

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

Институт нефти и газа
Кафедра Технологические машины и оборудования нефтегазового ком-
плекса

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Э.А. Петровский
« ____ » _____ 2017г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

21.03.01 «Нефтегазовое дело»
21.03.01.07 «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов
нефтегазового производства»

**Повышение долговечности замкового соединения бурильной ко-
лонны при многократном свинчивании**

Руководитель _____ к.т.н., доцент В.В. Бухтояров
Выпускник _____ Д.К. Гурьянов

Красноярск 2017

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

Институт нефти и газа
Кафедра Технологические машины и оборудования нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Э. А. Петровский

« ____ » _____ 2017 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Красноярск 2017

Студенту Гурьянову Дмитрию Константиновичу
Группа ГБ13-07 Направление 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
Профиль 21.03.01.07 «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов нефтегазового производства»

Тема выпускной квалификационной работы «Повышение долговечности замкового соединения бурильной колонны при многократном свинчивании»

Утверждена приказом по университету № _____ от _____

Руководитель ВКР В.В. Бухтояров, доцент кафедры Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса

Исходные данные для ВКР: Справочники по оборудованию и технологическим машинам нефтегазового комплекса, справочники и методические разработки по теории восстановления и ремонта агрегатов, описание и руководства по организации работ участков, на которых они применяются, справочники по автоматизированным системам управления, государственные стандарты в области надежности машин и аппаратов нефтегазовых производств, методики и руководства по обслуживанию технологического оборудования нефтегазового комплекса, научные статьи и диссертации по теме ВКР

Перечень рассматриваемых вопросов (разделов ВКР):

1. Теоретико-аналитический обзор предметной области исследования, проводимого в рамках ВКР.
2. Разработка технологических и технических решений по повышению долговечности замкового соединения бурильной колонны при многократном свинчивании.
3. Оценка и расчет показателей повышения долговечности замкового соединения бурильной колонны при многократном свинчивании.

Руководитель ВКР _____ В. В. Бухтояров

Задание принял к исполнению _____ Д. К. Гурьянов

« ___ » _____ 2017 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Повышение долговечности замкового соединения бурильной колонны при многократном свинчивании» содержит 75 страниц текстового документа, 25 формул, 16 рисунков, 5 таблиц, 38 использованных источников.

РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, НИППЕЛЬ, МУФТА, РЕЗЬБА, ТРЕНИЕ, ИЗНАШИВАНИЕ РЕЗЬБЫ, ЗАМКОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, СМАЗОЧНЫЙ СОСТАВ.

Цель работы: Совершенствование методов повышения долговечности замкового соединения бурильной колонны при многократном свинчивании. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Анализ существующих методов повышения долговечности резьб замковых соединений бурильных труб;
2. Формирование комплекса методов исследования;
3. Исследование изнашивания замковых резьбовых соединений при многократном свинчивании-развинчивании;
4. Влияние смазочных композиций на долговечность замковых резьбовых соединений;
5. Влияние свойств рабочей среды на характер изнашивания резьбовых поверхностей;
6. Разработка рекомендаций по повышению износостойкости замковых резьб.

В результате анализа установлена потребность увеличения ресурса замковых соединений бурильных труб на основе совершенствования методов повышения долговечности резьб при сборке-разборке бурильных колонн в процессе спуско-подъемных операций. Предложен состав смазочной композиции, состоящей из графитной (до 20 масс. %) смазки УСсА с медесодержащей добавкой CuSO_4 реализующей избирательный перенос в смазочных многокомпонентных материалах. Определена оптимальная концентрация медесодержащей добавки, равная 0,24 % от массы смазки с содержанием графита до 20 масс. %.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Анализ существующих методов повышения долговечности замкового соединения бурильной колонны.....	8
1.1 Анализ факторов, влияющих на долговечность замкового соединения бурильной колонны.....	8
1.2 Промысловый опыт.....	9
1.3 Избирательный перенос и его реализация в резьбоуплотнительных составах.....	21
2 Исследование изнашивания замковых резьбовых соединений при многократном свинчивании	27
2.1 Теоретические основы процесса исследования изнашивания замковых резьбовых соединений при многократном свинчивании.....	27
2.2 Испытания на четырехшариковой машине трения	31
2.2.1 Выбор смазочного состава и параметров исследуемых смазок.....	31
2.2.2 Установка, образцы и аппаратура	32
2.2.3 Подготовка и проведение испытаний. Показатели и режимы испытаний	33
3 Влияние свойств рабочей среды на характер изнашивания резьбовых поверхностей.....	42
3.1 Разработка медесодержащей добавки, реализующей избирательный перенос в рН среде	42
3.2 Исследования влияния технологических растворов на изнашивание..	47
3.3 Влияние нагрузки на работоспособность резьб.....	50
3.4 Влияние скорости скольжения на работоспособность резьбовых соединений.....	54
3.5 Оценка характера изнашивания от присутствия технологических растворов разной плотности	58
3.6 Влияние промывочных жидкостей на контактное давление разрушения смазочной пленки в резьбовых соединениях	65
Заключение	71
Список использованных источников	72

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. В процессе строительства как вертикальных, так и наклонно-направленных скважин (обычных (ОНС), пологих (ПС), горизонтальных (ГС), наклонных скважин с большим отклонением от вертикали (НСБО)) связующим звеном наземного оборудования с инструментом, применяемым во время различных технологических операций является колонна бурильных труб. Сам процесс проведения спускоподъемных операций при подъеме бурильного инструмента, является критическим условием эксплуатации бурильного инструмента. В зависимости от конкретных горно-геологических и технико-технологических условий бурения скважины величины нагрузок на колонну могут достигать до предельно допустимых значений прочности бурильных труб, что в свою очередь приводит к осложнениям в скважине либо возникновению аварий. В процессе спуска бурильной колонны и смонтированного на ней инструмента, геофизической аппаратуры и внутрискважинного эксплуатационного оборудования, возникают силы сопротивления, препятствующие её нормальному прохождению по стволу скважины, что также является причиной осложнений и возникновения аварий с резьбовыми соединениями.

Целью работы является совершенствование методов повышения долговечности замкового соединения бурильной колонны при многократном свинчивании.

Задачи исследования:

- проанализировать существующие методы повышения долговечности замковых соединений бурильных труб;
- сформировать комплекс методов исследования;
- провести исследования изнашивания замковых резьбовых соединений при многократном свинчивании-развинчивании;
- исследовать влияние смазочных композиций на долговечность замковых резьбовых соединений;

- оценить влияние свойств рабочей среды на характер изнашивания резьбовых поверхностей;
- разработать рекомендации по повышению износостойкости замковых резьб.

1 Анализ существующих методов повышения долговечности замкового соединения бурильной колонны

1.1 Анализ факторов, влияющих на долговечность замкового соединения бурильной колонны

Процесс проведения спускоподъемных операций при подъеме бурильного инструмента, является критическим условием эксплуатации бурильного инструмента. Так из-за наличия сложных геологических факторов, таких как кривизна ствола, необсаженность скважины следствием которых возникают силы сопротивления (трения) движению, создающие дополнительные, кроме собственной массы и удерживаемого оборудования (инструмента) растягивающие нагрузки на бурильные трубы (колонну), буровое оборудование, вышку.

При проведении технологических операций по углублению скважины в условиях, когда бурильная колонна под действием поперечной составляющей от вертикальной нагрузки прижата к нижней стенке ствола скважины, возникают силы трения, как негативный фактор, способствующий возникновению аварийных ситуаций подавляющим большинством которых являются затяжки и прихваты инструмента.

Актуальным и значимым является вопрос обеспечения надежности и безотказности таких ответственных элементов бурильного инструмента, как конические трубные резьбы треугольного (для соединений «НКТ» по ГОСТ 631-75; ГОСТ 632-80; ГОСТ 633-80), трапецеидального (для соединений ОТТМ, ОТТГ, ТБО, НКМ, НКБ, BUTTRESS и др. по ГОСТ 632-80; ГОСТ 633-80; спецификация 5В API) профиля на трубах и в муфтах нефтяного сортамента, замковых резьб для элементов бурильных колонн (ГОСТ 5286-75 и ГОСТ 28487-90).

1.2 Промысловый опыт

На каждом этапе работ предпринимались попытки совершенствования процесса строительства скважины и повышения степени её эксплуатационной надежности.

В области технологии совершенствования были направлены на разработку технологических и организационно-технических мероприятий, включающих в себя: повышение работоспособности замковой резьбы и качества применяемой смазки; рациональную отработку ЗРС в комплекте бурильных труб; применение эффективных противозадирных покрытий после ремонта резьбы; внедрение нормативных показателей отработки ЗРС, соответствующих условиям эксплуатации.

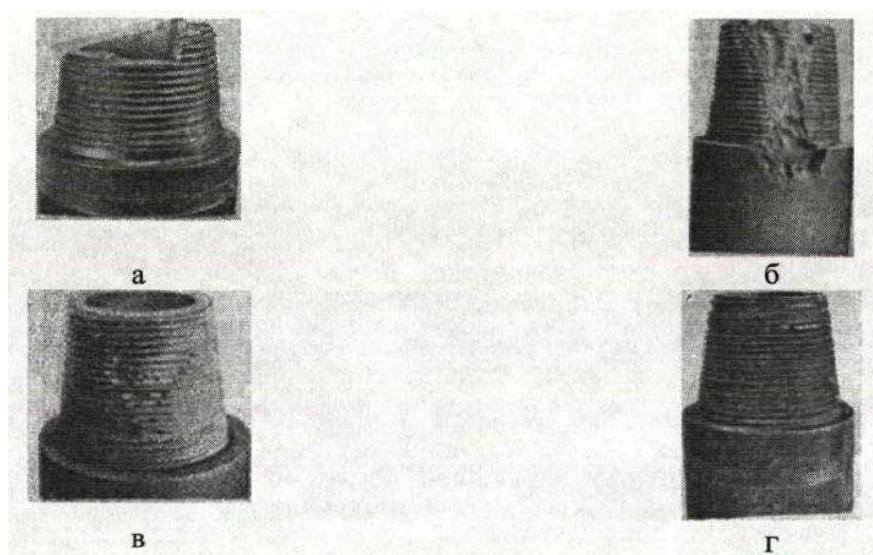
Характерной причиной снижения работоспособности является изнашивание резьбы в замковых соединениях и его вид молекулярно-механического изнашивания. Такой вид изнашивания характерен, например, для трубной резьбы, нарезанной на концах бурильных труб. После навинчивания бурильного замка (ниппеля или муфты) в резьбовом соединении возникают упругие деформации натяга и контактные давления в зоне сопряжения витков резьбы. При циклических изгибах замка контактные зоны резьбы претерпевают усилия смещения витков относительно друг друга. Эти усилия характеризуются трением под напряжением, механизм которого включает пластическое сглаживание шероховатостей в зоне трения. При этом возникает дробление структурообразующих зерен металла; их разрыхление с зарождением субмикрозоров и развитием новых поверхностей, деформирующих первоначальную форму витков, что ведет к снижению плотности натяга резьбы. Появление микротрещин на витках резьбы служит вещественным проявлением усталостной деформации. Возникновение этих трещин приурочено не к дну резьбовой канавки, как это наблюдается при механической усталости, а к линии контакта вершины витка со встречной впадиной. Из-за особенностей геометрии резьбы

эта контактная линия располагается выше дна впадины, являясь концентратором напряжений и аккумулятором структурных дефектов. Развиваясь в микро- и макротрещины, они способствуют отделению от тела трубы резьбового витка и его последующему смятию с изломом и ослаблением плотности натяга резьбового соединения в целом.

