В податливых породах применяют шарошечные долота с высочайшими коэффициентами скольжения, добиваясь этим усиления скальвающего действия зубцов.

Таким видением образа, зависимо от приведенных выше конструктивных особенных свойств шарошечное Важная особенность, которая различает шарошечные долота от лопастных, — то, что с забоем одновременно ведет взаимодействие только маленькая часть зубцов.

Отношение суммы длин зубцов, с выделением направленных по одной образующей на буквально хоть какой шарошке, к радиусу долота именуется коэффициентом перекрытия  $k_p$ . В мягеньких породах используют долота с коэффициентом перекрытия  $k_p = 1,1$ , в породах средней твердости  $k_p = 1,4$ .

Ресурс работы долота определяется не лишь износом военные снабжения, но еще и износостойкостью опоры шарошки. Опора шарошки — весьма только ранимый узел и зачастую именно её недостающий возможный резерв ограничивает продолжительность трудовые обязанности долота на забое.

Опора шарошки подключает некоторое количество подшипников, один из которых шариковый, служащий для закрепления шарошки на цапфе и именуемый замковым, все остальные подшипники качения (шариковые либо роликовые) либо скольжения. После с созданием сотворения герметизированных маслозаполненных опор, обеспечивающих удобные состояния трудовые нагрузки подшипников, долговечность долота получилось повысить в пару раз.

### **3.4 Шифры ГНУ и ГАУ**

Под шифрами ГНУ и ГАУ разработаны две серии долот с герметизированной опорой. Долота серии ГНУ созданы для роторного бурения и бурения с тихоходными забойными движками. В опоре долота серии ГНУ располагаются (от торца шарошки) роликовый подшипник, шариковый "замковый" подшипник и подшипник скольжения. У торца цапфы в наличии есть непреклонный осевой подшипник скольжения, 2-й дублирующий осевой подшипник скольжения введен у внутреннего бурта замкового подшипника.

В опоре долот серии ГАУ роликовый подшипник качения заменен подшипником скольжения. Герметизация опоры имеет облегченную конструктивную структуру. Наибольшую трудность в изготовлении долот



серии ГАУ показывает демонстрируя отыскание вещественных наработок для подшипника скольжения и снабжение высочайшей точности его размеров [33].

По расположению и конфигурации промывочных каналов различают долота с расположенным центрально промывочным каналом и гидромониторные долота с периферийными каналами. У долот с расположенным центрально каналом (цилиндрическим или щелевидным) поток промывочной жидкой среды посылается на шарошки, омывает их и вслед за тем попадает на забой.

Гидромониторные долота имеют каналы, под самый конец которых поставлены сменные металлокерамические либо твердосплавные насадки. Наиболее нередко употребляют металлокерамические насадки с коноидальным либо конусным каналом. Они сделаны для с созданием сотворения направленного течения , который по выходе из долота со скоростной интенсивностью выше 80 м/с устремляется прямо на забой.

Поскольку шарошечными долотами благополучно разбуривают буквально всё породы — от самых мягеньких до особо долговечных, в соотношении с ГОСТ 20692—75 для снабжения больших нормативов бурения в породах с разными физико-механическими характерными особенностями используется в применении обширная в ширину палитра долот. Они с выпуском производятся под шифрами М, МЗ, МС, МСЗ, С, СЗ, СТ, Т, ТЗ, ТК, ТКЗ, К, ОК.

В относительном обозначении долота, помимо шифра местной по району местности внедрения , в направлении показывают число шарошек, номинальный величина поперек долота (мм), конструктивную структуру промывочных каналов и опор шарошек. Центральная промывка обозначается буквой "Ц", гидромониторная — "Г". У долот типов М, МС и С оси шарошек сдвинуты , что предоставляет возможность повысить коэффициент скольжения. Долота типов СТ, Т, ТК, К, ОК имеют шарошки с несмещенными осями. Шарошки у долот типов М, МС и С — самоочищающиеся, т.е. венцы зубцов одной шарошки проходят меж венцами примыкающей по соседству .