Одними из методов направленных на повышение герметичности и ресурса резьбовых соединений являются: централизованные системы качества калибров для резьбовых соединений труб нефтяного сортамента; экспериментальные исследования замковых соединений с изношенной резьбой на усталость и статическую прочность; оперативный контроль степени износа резьбы и отрицательного натяга замкового соединения; повышение сопротивления усталости замковых резьбовых соединений утяжеленных бурильных труб большого диаметра; аналитическая оценка статической прочности замкового соединения с изношенной резьбой; определение ресурса замкового резьбового соединения при многократном свинчивании; применение противозадирных медьсодержащих покрытий замковой резьбы бурильных труб; оптимизация технологии упрочнения замковой резьбы методом поверхностно-пластического деформирования; проектирование высокогерметичных резьбовых соединений обсадных и насосно-компрессорных труб с помощью конечно-элементного анализа; анализ герметичности замкового соединения при статическом нагружении с учетом степени износа резьбы; определение предельной осевой растягивающей нагрузки на бурильный замок из условия герметичности соединения.

Одним из основных эксплуатационных характеристик, определяющих работоспособность ЗРС бурильной колонны, является герметичность, которая существенно зависит от качества сборки замковых деталей и действия внешних силовых факторов (осевого растяжениями изгиба). Качество сборки ЗРС определяется заданным напряженным состоянием упорного торца замковых деталей, полученных в результате машинного свинчивания соединения. Установлено, что по мере изнашивания замковой резьбы для обеспечения заданной

герметичности соединения необходимо увеличивать крутящий момент свинчивания. Для достижения одинаковой герметичности замковых соединений с различной степенью износа резьбы, при прочих равных условиях, соотношение крутящих моментов свинчивания должно соответствовать отношению параметрических коэффициентов.



а – слом ниппеля бурильного замка; б – размыв ниппеля бурильного замка; в – слом витков замковой резьбы ниппеля замка; г – заедание замковой резьбы бурильного замка

Рисунок 1 – Характер разрушения замкового соединения[10]

Из приведенного А. И. Барышниковым анализа аварийных разрушений элементов бурильных колонн очевидно, что разрушения носят, в основном, усталостный характер, происходящий преимущественно в резьбовых соединениях составляющий 60 % всех аварий с бурильной колонной. Анализ аварий с бурильными трубами показал, что из всего количества наблюдаемых разрушений (406 аварий) 23 % произошло по трубной резьбе, 31 % – по соединениям УБТ, 4,5 % – по ниппельной части бурильных замков; и т.д. Практика эксплуатации забойных двигателей также указывает на недостаточную надежность некоторых типов их резьбовых соединений. Так, по данным объединения

«Башнефть», долговечность корпуса и вала турбинной секции турбобуров составила 700...800 ч, а корпуса и вала шпинделям – 450...600 ч.

Им отмечен тот факт, что анализ результатов эксплуатации элементов бурильной колонны за рубежом дает аналогичную картину. Так в компании Norsk-Hydro за год произошло 11 аварий, связанных с разрушением резьбовых соединений бурильной колонны. Следует отметить, что все они произошли в нижней части бурильной колонны ниже ее нейтральной точки при бурении вертикальных скважин. Аварийным разрушениям в основном подвергались УБТ диаметрами 311 и 203 мм, ТБТ диаметром 165 мм и стабилизаторы по ЗРС. Было отмечено, что некоторые разрушения происходили при интенсивной вибрации бурильной колонны при скорости ее вращения близкой к резонансной частоте.

Процентное распределение разрушений по элементам бурильной колонны было следующим: УБТ – 47 %, вибраторы – 16 %, переходники – 16 %, ТБТ – 6 %, стабилизаторы – 6%. Большая часть (85 %) разрушений УБТ происходила по муфтовой части соединений 65/8 Reg УБТ-203. Большинство разрушений происходило в верхней части КНБК в месте сопряжения 203 и 241 мм УБТ, а также ДУБТ.

Проведенный автором анализ условий эксплуатации ЗРС при бурении глубоких скважин в Италии компанией Agip также показал их низкую работоспособность – до 100 разрушений в год. При бурении вертикальных скважин глубиной до 7000 м роторным способом разрушения происходят в нижней части бурильной колонны.

При бурении часто встречаются очень твердые пачки пород, которые разбуриваются со скоростью до 0,3 м/час. Суммарная масса бурильной колонны достигает 150 т, нагрузка на долото при бурении скважин диаметром 216 мм – 12...15 т, скорость вращения – 100... 120 мин⁻¹, давление бурового раствора – до 30 МПа.

Изучению фактических динамических нагрузок, действующих на бурильную колонну в скважине посвящен целый ряд работ [1] также как и исследованию, их влияния на работоспособность резьбовых соединений бурильных труб, УБТ и забойных двигателей [10, 11, 19]. Большинство исследователей указывают на то, что полный спектр циклических нагрузок, действующих на бурильную колонну, чрезвычайно разнообразен, и их точный учет практически невозможен.

На сегодняшний день нет еще единого мнения о преобладающем механизме изнашивания упорных поверхностей замков вообще и бокового профиля резьбы в частности.

Одни специалисты считают преобладающим усталостное изнашивание, другие – абразивное, а третьи говорят о возможном их сочетании с преобладающей ролью одного из них.

Смазочный состав, в которой работает резьбовое соединение, в случае попадания промывочной жидкости, характеризуется коррозионной и абразивной, агрессивностью. Оба эти фактора и каждый взятый в отдельности снижают работоспособность элементов резьбы, определяя при этом износ в процессе работы. Действие этих факторов проявляется разному: коррозионная среда способствует снижению усталостной прочности, абразивность промывочной жидкости приводит к увеличению темпа изнашивания деталей.

Влияние содержания абразива на работоспособность резьбового соединения также велико и увеличивает степень износа порядка на 30 % , как и химическая активность, но при определенных концентрациях. При низком уровне абразивности преобладающим остается процесс усталостного разрушения. В этом случае действие абразивного компонента может играть даже положительную роль, так как абразивные частицы выравнивают поверхность витков резьбы, уменьшая при этом концентрацию напряжений. При высоком (свыше 4. масс. %) уровне абразивности промывочной жидкости абразивное изнашивание преобладает над усталостным. Объемное содержание абразивных частиц в промывочной жидкости, попадающей в смазку, в большинстве

районов бурения обычно колеблется в пределах 0,5...3,0 масс. % по объему, хотя согласно требованиям, предъявляемым к промывочным жидкостям, это число не должно превышать 2,0 масс. % [7]. Эти данные согласуются с данными в работе, где на основании анализа 105 проб резьбоуплотнительных составов трех месторождений Башкирии было получено следующее.

При бурении на воде содержание абразива в пределах 1,1...1,6 масс. % по объему, а при бурении на технологическом растворе – 2,2...3,8 масс. %. На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что концентрация абразивных частиц в промывочной жидкости сравнительно редко достигает 4,0 масс. % и выше и находится в основном в пределах 1,3...3,0 масс. %.

Работа резьбовой пары представляет собой плоско-параллельное скольжение, причем при высоких нагрузках и в присутствии химически агрессивной среды. Данные факторы создают благоприятные условия для возникновения усталостных разрушений [14].

Авторами [11, 34] установлено, что уже после 2...4 циклов свинчивания и развинчивания конусного соединения замков на поверхности наблюдалось возникновение следов износа, оспин и питтинга, что свидетельствует о начале процесса износа и усталостного разрушения.

Износ поверхности резьбы может происходить как по длинной (боковой) стороне профиля резьбы так и по вершине в месте её среза в виде отдельного участка, то есть аналогично осповидному износу согласно классификации Б.И. Костецкого [19]. К этому времени резьба работает уже в среде промывочной жидкости, так как вытеснение смазочного материала с поверхности резьбы происходит через 1...2 цикла свинчивания и развинчивания. С этого момента роль смазки выполняет циркулирующая через бурильные трубы промывочная жидкость.

Таким образом, даже краткое рассмотрение условий работы резьбового соединения и основных видов изнашивания его рабочих поверхностей показывает, что элементы резьбы находятся в очень сложных эксплуатационных условиях одновременного воздействия среды и нагрузки.

На протяжении многих лет проблема повышения долговечности и ресурса конусного резьбового соединения решается различными способами, основные из которых следующие:

- упрочнение рабочих поверхностей трения;
- снижение неравномерности распределения нагрузки по виткам резьбы (боковой стороне);
- создание замковых резьб с упорными уступами новой конструкции;
- увеличение продолжительности нахождения смазочного материала на контактирующих поверхностях.

Упрочнение контактных поверхностей деталей резьб требует соответственно увеличения времени приработки. До полной приработки (то есть в течение нескольких свинчиваний ЗРС) резьба эксплуатируется с отдельными перегруженными витками, что может являться причиной преждевременного выхода резьбы из строя вследствие появления микротрещин усталостного происхождения.

Необходимость обеспечения равномерного распределения нагрузки диктует соблюдение ряда правил сборки и эксплуатации ЗРС.

При изготовлении ЗРС снижение неравномерности распределения нагрузки в какой-то мере может быть достигнуто уменьшением диаметральных отклонений от номинальных размеров, то есть повышением класса точности изготовления.

Равномерное распределение нагрузки можно также достигнуть методом селективного подбора деталей ЗРС. Ясно, что результаты, достигаемые этими способами, определяются технологическими возможностями изготовления и экономическими ограничениями.

Увеличение продолжительности нахождения смазочного материала на поверхностях деталей резьбы является наиболее перспективным.

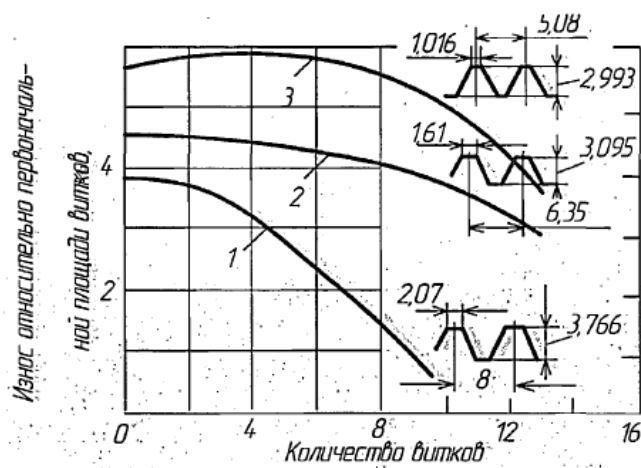
Проведение исследования по созданию герметичного соединения со значительным запасом прочности стыков не изменили положения, так как продолжительность их работы часто ограничивалась продолжительностью одного рейса колонны.

Одной из попыток увеличения времени нахождения смазочного материала в ЗРС явилось применение трудновывываемого пластичного смазочного материала Р-402 вместо графитной смазки. Это дало в отдельных случаях увеличение долговечности замкового соединения в два раза. Однако на нагруженных витках все же имелись разрушения. Автор объясняет влиянием контактно-усталостных явлений под действием высоких знакопеременных нагрузок.

Исходя из выше изложенного, можно сделать вывод о том, что попытки исследователей добиться увеличения времени нахождения пластичного смазочного материала пока не дали существенного увеличения долговечности замкового соединения, хотя исследования в этом направлении продолжаются.

Все эти факты привели исследователей к мысли о том, что одним из перспективных направлений, обеспечивающих постоянное присутствие смазочного материала в опорном замкового соединения является добавка в его состав эффективных наполнителей, то есть использование смазки в качестве «транспортного» средства доставки плокирующих элементов [11, 34, 31].

Зависимость износа (относительно первоначальной площади) витка от его расположения по длине резьбы муфты (от большого диаметра конуса) после 600-кратного свинчивания-развинчивания представлена на рисунке 2.



1 – МКУ122; 2 – 3-122; 3 – 3-121

Рисунок 2 – Износ витков резьбы при разном шаге (P) и высоте профиля (h)[4]

Показанная зависимость характеризует величину износа по виткам резьбы, и становится очевидным что наибольшему износу подвергнуты первые витки заходящие в зацепление, и особенно это наблюдается у резьбы 3-121.

Наблюдение за работой бурильных колонн и анализ промысловых данных о выходе замковых соединений из строя показывают, что основной причиной, приводящей к потере ими работоспособности, является износ и поломки замковой резьбы.

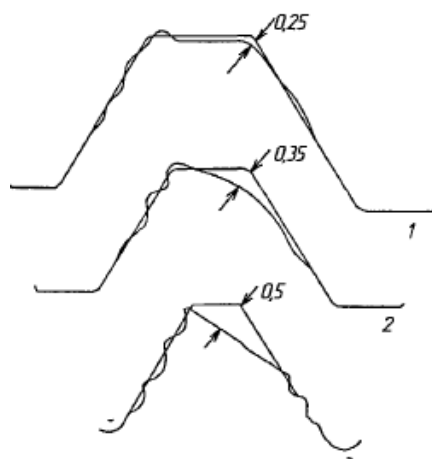
Характерными видами разрушений в результате обследования замковых соединений более 10000 м бурильных труб, пробуривших роторным способом около 100000 м являются сломы 37 %, размывы 21 заедания; 1,5 %, износ 40 %.

Характер износа внутренней замковой резьбы с различными профилями, свинченных 600 раз на стенде «СМС» представлен на рисунке 3.

Зависимость натяга от количества свинчивания резьбового соединения с осевым натягом 3,5 мм представлена на рисунке 4.

Свинчивание резьбы с отклонениями половины угла профилям представлено на рисунке 5.

Представленные модели износа витков еще раз показывают неравномерность действия контактных давлений при большей конусности приводящие к износу одной из боковых поверхностей вершин витка воспринимающий нагрузку от массы бурильных труб. Это же негативное воздействие проиллюстрировано на рисунке 4 изображающее изменение величины натяга от количества свинчивания и развинчивания, , приводящих к уменьшению герметичности стыка в резьбе и как следует из рисунка 5 отклонению половины угла профиля витков резьбы и прогрессирующему износу резьбы находящейся в основной плоскости т.е. на расстоянии 24,5 мм от упорного торца ниппеля (муфты).



1 – МКУ 122Х8Х1:6; 2 – 3-122Х6, 35х1:6; 3 – 3-121Х5, 0,8Х1: 4

Рисунок 3 – Характер износа внутренней замковой [8]

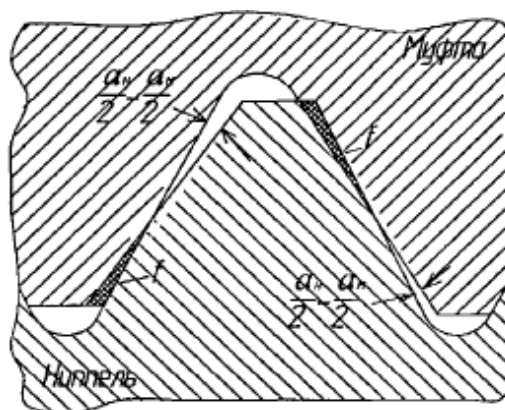


Рисунок 4 – Зависимость натяга от количества свинчивания резьбы [8]

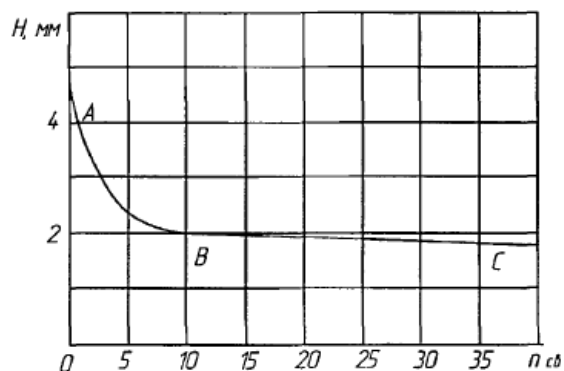


Рисунок 5 – Свинчивание резьбы с отклонениями половины угла профиля[8]

Из приведенных сравнительных данных следует, что износ замковой резьбы превышает все виды нарушений соединений.

Износ замковой резьбы в основном происходит по двум причинам:

- в результате многократных свинчивания и развинчиваний замкового соединения, связанных со спуско-подъемными операциями;
- вследствие относительного перемещения замковых деталей (ниппеля и муфты) во время работы в скважине из-за недостаточного предварительного закрепления их.

В связи с ответственной ролью замков в работе бурильных колонн и массовым их применением существенное значение приобретает исследование износостойкости увеличивающие работоспособность резьб и изыскание рациональных путей ее повышения.

Значение повышения износостойкости замковой резьбы возрастает еще в связи с широким применением в последнее время бурильных труб с приваренными замками. Естественно, что в этих случаях работоспособность замков должна быть не ниже работоспособности свариваемых с ними труб.

Одним из рациональных направлений повышения износостойкости замковой резьбы является надлежащая конструктивная разработка ее элементов, обеспечивающая наименьший износ контактирующих поверхностей резьбы.

В настоящее время, имеется ряд способов повышения долговечности резьбовых соединений: совершенствование конструкции, применение новых материалов, упрочнение элементов резьбы, улучшение технологии её изготовления, а так же посредством введения в смазочные материалы специальных добавок, улучшающие их смазочные способности противоизносные свойства.

При применении последнего способа были достигнуты значительные успехи, как в нашей стране, так и в других странах. Однако применение смазок содержащих в себе многокомпонентный состав требует соблюдения определенных условий таких как: условия хранения, срок годности, условий использования; применения по видам труб нефтяного сортамента, технологии их применения и т.п., а их эффективность резко снижается в резьбоуплотнительных составах с повышенным содержанием щелочи.

Значительные успехи в повышении износостойкости деталей машин непосредственно связаны с использованием последних достижений фундаментальных и прикладных исследований в области трения и износа.

Не перестает быть новым направлением в области повышения износостойкости деталей машин явились исследования открытого Д. Н. Гаркуновым и И.В. Крагельским эффекта плакирования дефектов.

Первые исследования, посвященные реализации эффекта плакирования в узлах трения бурового оборудования, были проведены в РГУНГ им. И. М. Губкина на кафедре «Прикладная механика» под руководством доктора техн. наук А. А. Петросянца. В настоящее время эффект избирательного переноса реализован в жидких смазочных составах на минеральной основе, т.е. в смазках не применимых для резьбовых соединений. Это позволило значительно повысить работоспособность при увеличении износостойкости металлических пар трения бурового оборудования за счет улучшения противоизносных свойств смазок.

В работах ряда авторов прослеживаются суждения, что качество применяемого бурового раствора не оказывает существенного влияния на ресурс замковой резьбы. Так буровой раствор, составленный на основе бентонитовой

глины, а также утяжеленный (баритом) глинистый раствор не снижает ресурса, а повышенное содержание частиц (песка) в растворе или в используемой смазке до 7 % уменьшает наработку резьбы не более чем на 30 %.

Однако наибольшее распространение в практике бурения газовых и нефтяных скважин получили глинистые промывочные жидкости, которые в большинстве своем являются щелочными. Между тем до сих пор остается актуальной реализация эффекта избирательного переноса в рН среде. Так же требует дополнительного изучения влияние физико-химического состава глинистого раствора, на износостойкость тел скольжения, в практически применяемом диапазоне щелочности.

В связи с этим представляет большой научный и практический интерес проведение исследований по выявлению закономерностей образования условий для реализации избирательного переноса в пластичной смазке, что позволит повысить работоспособность элементов резьбы замковых резьбовых соединений бурильных труб. Выявление этих закономерностей даст также возможность разработать рекомендации по реализации эффекта избирательного переноса в различных пластичных смазках в т.ч. в щелочных технологических жидкостях.

1.3. Избирательный перенос и его реализация в резьбоуплотнительных составах

Одним из способов, повышающих долговечность узлов трения, который находит в последнее время все более широкое применение, является эффект избирательного переноса, открытый учеными И.В. Крагельским и Д.Н. Гаркуновым. Избирательный перенос – это вид фрикционного взаимодействия, характеризующийся системой автокомпенсации износа понижения трения в результате протекания на поверхностях химических и физико-химических процессов [8].

Сущность этого явления заключается в образовании тонкого смазочного слоя меди на стальной поверхности пары трения «сталь – медесодержащий материал».

Избирательный перенос представляет собой сложную совокупность механических, физических физико-химических процессов, протекающих на трущихся поверхностях, так и в смазочной среде первоначальная трактовка природы указанного явления основывалась на атомарном механизме переноса вещества [8]. При этом предполагалось, что поверхностный слой медного сплава при трении по стали избирательно растворяется вследствие ухода части ионов легирующих элементов в смазку. В дальнейшем ионы меди, осаждаясь на поверхности стали, формируют самовосстанавливающуюся пленку меди, обеспечивающую значительный положительный градиент механических свойств.

Согласно другой выдвинутой теории [31] для возникновения избирательного переноса необходимо, чтобы на поверхности трения происходили окислительно-восстановительные реакции. Эти реакции активируются при трении, в результате происходит избирательное взаимодействие легирующих элементов медного сплава со смазочной средой. Из медного сплава избирательно растворяются в глицерине такие элементы, как цинк, олово, свинец. При этом поверхность трения детали из медного сплава обогащается медью, то есть основой такого трактования избирательного переноса служат электрохимические представления о его природе [31].

В работе изучалось влияние водорода на избирательный перенос. Показано, что при трении в глицерине среда из кислой превращается в нейтральную (водородный показатель глицерина $pH=6$, отработавшего глицерина $pH=7,1$). При испытании образцов в масляной ванне сравнительно быстро реализуются характерные признаки избирательного переноса, но спустя некоторое время следы переноса исчезают. Это связывается с изменением кислотности среды и увеличения её водородосодержания.

Дальнейшее изучение указанного явления привело к обнаружению ряда новых эффектов, связанных со структурными изменениями в поверхностном

слое, физико-химическими превращениями в смазочной среде, в частности, образованием ПАВ, полимеризацией на фрикционном контакте, образованием комплексных соединений с ионами легирующих элементов [8]. Так, в результате исследований поверхностного слоя медного сплава было выдвинуто предположение о его особом квазисжиженном состоянии, характеризующимся нарушением в кристаллической решетке металла или сплава в результате изъятия части атомов.

На основании дальнейших исследований [8] было сделано предположение о возможности не только атомарного, но и коллоидного переноса вещества при трении в условиях избирательного переноса. При этом возможной причиной переноса предполагалось существование электрического поля в зазоре между элементами пары трения.

Исследование физико-химической картины процесса избирательного переноса и его закономерностей привело к пересмотру ранее установившихся взглядов на многие вопросы в области трения, изнашивания и смазки. Раньше смазочный материал рассматривался как защитный чехол по отношению к твердому телу. Теперь же считают, что он должен разрушать поверхностный слой материала, превращая его в квазижидкое тело. Если раньше считалось, что наилучшим результатом является режим окислительного трения, то в настоящее время установлено, что безокислительное трение превосходит его по многим показателям [8].