Шарошки для долот ТК (частично), К и ОК заправляются резцами из жестких совместных составов (штыри) конусовидной либо полусферической модели содержания. Все долота, имеющие в шифре букву "З" и сделанные для бурения в абразивных породах, имеют шарошки, снабженные оснащением твердосплавными резцами клинообразной модели содержания.

Лапы шарошек производят из самой качественной стали марки 20ХНЗА, а именно шарошки — из стали марок 17НЗМА и 20ХНЗА. Для повышения с увеличением свойства материала шарошек используют методы шлакового переплава, попарно сдвоенного шлакового переплава и т.п.

При сборке долот с негерметизированной опорой ее заполняют графитовой смазкой. Герметизированные опоры заливаются специальной смазкой, содержащей присадки [34].

### **3.5 Преимущества шарошечных долот**

Широкое повсеместное внедрение шарошечных долот обосновано по близости их ощутимых преимущественных достоинств:

- Зубцы шарошки по порядку и только краткосрочно ведут взаимодействие с забоем, что при огромном суммарном количестве числа рабочих составляющих гарантирует огромную долговечность военные снабжения долота;

- Возможность варьирования механическим приспособлением равноправного сотрудничества долот с забоем, что разрешает воплотить в жизнь максимально более действенный способ разрушения горной породы, отсюда широкая палитра типов долот для бурения пород от самых мягких до крепчайших [35].

- Использование опор качения и скольжения позволяет значительно снизить раскручивающий кусок времени, требуемый для вращения долота на забое. Конструктивное решительное заявление опорного узла ригеля гарантирует возможность разворота ригеля условно сравнительно

горизонтальной и вертикальной осей. Другой конечное завершение ригеля шарнирно объединен с мачтой при поддержке горизонтальной оси, на основании чего вертикальная нагрузка от ригеля на мачту передается центрально. Мачта опирается шаровой опорой на подпятник ботинка.

Напряженное положение опорного узла соединения главной и концевой балок характеризуется узловым изгибающим моментом в горизонтальной плоскости от трудовых напряжений перекосов моста. Усилия перекоса возникают в момент запуска и затормаживания моста крана.

Выбор статической схемы опорного узла стропильный строений разрешил максимально более верно подлинно квалифицировать рассредотачивание внутренних трудовых напряжений в элементах плоских рам.

### 3.6. Расчет нагрузок

Исходные данные:

$[p] = 5 \text{ Н/мм}^2$  – радиальная нагрузка на подшипники;

$[pv]$  -  $\text{Н/мм}^2$  – тепловая напряженность подшипников;

$f = 0,1 \dots 0,15$  – коэф. Трения для бронзы;

$d = 20 \text{ мм}$  – диаметр цапфы;

$Q = 7500 \text{ Н}$  - изгибающее усилие.

Момент сил трения в подшипниках:

$$Mm = fpd/2; \tag{1}$$

$$Mm = 0,15 * 5 * (20/2) = 7,5 \text{ Н/мм} = 7500 \text{ Н/м}.$$

Радиальная нагрузка на втулку определяется:

$$R = (Q \cdot \pi d)^2; \quad (2)$$

$$R = (7500 \cdot 3,14 \cdot 0,02) / 2 = 2,35 \cdot 10^2 \text{ Н.}$$

Расчет на статическую прочность. Проверку статической прочности выполняют в целях предупреждения пластических деформаций в период действия кратковременных перегрузок.

Момент сопротивления  $W$  при изгибе:

$$W = \pi d^3 / 32 - bh(2d - h)^2 / 16d; \quad (3)$$

$$W = 3500 \text{ мм}^3.$$

Коэффициенты приведения несимметричных циклов к симметричным зависят от предела прочности материала и находятся в диапазоне:

для углеродистых сталей ( $\sigma_B = 370 \div 750 \text{ МПа}$ ):

$$\psi_\sigma = 0.1 \div 0.2; \quad \psi_\tau = 0.05 \div 0.1.$$

для легированных сталей ( $\sigma_B = 460 \div 1100 \text{ МПа}$ ):

$$\psi_\sigma = 0.2 \div 0.3; \quad \psi_\tau = 0.1 \div 0.15.$$

для стали 45:  $\sigma_B = 610 \text{ МПа}$ ,  $\psi_\sigma \approx 0.15$ ,  $\psi_\tau \approx 0.075$