В поверхностном слое меди, создаваемом при избирательном переносе, который вследствие восстановительной среды освобожден от пленок окислов, практически отсутствуют дислокации, то есть зародыши, могущие создавать концентраторы напряжений. Образовавшийся медный слой не уносится из зоны контакта, а переходит с одной поверхности на другую, что и придает паре трения высокую износостойкость. Отмечено также, что после образования медной пленки площадь трения увеличивается более чем в 10 раз, снижается

поверхностная шероховатость за счет заполнения микронеровностей тонкодисперсными частицами меди и, как следствие, снижение контактных давлений [8]

Рядом исследователей было установлено [8], что питтинг поверхности при качении связан с неровностями поверхности трения, а снижение поверхностной шероховатости до толщины масляного слоя может привести к четырехкратному повышению несущей способности контакта.

В настоящее время избирательный перенос осуществлен при трении стали по бронзе, стали по стали, стали по резине, по чугуна и др. [31] Это позволило замедлить развитие процесса усталостного разрушения в парах трениями повысить их износостойкость в 2,7...3 раза, а величину критических удельных нагрузок в 1,7 раза.

Применительно к буровому оборудованию средой, в которой происходят физико-химические процессы на поверхности трения, являются смазки и в меньшей мере промывочные жидкости.

В настоящее время в качестве среды, в которой реализуется избирательный перенос, используются различные технологические жидкости и в частности буровые промывочные растворы. В результате исследований, проведенных в РГУНГ им И.М. Губкина, было установлено, что избирательный перенос реализуется в высокоминерализованных буровых растворах (ВМБР) и растворах на углеродной основе [8, 31].

Реализация эффекта избирательного переноса как в стендовых, так и в промышленных условиях, даже при 3 %-м содержании абразива в промывочной жидкости, позволила увеличить к примеру долговечность опоры долота в 1,6 раза. Изнашиваемые элементы опоры долота были покрыты тонким (1,0...1,5 мкм) слоем медной пленки [31].

Эффект повышения долговечности пары трения, был получен в высокоминерализованных буровых растворах при добавлении в них 0,01 масс. % сернокислой меди (CuSO_4) по объему. Эффективное действие этой добавки ис-

следовано в паре трения «резина-металл» на примере уплотнения штока бурового насоса. Здесь также было получено более чем двукратное увеличение долговечности [31].

Результаты последующих лабораторных исследований на машине трения СМТ-1 по схеме «ролик-колодка», позволили установить факт значительного уменьшения износа [8].

Однако большой объем применения в практике бурения имеют глинистые промывочные жидкости. Поэтому представляет значительный интерес получение избирательного переноса именно в этих жидкостях. Представленные выше результаты исследований нельзя использовать в случае применения буровых растворов, так как в отличие от вышеназванных, глинистые растворы в своем большинстве щелочные, то есть $pH > 7$.

Попытка реализовать режим избирательного переноса для пары трения ВК6 – медьсодержащий сплав (бронза, латунь) при скорости скольжения 7,3 м/с и нагрузке 0,39 МПа не дало положительного эффекта [31]. В качестве среды использовался 10 масс. % едкого натра.

Однако этот результат не дает окончательного ответа на вопрос о возможности реализации избирательного переноса в пластичных смазках.

Из приведенного анализа имеющихся литературных данных о реализации избирательного переноса в смазочных материалах можно сделать вывод о том, что избирательный перенос реализован в жидких смазках и в настоящее время отсутствуют систематические исследования по его реализации в пластичных смазках.

Вместе с тем исследования с целью реализации избирательного переноса в смазке с добавлением щелочных растворов представляют несомненный научный и практический интерес.

Выводы

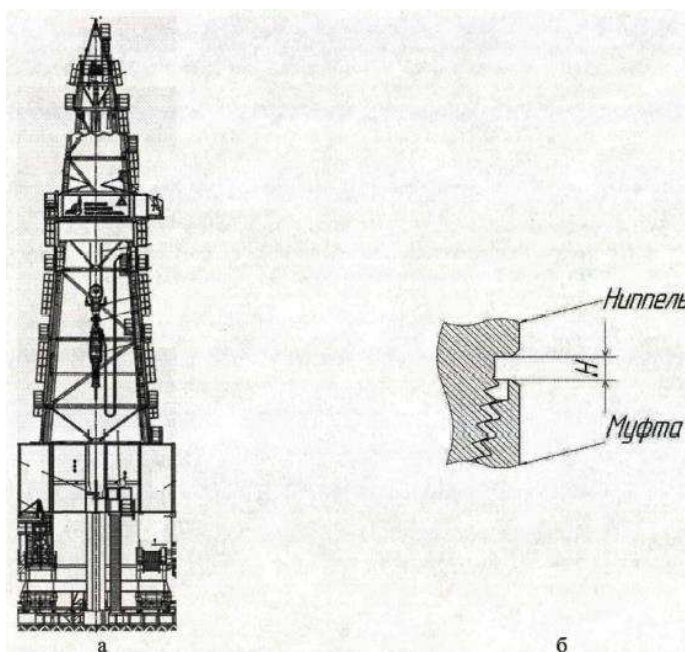
С учетом имеющихся данных выявлено, что факторами, влияющими на долговечность ЗРС являются: незакрепленное или чрезмерно затянутое соединение; коррозия, вызываемая присутствием агрессивных веществ; изгиб труб в результате чрезмерной нагрузки; вибрации или вертикальное колебание КНБК; высокое напряжение труб при работе во время прихвата; превышение нагрузок на соединения; повреждение уплотняющих поверхностей соединений; превышение крутящего момента во время бурения.

Факторами изнашивания замковых резьб являются: особенности конструктивного исполнения резьбы; напряженно-деформированное состояние ЗРС, обусловленное величиной вращающего момента, прикладываемого в процессе его свинчивания; несоответствие антифрикционного уплотнительного состава (резьбовой смазки); частота спускоподъемных операций; перекосы при свинчивании; удельная нагрузка от массы бурильных труб.

2 Исследование изнашивания замковых резьбовых соединений при многократном свинчивании

2.1 Теоретические основы процесса исследования изнашивания замковых резьбовых соединений при многократном свинчивании

Исследования процессов изнашивания ЗРС при многократном свинчивании-развинчивании производились на полномасштабном буровом стенде-скважине (рисунок 6, а). Исследование заключалось в измерении относительной высоты посадки муфты на ниппель при свинчивании замка наворачиваемой бурильной свечи, входящей «с навеса» в муфту колонны бурильных труб, удерживаемых на роторе, с некоторой просадкой «Н» (рисунок 6, б). Суть метода заключается в определении износа вершин профиля резьбы и уменьшающейся их площади по уменьшению величины «Н».



а – буровой стенд скважина; б – схема взаимодействия витков резьбы при износе;
Н – параметр просадки

Рисунок 6 – Свинчивание замковых деталей на стенде-скважине[9]

Определение количественных показателей ресурса замковой резьбы выполнялось с учетом исследований В. И. Семина

$$S_{\Sigma} = \frac{\frac{G}{g \cdot l} + \frac{H_{скв}}{g \cdot l}}{2} \cdot \frac{H_{скв}}{g} = \frac{H_{скв} (H_{скв} + G)}{2g \cdot l \cdot G}, \quad (1)$$

где S_{Σ} – общее число свинчиваний при бурении одной скважины;

G – проходка на долото, м;

$H_{скв}$ – глубина скважины, м;

l – длина бурильной трубы, м;

g – число труб в бурильной свече.

Среднее число свинчиваний, приходящееся на одну свечу

$$S_{cd} = \frac{S_{\Sigma}}{g \cdot l} = \frac{H_{скв} + G}{2G}, \quad (2)$$

В расчете на один замок

$$S_1 = \frac{H_{скв} + G}{2g \cdot G}, \quad (3)$$

Время (t), необходимое для свинчивания соединения

$$t = \frac{m}{\omega}, \quad (4)$$

где m – число оборотов полного свинчивания ЗРС;

ω – угловая скорость свинчивания, c^{-1} .

После расчета количественных показателей ресурса ЗРС вычислялась интенсивность изменения критерия H_0 , в зависимости от конструктивных параметров, ЗРС определяемых с учетом методики А.И. Барышникова:

Количество витков в зацеплении

$$n_B = \frac{(0,463 \cdot F_H + 1382)}{2 \cdot \pi \cdot R_p} . \quad (5)$$

Длина резьбы по винтовой линии вступившей в контакт на определенном этапе свинчивания соединения

$$l_{\text{в.л.}} = \frac{\pi}{P_p \cdot K(d_p^2 - d_{p1}^2)} . \quad (6)$$

Тогда на произвольном этапе свинчивания имеем

$$l_{\text{в.л.}} = \frac{\pi}{2 \cdot P_p \cdot K} \cdot [(D_x - h_p + K \cdot P_1 \cdot m)^2 - (D_x - K \cdot l_{\text{в.}})] . \quad (7)$$

Суммарная длина витков резьбы, мм

$$l_{B.c.} = 0,466 \cdot F_H + 1382 . \quad (8)$$

Длина винтовой линии резьбы

$$l_B = 2 \cdot \pi \cdot R_p \cdot n_B . \quad (9)$$

Средний радиус резьбы

$$R_c = \frac{\pi}{2 \cdot P_p \cdot K} \cdot (d_{cp}^2 - d_3^2) . \quad (10)$$

Влияние центробежных сил на величину наработки ЗРС

$$F = (l_{CB} \cdot \text{Cos}\alpha) \cdot \omega , \quad (11)$$

где $\text{Cos}\alpha$ – угол прогиба наращиваемой свечи.

Интенсивность изменения критерия Н₀, от массы свечи

$$K_u = \frac{H_0}{m_{CB}} , \quad (12)$$

где m_{CB} – масса наращиваемой свечи;

H_0 – расчетное значение критерия работоспособности для новой замковой резьбы, изготовленной по ГОСТ 50864-96 [40], мм.

$$H_0 = \frac{2 \cdot h_p}{K} , \quad (13)$$

Тогда относительная высота посадки резьбы определяется из выражения

$$C_n = \frac{H_0 - H}{H_0} \cdot 100\% ,$$

где H – замеренное значение величины Н₀ , мм.

2.2 Испытания на четырехшариковой машине трения

2.2.1 Выбор смазочного состава и параметров исследуемых смазок

Как уже было сказано выше основным методом повышения долговечности замковых соединений считают применение различных пластичных смазок, противостоящих полному вытеснению из резьбовых зазоров при свинчивании и снижающих коэффициент трения на контактных поверхностях резьбы в условиях высоких контактных давлений.

Из отечественных смазок наиболее распространенными являются смазки УСсА (ГОСТ 3333-80/2010) [39], Р-402 (ТУ 0254-009-56/94358-2002) и РУС (ТУ 0254-005-54044229-02).

Смазка графитная УСсА – общего назначения, антифрикционная, рабочий диапазон температур от минус 20 до 60 °С. Рекомендована для резьбовых соединений, представляет собой высоковязкое нефтяное масло, загущенное кальциевым мылом с добавлением 1СН-15 масс. % графита. Текущая цена на рынке 30-40-50 руб. за 1 кг.

Смазка Р-402 представляет собой смесь нефтяных масел (типа СУ – 9 масс. %) и кремнийорганической жидкости (21,2 масс. %), загущенную гидратом окиси лития (0,3 масс. %), стеариновой-кислоты (4,3 масс. %) и стеаратом аммония» (0,7 масс. %). В качестве наполнителя смазка включает графитовый порошок (20 масс. %), свинцовый порошок (28 масс. %), цинковую пыль (12 масс. %), медную пудру (4 масс. %). Относится к резьбоуплотнительным смазкам, обладает антизадирными свойствами, рабочий, диапазон температур от минус 30 до 200 °С. Водостойкая, токсичная. Текущая цена на рынке 135 руб. за 1 кг.

Смазка РУС-1 представляет собой смесь основного жирового компонента смазки (46 масс. %), порошок политетрафторэтилена (15 масс. %), аморфный графит (39 масс. %), не содержит металлических наполнителей. От-

носится к резьбоуплотнительным смазкам, обладает антизадирными свойствами, допускается применять в т.ч. на месторождениях, в продукции которых содержится сероводород и двуокись углерода. Рабочий диапазон температур от минус 50 до 200 °С. Текущая цена на рынке 230 руб. за 1 кг.

Из зарубежных рассматривается появившаяся на российском рынке смазка торговой марки Jet-Lube NCS-30ECF (made in UK). Изготовлена на синтетической основе с комплексным загустителем (Calcium Sulphonate Complex base) представляет собой полутвердый продукт с наполнителем из химически инертных волокон, с противозадирными и противоизносными присадками, не содержит металлических включений, высокоадгезивная, биоразлагаемая, нетоксичная. Рабочий диапазон от минус 23 до 260 °С, устойчива в солевом растворе (750 часов в 20 масс. % раствора NaCl). Текущая цена на рынке 270 руб. за 1 кг.

2.2.2 Установка, образцы и аппаратура

Выбор установки производился по принципу физического моделирования, предполагающего возможность создания высоких контактных давлений, соответствующих скоростей, воспроизведения ведущего вида изнашивания, а так же конструктивными особенностями того узла, для которого предназначена смазка.

При исследовании различных смазок в условиях граничной смазки в настоящее время наибольшее распространение получили:

1. Испытательная машина Тимкина, в которой рабочими элементами служат плоская поверхность неподвижного бруска и вращающееся кольцо (линейный контакт);

1. Машина Амслера – рабочие элементы – два прижатых друг к другу ролика (линейный контакт);

2. Машина Амслера с разъемными вкладышами прижатых к вращающемуся валу (контакт по площади);

3. Четырехшариковая машина, в которой шарики установлены в виде пирамиды (точечный контакт). Ранее проведенные исследования, отмечающие особую сложность режима при граничной смазке, показали, что только у машины с точечным контактом может быть получено относительное соответствие результатов, оцениваемое по принятым критериям. На машине с точечным контактом предпочтение отдается схеме с использованием шариковой пирамиды .

Учитывая вышесказанное, была выбрана четырех шариковая машина (ЧШМ) марки «Seta – Shell».

При разработке рецептур новых добавок к смазочным материалам, ввиду малой изученности вопроса, необходимо проводить комплексные исследования.

Под комплексными исследованиями имеются ввиду схему испытаний в режиме трения скольжения. Согласно данной схеме трения, скольжения три нижних шарика закрепляют в чашке неподвижно. Способ закрепления не допускает их проворачивания в ходе испытаний.

При исследовании использовалась разработанная и описанная в подпункте 2.2.2 данной работы методика испытаний на четырехшариковой машине трения» ЧШМ в соответствии с ГОСТ 9490-75 [42].

Для замера величины рН исследуемых жидкостей применялся иономер универсальной марки ЭВ-74 ИОТ-013-2010.

2.2.3 Подготовка и проведение испытаний. Показатели и режимы испытаний

Перед началом каждого испытания все детали, с которыми соприкасается исследуемая среда во время испытаний (чаша с деталями крепления нижних шариков и детали крепления верхнего шара в шпинделе); промывали бен-

зином и просушивали на воздухе. Шары, применяемые при исследовании, промывали несколькими порциями бензина до тех пор пока растворитель не оставался прозрачным, и просушивали на воздухе.

С целью получения шаров с диаметром в пределах установленного допуска производился их селективный отбор. Для этого измерялся диаметр шаров: в трех взаимно-перпендикулярных, направлениях при помощи индикаторной скобы, оснащенной индикатором часового типа, с ценой деления 0,001 мм (ГОСТ 11098-75).

Предварительно контролируемый размер на скобе устанавливался: при помощи плоскопараллельных концевых мер длины. Измеренный диаметр определялся как максимальное показание индикатора при перемещении шара в направлении перпендикулярном осям измерительных поверхностей скобы. Шар считается годным, если во всех трех направлениях значения его диаметра укладываются в поле допуска. В противном случае шарот бракуется.

Показателем противоизносных свойств, в случае трения качения, является трение до появления усталостного разрушения шаров. Учитывая, что разрушение шаров происходит вследствие усталостных явлений физически более обоснованной характеристикой работоспособности материала шаров является число циклов нагружения. За цикл нагружения условно принят один оборот шпинделя, то есть его кинематический цикл, так как он совпадает с рабочим циклом любой точки дорожки качения верхнего шара. За один цикл нагружения точка дорожки, качения верхнего шара вступает в контакт с тремя нижними шарами, что согласовывается с ранее проведенными исследованиями [8].

$$N_y = \omega \cdot \tau, \quad (14)$$

где ω – угловая скорость вращения шпинделя рад·с⁻¹;

τ – время работы до наступления усталостного разрушения, с.

В случае трения скольжения, то есть режим граничной смазки, показателями смазочной способности нами принято среднее контактное давление в зоне трения, при котором смазочная среда обеспечивает нормальную работу узла трения ($f_T < 0,2$).

Выбор величины коэффициента трения ($f_T < 0,2$) для суспензий как показателя, характеризующего момент разрушения смазочной пленки тщательно обоснованы А.С. Чехловым на основании исследований А.П. Рабинцера и А.Н. Килиновской для смазочно-охлаждающих жидкостей, а также подтверждаются данными И.В. Крагельского и работой И.Л. Гриновского.

Предварительные исследования показали, что повышение нагрузки соответствующей коэффициенту трения ($f_T > 0,2$) ведет к схватыванию, заеданию и, как следствие, к катастрофическому износу узла трения.

Выбор показателей и режимов испытаний определился задачами исследования и основывался на результатах предварительно проведенных опытов.

Исследование влияния нагрузки на питтинг показало существование обратной зависимости между осевой нагрузкой и временем до его наступления. В связи с большой продолжительностью опытов в режиме качения, обнаруженной при предварительных экспериментах, нагрузка была принята $0,6 \cdot 10^3$ Н.

Частота вращения верхнего шарика, зафиксированного в патроне, равнялась 1475 мин^{-1} . Система нагружения обеспечивала создание осевых нагрузок от 60 до $6 \cdot 10^3$ Н включительно. Нижняя граница нагрузок определяется весом коромысла, на которые навешиваются грузы.

Испытание, как в режиме трения качения, так и при скольжении, состояло из серии опытов. Каждый опыт проводили на новой пробе испытываемого раствора и с четырьмя новыми шариками. Для проведения испытания на качение один из четырех подготовленных шаров закрепляли в шпинделе машины, а остальные три устанавливали в чашке. Шары, установленные в чашке, заполняли испытуемой смазкой так, чтобы они были полностью покрыты ею. Затем

устанавливали чашу с испытываемым раствором в машину, прилагали заданную нагрузку и включали электродвигатель одновременно с секундомером. Продолжительность исчисления от момента, включения до момента выключения электродвигателя при трении качения связано с началом появления усталостного разрушения (питтинга) на дорожке качения. При появлении первых признаков усталостных выкрашиваний резко возрастает уровень вибраций, воспринимаемых чашей. Датчик, вибрации установленный на чаше, передает сигнал на релейный усилитель, отключающий электродвигатель установки.

В отличие от испытаний при трении качения при скольжении три нижних шарика неподвижно фиксировали в чаше. Нагружение узла трения производили ступенчато, с интервалом в 10 секунд в течение минуты с записью коэффициента трения « f_T ». После окончания каждого испытания узла трения сливали исследованную жидкость и обтирали шары тампоном. Затем измеряли диаметры пятен износа каждого из трех нижних шаров в направлении скольжения и перпендикулярно ему в плоскости, перпендикулярной оптической оси объектива микроскопа. За результат измерения принимали среднее арифметическое значение пятен износа нижних шаров в двух направлениях.

В соответствии с законом Герца среднее контактное давление в месте контакта, в конце испытаний, определялись по формуле

$$\sigma_{cp} = 0,67 \cdot \sigma_{max}, \quad (15)$$

$$\sigma_{max} = 0,388^3 \sqrt{PE^2 \frac{(R_1 + R_2)^2}{(R_1 \cdot R_2)^2}}, \quad (16)$$

где P – осевая нагрузка;

E – модуль упругости материала шаров;

R_1 и R_2 – радиусы соприкасающихся сфер.

$$\sigma_{\max} = 0,388^3 \sqrt{\frac{8 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{12} \cdot 2,54^2}{2,55^2}} \approx 0,33 \cdot 10^3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{cp} = 0,67 \cdot 0,33 \cdot 10^3 \text{ МПа}$$

Произведенные расчеты показали, что контактные напряжения, возникающие в месте контакта шаров с твердостью $HВ = 6,27 \cdot 10^3$ МПа, достаточно высоки, чтобы вызвать пластические деформации верхнего шара с образованием дорожки качения.

В дальнейшем рассматривалось взаимодействие твердых тел (шаров), когда процессы, протекающие на их поверхности, и приложенные нормальные нагрузки сосредотачиваются в поверхностных слоях тел. Деформациями в объеме материала можно пренебречь, а сплошность поверхностных слоев не нарушается.

При контактировании двух шероховатых поверхностей под действием нормальной нагрузки происходит их сближение. При этом каждая индивидуальная микронеровность будет деформировать материал. При этом в зоне контакта единичной микронеровности будет выполняться классический закон Герца. Из физических соображений следует, что пластические деформации появляются на контакте в случае равенства средних напряжений по Герцу и твердости материала по Бринелю ($HВ = 6,27 \cdot 10^3$ МПа), то есть

$$\sigma_{cp} = HВ, \tag{17}$$

$$\sigma_{cp} = 0,67 \cdot \sigma_{\max}, \tag{18}$$

$$\sigma_{\max} = 0,63^3 \sqrt{\frac{NE^2}{(1-\mu^2) \cdot r^2}}, \tag{19}$$

где N – нормальная реакция, возникающая при деформировании материала произвольной микронеровностью с радиусом вершины – r .

$$N = \frac{1,33 \cdot r^{1/2} \cdot h^{3/4} \cdot E}{1 - \mu^2}, \quad (20)$$

где E – модуль упругости материала, $E = 2,0 \cdot 10^5$ Н/мм²;

μ – коэффициент Пуассона, $\mu = 0,3$;

r – радиус вершины микронеровности, учитывая технологию изготовления контактирующих тел, $r = 450 \cdot 10^{-4}$ см;

h – сближение между поверхностями взаимодействующих тел, что соответствует толщине слоя смазки.

Пластические деформации имеют место при внедрениях (84)

$$h > 5,4 \cdot r \cdot (1 - \mu^2) \cdot \left(\frac{HB}{E}\right)^2. \quad (21)$$

Подставляя значения величин получим

$$h \geq 5,4 \cdot 4,5 \cdot 10^3 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{6,27 \cdot 10^4}{2 \cdot 10^6}\right)^2 \geq 1,94 \cdot 10^{-4} \text{ см},$$

$$N = \frac{1,33 \cdot (4,5 \cdot 10^3)^{1/2} \cdot (1,94 \cdot 10^{-4})^{3/4} \cdot 2 \cdot 10^6}{1 - 0,3^2} = 0,18 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\max} = 0,63^3 \sqrt{\frac{1,75 \cdot (2 \cdot 10^6)^2}{(1 - 0,3^2) \cdot (4,5 \cdot 10^{-2})^2}} \approx 9,2 \cdot 10^3 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{cp} = 0,67 \cdot 9,2 \cdot 10^3 = 6,2 \cdot 10^3 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{cp} = HB.$$

Расчеты показали удовлетворительную сходимость результатов расчетов.