Коэффициенты запаса:

$$n_\sigma = \frac{(250 \div 340)}{1,585 \cdot 197,3 + 0,15 \cdot 0} = 0,799 \div 1,087, \quad (4)$$

$$n_{\tau} = \frac{(150 \div 200)}{1,585 \cdot 23,2 + 0,075 \cdot 23,2} = 3,895 \div 5,193. \quad (5)$$

$$n = \frac{(0,799 \div 1,087) \cdot (3,895 \div 5,193)}{\sqrt{(0,799 \div 1,087)^2 + (3,895 \div 5,193)^2}} = 0,783 \div 1,064. \quad (6)$$

Запас усталостной прочности явно недостаточен. Для его обеспечения  
МОЖНО:

1. использовать более качественный материал.
2. изменить размеры поперечного сечения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработали опорный узел шарошечного оборудования с использованием избирательного переноса.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проанализировали существующие конструкции опорных узлов шарошечных долот;

- изучили теорию избирательного переноса и дали рекомендации к ее применению для создания узлов скольжения опорных узлов скольжения шарошечного долота;

- разработали конструкцию и предложили опорный узел шарошечного долота с использованием теории избирательного переноса.

В ходе выпускной работы были проанализированы существующие конструкции опорных узлов шарошечных долот, изучена теория избирательного переноса, а также разработана конструкция и опорный узел шарошечного долота с использованием теории избирательного переноса.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Басарыгин Ю.М. Технология бурения нефтяных и газовых скважин : науч. издан. / Булатов А.И., Проселков Ю.М., 2001 г. – 675 с.
2. Вадецкий Ю.В. Бурение нефтяных и газовых скважин: Учебник для нач. проф. образования / Ю. В. Вадецкий. — Москва : Издательский центр «Академия», 2003. — 352 с.
3. ССК. Справочник специалиста по бурению / ЗАО «ССК». – 456 с.
4. Файловый архив для студентов studfiles [Электронный ресурс] : Породоразрушающий инструмент – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/3846240/page:4/>
5. Овчинников В.П. Справочник бурового мастера. Том 2 : Учебно-практическое пособие в 2-х томах / Овчинников В.П. — Москва : Инфра-Инженерия, 2006. — 608 с.
6. Пат. 2351740 Российская Федерация, МПК E21B10/22. Опора шарошечного долота / Н.М. Панин, В.А. Ясагин, Д.Ю. Сериков, В.Ф. Сорокин; заявитель и патентообладатель Н.М. Панин (RU); заявл. 13.09.2007; опубл. 10.04.2009
7. Пат. 2432444 Российская Федерация, МПК E21B10/22. Опора шарошечного долота / В.М. Кононов, Н.М. Панин, А.В. Гавриленко, А.А. Андрианович, А.В. Дроздов; заявитель и патентообладатель Н.М. Панин (RU); заявл. 31.05.2010; опубл. 27.10.2011
8. Пат. 2430232 Российская Федерация, МПК E21B10/24. Герметизированная опора шарошечного долота / Р.М. Богомолов, В.А. Ясагин, Д.Ю. Сериков, Н.М. Панин; заявитель и патентообладатель Н.М. Панин (RU); заявл. 29.12.2010; опубл. 29.12.2010
9. Пат. 2166607 Российская Федерация, МПК E21B10/22. Опора шарошечного бурового долота / Н.В. Грибенников, Л.Н. Грехова, Е.А. Ушакова; заявитель и патентообладатель Н.В. Грибенников, Л.Н. Грехова, Е.А.; заявл. 31.08.1999; опубл. 10.05.2001

10. Пат. 2068069 Российская Федерация, МПК E21B10/22. Опора шарошечного бурового долота / П.Я. Зельцер; заявитель и патентообладатель Восточно - Сибирский научно - исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья; заявл. 15.05.1991; опубл. 20.10.1996

11. Пат. 2107143 Российская Федерация, МПК E21B10/22. Опора шарошечного долота / В.П. Браженцев, А.В. Мнацаканов, А.Н. Гноевых, А.В. Браженцев, А.Е. Кусов; заявитель и патентообладатель В.П. Браженцев, А.В. Мнацаканов, А.Н. Гноевых, А.В. Браженцев, А.Е. Кусов; заявл. 17.12.1996; опубл. 20.03.1998.