Сравнительные испытания смазок УСсА, NCS-30ECF, P-402, РУС-1 проведены, на машине ЧШМ-1 в соответствии с ГОСТ 9490-75 [42].

Результаты испытаний.

Таблица 1 – Значения индекса задира (I_3)

Смазка	Нагрузка P , кН	Средний диаметр пятен износа $D_{и}$, мм	Площадка по Герцу $(d_{\gamma}^{+0,15})$, мм	Условная на- грузка Q , кН	Индекс задира I_3 , кН
УСсА	0,20	1,28	0,39	0,06	0,12
	0,39	1,78	0,45	0,10	
	0,62	2,07	0,50	0,15	
	0,78	2,55	0,53	0,16	
P-402	0,20	1,19	0,39	0,06	0,13
	0,39	1,50	0,45	0,10	
	0,62	1,90	0,50	0,15	
	0,78	2,43	0,53	0,17	
РУС-1	0,20	0,89	0,39	0,09	0,25
	0,39	0,91	0,45	0,19	
	0,62	0,98	0,50	0,32	
	0,78	1,03	0,53	0,40	
NCS- 30ECF	0,20	0,50	0,39	0,13	0,30
	0,39	0,60	0,45	0,26	
	0,62	0,80	0,50	0,38	
	0,78	0,93	0,53	0,45	

Таблица 2 – Результаты определения критической нагрузки (P_k)

Смазка	Средний диаметр пятна износа, мм	Критическая нагрузка, кН
УСсА	1,92	$P_k = 0,4; (0,9)$
Р-402	1,77	$P_k = 2,04$
РУС-1	0,95	$P_k = 0,8; (2,18)$
NCS-30ECF	0,70	$P_k = 2,24$

Таблица 3 – Результаты определения нагрузки сваривания (P_c)

Смазка	Нагрузка сваривания, кН
УСсА	$P_c = 1,57; (2,41)$

Окончание таблицы 3

Р-402	$P_c = 4,8$
РУС-1	$P_c = 4,9; (4,21)$
NCS-30ECF	$P_c = 6,38$

Таблица 4– Значения показателя износа ($D_{и}$) по ряду нагрузок $P=0,196-0,78$ кН

Смазка	Средний диаметр пятен износа, $D_{и}$, мм	Сходимость (повторяе- мость)	Воспроизводимость
УСсА	1,92	0,69	0,2
Р-402	1,77	0,59	0,2
РУС-1	0,95	0,30	0,2
NCS-30ECF	0,76	0,21	0,2

По окончании испытаний и статистической обработки результатов (таблицы 1-4) построена зависимость изменения диаметра пятна износа от приложенной нагрузки (рисунок 7).

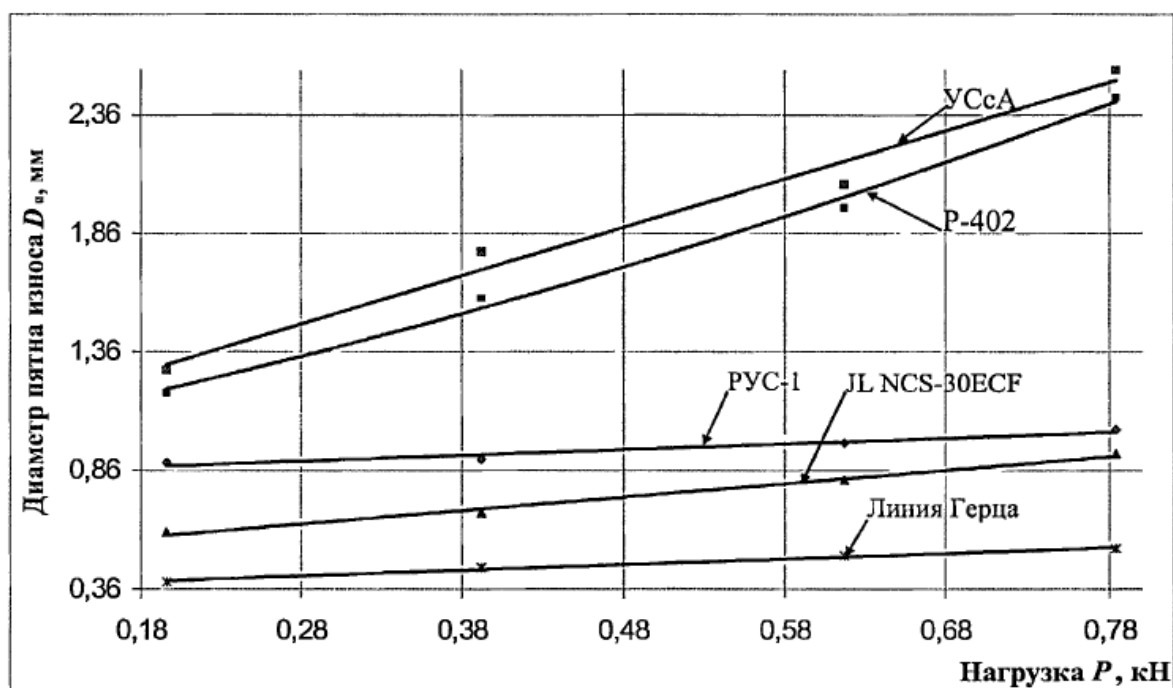


Рисунок 7 – Оценка противоизносных свойств смазок[12]

Выводы

1. Выявлено, что скорость свинчивания влияет на замковое резьбовое соединение по-разному: износ подвижного элемента пары трения ниппель-муфта уменьшается, а неподвижного возрастает при увеличении скорости скольжения.

2. Установлено, что с увеличением удельной нагрузки в диапазоне 2,0...5,0 кН износ пары трения, работающей в среде консистентной смазки, возрастает, а с ростом линейной скорости уменьшается, причём темп снижения износа тем больше, чем выше удельная нагрузка, что объясняется, по видимому, эффектом набегавшей волны гидрорасклинивания.

3. Результаты стендовых испытаний замков ЗП-105-54 с замковой резьбой З-86, работавших в среде многокомпонентных смазочных материалов с добавкой CuSO_4 , при удельной нагрузке $1,02 \cdot 10^3$ Н показали увеличение износостойкости в 1,7 раза по сравнению со смазкой без добавки. Резьба по окончании испытания была покрыта слоем медной пленки, что характерно для процессов с реализацией избирательного переноса.

3 Влияние свойств рабочей среды на характер изнашивания резьбовых поверхностей

3.1 Разработка медесодержащей добавки, реализующей избирательный перенос в рН среде

В случае реализации избирательного переноса и образования на поверхности трения медесодержащей пленки происходит изменение микрогеометрии контакта и его физико-механических свойств. Это в свою очередь приведет к изменению диапазонов контурных давлений, в зоне которых наблюдаются известные виды деформаций в сравнении с контактированием без медесодержащей пленки.

В отличие от «классического» сочетания материалов образцов, то есть «медь-сталь», в данном случае – «сталь-сталь». Предположительно, что медесодержащая пленка будет образовываться в первую очередь на более мягком образце. Выдвинутое предположение основывается на том, что при прочих равных условиях (P , $V_{ск}$) на деформируемой поверхности мягкого образца интенсивность физико-химических процессов должна быть выше, чем на твердом. Из вышеизложенного следует, что в качестве мягкого образца при расчетах принимается поверхность ролика, покрытого медесодержащей пленкой.

Данные к расчету: $E = 1,10 \cdot 10^5$ Н/мм², $\mu = 0,34$; $HВ = 7 \cdot 10^3$ Н/мм², $\Delta tв = 2,2 \cdot 10^{-2}$.

Результаты расчетов для обоих случаев контактирования представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Контурные давлениям в случае отсутствия ИП и в условиях ИП

Диапазон контурных давлений в случае отсутствия ИП	Диапазон контурных давлений в условиях ИП
а) Упругий ненасыщенный контакт	
$0 < P \leq 0,15 \text{ Н/мм}^2$	$0 < P \leq 0,013 \text{ Н/мм}^2$
б) Упруго-пластический контакт	
$0,15 \leq P \leq 0,48 \text{ Н/мм}^2$	$0,013 < P \leq 0,041 \text{ Н/мм}^2$
в) Пластический ненасыщенный контакт	
$0,48 \leq P \leq 324 \text{ Н/мм}^2$	$0,041 \leq P \leq 87,5 \text{ Н/мм}^2$
г) Пластический насыщенный контакт	
$P \geq 324 \text{ Н/мм}^2$	$P \geq 87,5 \text{ Н/мм}^2$

Проверочный расчет показал, что в условиях избирательного переноса наблюдаются более благоприятное напряженное состояние на контакте, повышающее износостойкость пары трения.

Основываясь на механизме взаимодействия твердых тел с учетом влияния на них среды, Минихиным Н. М. [14] были установлены условия, при которых будет возникать избирательный перенос. Были определены условия деформирования, необходимые и достаточные для его реализации.

Минимальное значение контурного давления, ниже которого избирательный перенос в паре трения не будет равно

$$F_N \leq \left(\frac{HB}{b \cdot k \cdot f_T} \right)^{2\nu+1} \cdot \left[\frac{2,4 \cdot (1 - \mu^2)}{2^{1/2\nu} \cdot k_1 \cdot \nu \cdot (\nu - 1) \cdot E} \right]^{2\nu} \cdot \left(\frac{r \cdot b^{1/\nu}}{R_{\max}} \right)^\nu, \quad (22)$$

где F_N – минимальное значение контурного давления, ниже которого избирательный перенос в паре трения возникать не будет;

k – коэффициент, зависящий от напряженного состояния контакта и природы материала, $k = 3...7$;

f_T – коэффициент трения при автокомпенсации износа, $f_T = 0,15$;
 k_1 – коэффициент, зависящий от показателя опорной поверхности «v», $k_1 = 0,9$;
 b – показатель опорной поверхности, $b = 2$;
 v – показатель опорной поверхности, $v = 1,6$;
 μ – коэффициент Пуассона, $\mu = 0,3$;
 E – модуль упругости материала, $E = 2 \cdot 10^5$ Н/мм²;
 HB – твердость по Бриннелю более мягкого материала, $HB = 2,6 \cdot 10^3$ Н/мм²;
 r – радиус кривизны вершины выступа, $r = 356 \cdot 10^{-6}$ м;
 R_{max} – наибольшая высота микронеровностей профиля, $R_{max} = 9,4 \cdot 10^{-6}$ м.

$$F_N \leq \left(\frac{2,6 \cdot 10^4}{6 \cdot 7 \cdot 0,15} \right)^{4,2} \cdot \left[\frac{2,4 \cdot (1 - 0,3^2)}{2^{1/3,2} \cdot 0,9 \cdot 1,6 \cdot (1,6 - 1) \cdot 2 \cdot 10^6} \right]^{3,2} \cdot \left(\frac{356 \cdot 10^{-6} \cdot 2^{1/1,6}}{9,4 \cdot 10^{-6}} \right)^{1,6} \leq 0,8 \text{ Н/мм}^2$$

Проведенные расчеты показывают, что по условиям деформирования механизм избирательного переноса может быть реализован при значениях удельных нагрузках, принятых в экспериментах.

Достаточно известно, что фактическая площадь касания равна:

$$A_{ri} = A_{ci} \cdot a_i \cdot b_i \cdot \varepsilon_i^{vi},$$

где A_{ci} – контурная площадь касания;

a_i – коэффициент, характеризующий напряженное и кинематическое состояние;

b_i и vi – показатели кривой опорной поверхности;

ε_i^{vi} – относительное сближение, соответствующее моменту вхождения всех неровностей поверхности в контакт.

Рассмотрим два случая контактирования:

- а) две стальные поверхности;
- б) стальная и стальная, покрытая медесодержащей пленкой.

Для рассматриваемых случаев запишем:

$$A_1 = A_{c1} \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot \varepsilon_1^{v1}$$

$$A_2 = A_{c2} \cdot a_2 \cdot b_2 \cdot \varepsilon_2^{v2}$$

В случае контактирования стальной поверхности с медной возрастает величина относительного их сближения в сравнении с контактированием двух стальных поверхностей, то есть $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$. Увеличение относительного сближения приведет к увеличению фактической площади касания ($A_{r2} < A_{r1}$) и снижению средних нормальных напряжений на контакте ($P_{r2} < P_{r1}$). Это является одной из причин, объясняющих уменьшение износа фрикционных пар при наличии на поверхности, хотя бы одного из элементов пары медной пленки.

На данном этапе производилось исследование влияния концентрации добавки на контактную выносливость шаров на машине ЧШМ-1 с целью определения её оптимальной концентрации. В качестве базовой принята смазка УСсА. В смазку УСсА вводилась медесодержащая добавка различной массовой концентрации по отношению к объему смазки от 0 до 1,6 масс. %. Определение количества циклов нагружения производилось до появления питтинга на поверхности шаров. Сульфат меди (CuSO_4) и триалон «Б» в составе добавки вводилось соответственно от 0 до 0,4 масс. % и от 0 до 1,2 масс. %. Анализ результатов исследований показывает, что увеличение концентрации добавки

от 0 до 0,24 масс. % приводит к существенному возрастанию контактной выносливости материала шаров, которая остается предельной до концентрации медесодержащей добавки равной 0,26 масс. %. Дальнейшее увеличение приводит к значительному снижению контактной выносливости, то есть существует остаточный интервал концентрации добавки, при котором наблюдается максимальное число циклов нагружения до усталостного разрушения материалов шаров. Остаточный интервал находится в пределах 0,26...0,28 масс. %. Результаты испытания представлены в виде зависимости концентрации медесодержащей добавки в смазке от числа циклов нагружения (рисунок 8).

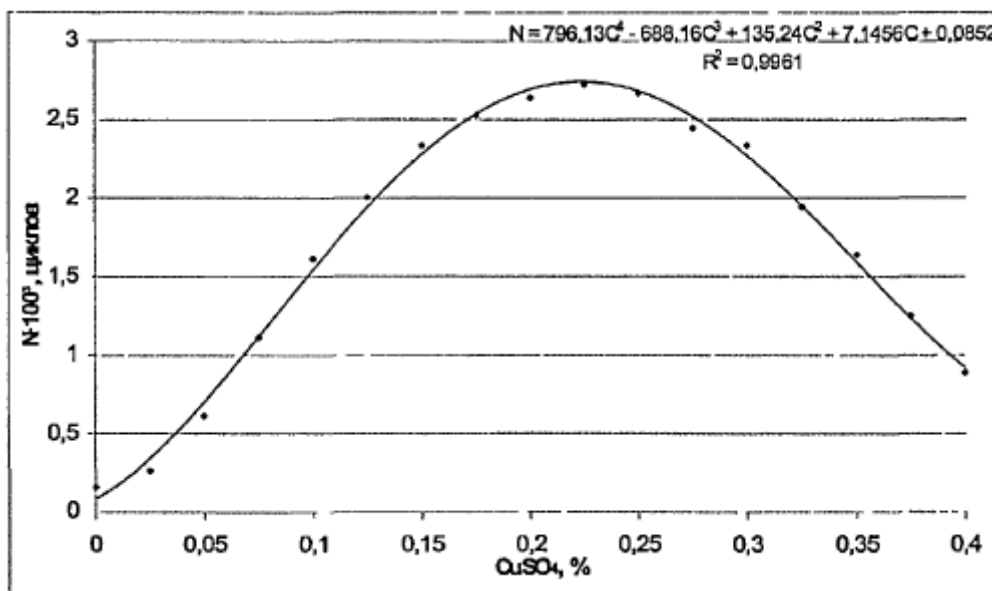


Рисунок 8 – Оптимальная концентрация медесодержащей добавки в смазке[17]

Оптимальность концентрации добавки и соответственно максимальное число циклов нагружения, связано с полным перекрытием контактирующих поверхностей медной пленки определенной толщины, благодаря которой снижаются контактные напряжения, а сдвиговые процессы локализуются в медном слое.

Низкая контактная выносливость при концентрациях добавки до оптимальной связано с тем, что распределение медной пленки на поверхности трения носит прерывистый характер, то есть в виде отдельных участков.

Снижение контактной выносливости материала шаров при повышении концентрации добавки выше оптимальной связано с возрастанием толщины пленки, слой которой в процессе трения перенаклепывается, то есть теряет свои пластические свойства, что приводит охрупчиванию, и, как следствие, к отслаиванию и выкрашиванию. Места отслаиваний и охрупчиваний являются концентраторами напряжений, вызывающими развитие усталостных разрушений и трещин.

3.2 Исследования влияния технологических растворов на изнашивание

Изучение закономерностей влияния среды на механические характеристики различных материалов приобретает с каждым днем все большее значение, в общем, с рядом научных и инженерных проблем. Сюда относятся задачи обеспечения высокой долговечности и надежности различных механизмов и машин, которые во время работы подвергаются всевозможному действию механических напряжений и активных сред, влияющих на износостойкость материалов.

Весьма распространенные в природе и технике эффекты, обуславливающие влияние среды на прочность и деформируемость твердых тел, в значительной мере обуславливается взаимным сочетанием множества факторов, химических физико-химических процессов, вызывающих эти эффекты. К их числу, прежде всего, относятся необратимые воздействия, в основе которых лежит коррозионное влияние среды.

Буровые промывочные жидкости, применяемые при бурении нефтяных и газовых скважин, являются коррозионно-активными средами. Известно, что

коррозионный фактор по степени своего влияния на долговечность пар трения не уступает механическому.

Коррозионной активности среды отводится немаловажная роль в механизме повышения работоспособности элементов резьбы, то есть пар трения, работающих в среде промывочных жидкостей. Этот механизм сложен, он включает в себя взаимосвязь накопление поверхностных напряжений и химических реакций на поверхности, ведущих к коррозии под напряжением и коррозионно-механическому износу. Раскрытие механизма разрушения при коррозионно-механическом изнашивании имеет помимо научного и прикладного значения. Знание этого процесса позволило бы прогнозировать поведение деталей бурового оборудования и наметить пути повышения их долговечности.

К настоящему времени проведены исследования [14], посвященные изучению влияния варьирования влияния концентраций различных по природе добавок, составами концентрации твердой фаз буровых растворов на их смазочные свойства и изнашивание пар трения скольжения, работающих в этой среде. Основное направление этих исследований связано с повышением ресурса и герметичности замкового резьбового соединения, то есть оборудования, от долговечности которого во многом зависит эффективность бурения.

Одним из основных параметров буровых растворов является концентрация водородных ионов (рН). В зависимости от конкретных условий бурения эта величина колеблется от 6 до 10. Естественно предположить, что изменение этого показателя оказывает влияние на характер и интенсивность изнашивания пар трения бурового оборудования, работающего в этой среде.

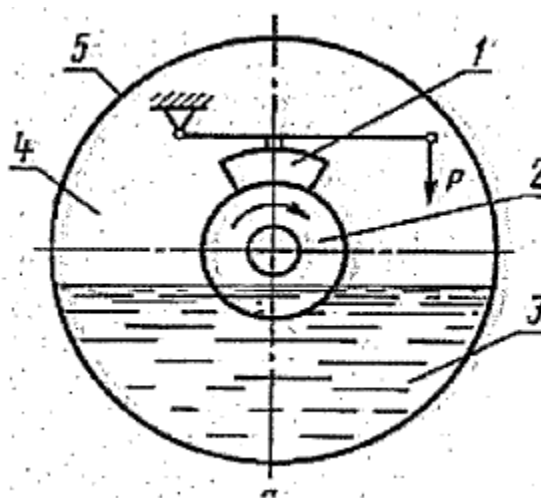
Вопросом влияния величины рН на процесс трения и изнашивания занимались ряд авторов [14], которые, однако не выявили зависимости контактной выносливости тел скольжения от этого показателя.

Эта задача усложняется тем, что изнашивание в глинистой промывочной жидкости, представляет собой электролит, сопровождающийся электрохими-

ческой коррозией. Коррозионная активность в свою очередь зависит от величины рН и является фактором, усиливающим усталостные явления в поверхностном слое материала тел скольжения.

В связи с этим была поставлена задача исследовать влияние рН различных по химическому составу и плотности промывочной жидкости на изнашивание металлических пар.

Для проведения испытаний использовалась ранее приведенная машина трения СМТ-1. Схема испытаний приведена на рисунке 9.



1 – неподвижный образец; 2 – подвижный образец; 3 – маслохладоновая смесь; 4 – хладогент; 5 – герметичная камера

Рисунок 9 – Схема испытания[15]

Оптимальная концентрация медесодержащей добавки очевидно изменится в зависимости от плотности глинистого раствора. Это обусловлено тем, что с изменением плотности изменяется концентрация абразивных частиц, участвующих в процессе изнашивания.

В связи с изложенным возникает необходимость определения оптимальной концентрации во всем практически используемом в бурении интервале изменений плотности.

3.3 Влияние нагрузки на работоспособность резьб

Следующим этапом исследований явилось изучение особенностей трения и изнашивания металлических пар в режиме скольжения смазок в среде разных составов технологических промывочных жидкостей.

Свойства среды оказывают решающее значение на характер и скорость протекания физико-химических процессов на фрикционном контакте.

Исследовалось влияние нагрузки на контакте пары трения ролик-колотка, в диапазоне от 2,0...3,5 кН, в среде циркулирующего глинистого раствора показателями рН=10 и $\rho = 1,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Исследования производились при постоянной величине скорости скольжения равной 0,81 м/с.

В процессе проведения эксперимента исследовались и определялись следующие характеристики процесса трущихся пар:

- момент трения;
- массовый износ колодки и ролика.

В качестве характеристики процесса в работе приняты следующие зависимости:

$$f_T = f(P); U_M = f(P); I_T = f(P), \quad (23)$$

где P — нагрузка, Н;

f_T — то же, что и формуле (22);

U_M — суммарный массовый износ колодки и ролика в мг;

I_T — интенсивность массового износа, мг/см²·м.

Интенсивность массового износа представляет собой массу вещества, которое удаляется с единицы поверхностей взаимного контакта за единицу пути трения и подсчитывается по формуле

$$I_T = \frac{U_M}{L_T \cdot A}, \quad (24)$$

где U_M – то же, что и в формуле (23);

L_T – путь трения, м;

A – номинальная площадь контакта, см².

Установлено, что массовый износ колодки повышает износ ролика, то есть колодка изнашивается интенсивнее. Это объясняется тем, что площадь номинального контакта ролика в 15 раз больше, чем у колодки, а также различной продолжительностью контакта каждого квадратного сантиметра поверхности трения ролика с колодкой.

На рисунке 10-11 приведены результаты испытаний, представленных в виде зависимости коэффициента трения суммарного массового износа от нагрузки.