12. Буровой портал [Электронный ресурс] : Основные схемы шарошечных долот – Режим доступа: <http://www.drillings.ru/shemy-opor>

13. Радин Ю. А. Безызносность деталей машин при трении : науч. изд. / Ю. А. Радин, П. Г. Суслов. – Ленинград : Машиностроение, 1989. — 229 с.

14. Файловый архив для студентов studfiles [Электронный ресурс] : Породоразрушающий инструмент – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/5737899/page:7/>

15. Д. Н. Гаркунов. ТРИБОТЕХНИКА. ИЗНОС И БЕЗЫЗНОСНОСТЬ

16. Положение о техническом обслуживании и ремонте лесозаготовительного оборудования. - Москва: ЦНИИМЭ, 1979. - 237 с.

17. Положение об агрегатном ремонте лесозаготовительных машин и оборудования. - Химки: ЦНИИМЭ, 1985. - 77 с.

18. К.Ф.Паус „Буровые промывочные жидкости”, Москва „Недра” 1967

19. С.Ю.Жуховицкий „Промывочные жидкости в бурении”, Москва „Недра” 1976

20. Б.И.Воздвиженский „Разведочное бурение” ,Москва „Недра” 1979

21. Спиридонов Б.И. „Разведочное бурение” Методические указания, Томск,издательство ТПУ,1991

22. Прохоров В.Б. Эксплуатация машин в лесозаготовительной промышленности. - М., Лесная промышленность, 1978 г. - 304 с.



23. Суранов Г.И. Техническая эксплуатация лесозаготовительного оборудования: снижение износа деталей машин: Учебное пособие. - Ухта: УГТУ, 2000. - 205 с.
24. Д. Н. Гаркунов. Триботехника, "Износ и безызносность": Учебник. 4-е изд., перераб. и доп. - М.: «Издательство МСХА», 2001. 616 с.
25. Д.Н. Гаркунов. "Триботехника" : Учебник для студентов вузов. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1999. – 336 с.
26. М.А. Рунец. "Справочник автомобильного механика". Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Транспорт», 1976. 272 с.
27. А.С.Волков, Б.П.Долгов „Вращательное бурение разведочных скважин”, Москва, „Недра” 1988
28. В.В. Таболин. "Устройство, эксплуатация, обслуживание и ремонт автомобилей КраЗ" В.В. Таболин, В.М. Круговой, Г.Н. Мамчур. – К. : Техника, 1986. – 208с., ил. – Библилгр.: 207 с
29. А.В.Марамзин „ Бурение геологоразведочных скважин на твёрдые полезные ископаемые”, Ленинград „Недра” 1969
30. „Буровой инструмент для геологоразведочных скважин” Справочник, Москва „Недра”1990
31. А.А.Гребенюк „Технология получения керна”, Москва, „ Недрa” 1973
32. Б.И.Воздвиженский „Колонковое бурение” ,Москва „Недра” 1982
33. Технология и техника разведочного бурения”, Москва „Недрa” 1983.
34. Крылов К.А., Ясашин В.А., Курносоев Н.Е. и др. Технология сборки шарошек бурового долота с центробежно-армированными венцами. В кн.: Вопросы технологии механообработки и сборки в машиностроении.– Саратов: Изд-во Саратовского ун-та.– 1980.– С.33-34.
35. Справочник инженера по бурению геологоразведочных скважин, в двух частях, Москва, „Недра”, 1984

36. Ясагин В.А., Макаров Н.Г., Назаров А.М. и др.  
Совершенствование геометрии вооружения бурильного инструмента для реактивно-турбинного бурения. – 1995.– С.17-20