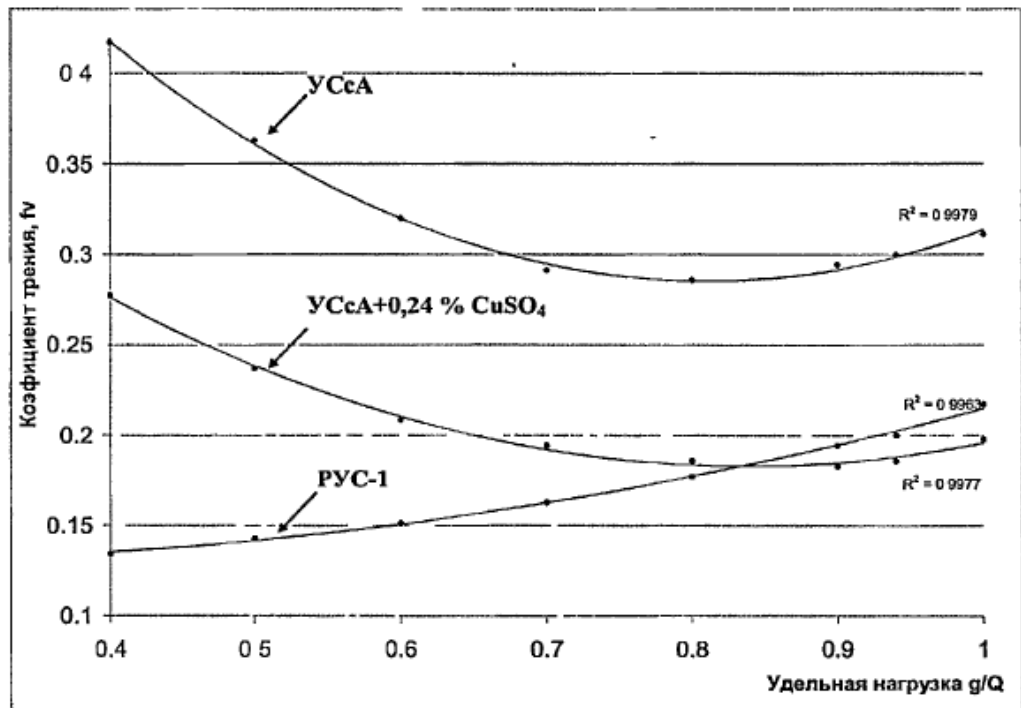


Рисунок 10 – Зависимость коэффициента трения от удельной нагрузки[10]

Из полученных зависимостей видно, что с повышением удельной нагрузки с 0,4 до 1, что является максимальной и соответствует 5 кН, наблюдается снижение коэффициента трения с 0,31 до 0,22 для смазок УСсА с CuSO_4 и установления некоторого стационарного участка с устойчивой величиной коэффициента трения. Это характерно для диапазона от 0,6 до 0,9 для реального глинистого раствора и диапазона от 0,5 до 0,8 для этого же раствора, но с 0,24 масс. % медесодержащей добавкой. Смазка РУС-1 показала характерное увеличение коэффициента трения по всему ряду увеличивающихся нагрузок.

Наличие стационарного участка подтверждается в ранее проведенных исследованиях [14] для широкого диапазона материалов, нагрузок и сред, отличающихся только масштабом явления, то есть границами стационарного участка и значениями коэффициента трения на этом участке.

По мере дальнейшего повышения величины удельной нагрузки до 1 коэффициент трения возрастает для исследуемых смазок, работающих в среде технологических промывочных жидкостей.

При трении на фрикционном контакте, одновременно протекают три взаимосвязанных процесса: взаимодействие поверхностей, изменение под влиянием сил трения поверхностных слоев твердых тел и образовавшихся пленок структур разрушения поверхностного слоя:

При нормальном механическом изнашивании, характеризующим стационарный участок, достигается нестабильное состояние поверхности трения, равновесия процессов разрушения и восстановления защитной пленки.

В диапазоне нагружения от 0,4 до 1 площадь и толщина пленок вторичных структур – максимальны, то есть формируются объемные, рыхлые, легко разрушаемые, а затем восстанавливающиеся поверхностные пленки, что приводит к интенсивному изнашиванию. Коэффициент трения в этом диапазоне уменьшается с 0,31 до 0,28, а суммарный износ пары трения возрастает с 27 до 99 мг на 1000 м пути трения (рисунок 11).

При дальнейшем повышении нагрузки от 0,8 до; 1 процесс образования защитной пленки не компенсирует процесса их разрушения [8], величина поверхности трения покрытой пленками уже значительно меньше, она систематически меняется во времени. Коэффициент трения в этом случае увеличивается от 0,28 до 0,32, суммарный массовый износ возрастает от 99 до 118 мг. на 1000 м пути трения (рисунок 11), то есть наиболее высокая интенсивность изнашивания.

Испытание пары трения ролик-колодка со смазкой с медесодержащей добавкой в среде с добавлением глинистого раствора в режиме трения скольжения показали, что присутствие добавки приводит к полному и равномерному покрытию контактирующих поверхностей медесодержащей пленкой.

Полученный эффект наблюдается при всех режимах нагружения, то есть при $N_{y\partial} = 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0$.

В начальный момент пленка формируется в виде отдельных участков целое скопление. В дальнейшем происходит полное покрытие поверхности трения медесодержащей пленкой. Медесодержащая пленка обеспечивала более высокую износостойкость узла трения по сравнению с раствором без добавки в 1,5...3,2 раза в зависимости от режима нагружения (рисунок 11).

Анализ результатов исследования показал, что коэффициент трения уменьшается с 0,27 при $N_{y\partial}=0,4$ до 0,18 при $N_{y\partial}=0,87$. Дальнейшее увеличение нормальной нагрузки от 0,87 до 1,0 привело к некоторому возрастанию коэффициента трения от 0,18 до 0,2, что в свою очередь увеличило суммарный массовый износ (рисунок 11). Увеличение суммарного массового износа связано с некоторым понижением защитных свойств медесодержащей пленки в исследуемой среде при данных режимах изнашивания, то есть $N_{y\partial}=1,0; V_{ск} = 0,81$ м/с.

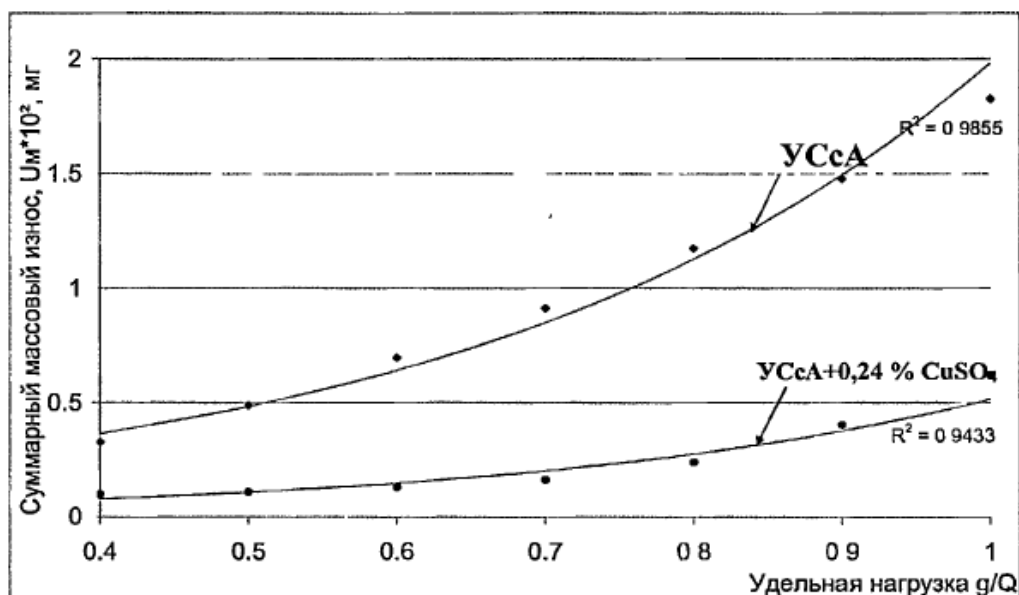


Рисунок 11 – Зависимость суммарного массового износа от удельной нагрузки[8]

3.4 Влияние скорости скольжения на работоспособность резьбовых соединений

Исследовано влияние скорости относительного перемещения (скольжения) образцов, в диапазоне 0,09...0,81 м/с, на износостойкость пары трения ролик-колодка со смазкой в среде с добавлением технологических растворов при удельной нагрузке $N_{y\partial} = 3,0$ кН.

В качестве характеристик процесса изнашивания приняты следующие характеристики:

$$fv = f(V_{ск}); U_M = f(V_{ск}); I_{\partial} = f(V_{ск}). \quad (25)$$

Испытания смазочного материала с добавлением глинистого раствора без медесодержащей добавки показало следующее (рисунки 12). Повышение скорости с 0,09 до 0,38 м/с ведет к уменьшению коэффициента трения 0,39-0,21.

Это связано с хорошей восстанавливаемостью и достаточной прочностью поверхностных пленок, образовавшихся вследствие взаимодействия металлических поверхностей с щелочным (pH=8) глинистым раствором [14]. Образовавшиеся поверхностные пленки уменьшают суммарный массовый износ с 300 до 110 мг и интенсивность изнашивания образцов в данном диапазоне скоростей (рисунок 13, 14)

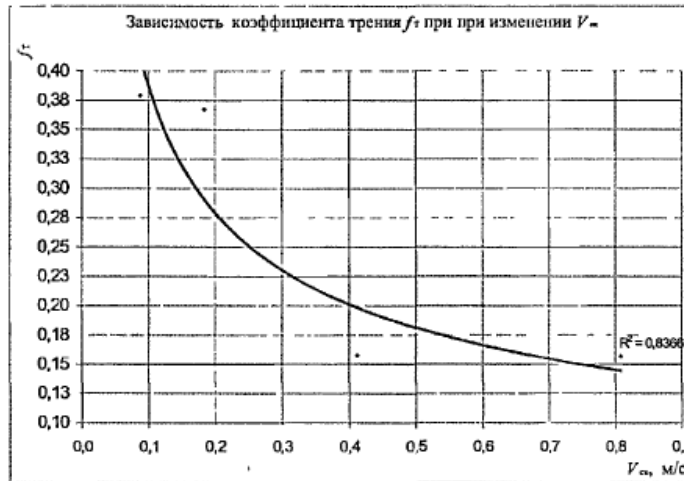


Рисунок 12 – Зависимость коэффициента трения от скорости скольжения[8]

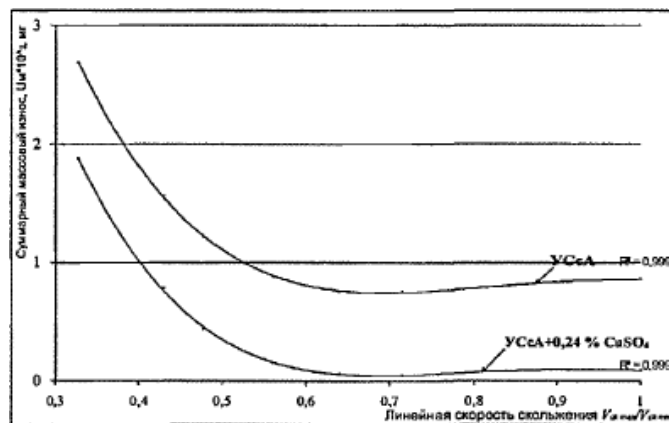


Рисунок 13 – Зависимость суммарного массового износа от скорости скольжения[8]

Дальнейшее увеличение скорости скольжения до 0,81 м/с привело к незначительному повышению коэффициента трения с 0,21 до 0,23. В свою очередь это связано с повышением интенсивности изнашивания. Происходит отставание скорости процесса регенерации поверхностных пленок от скорости процесса их разрушения и видимо при дальнейшем увеличении скорости скольжения этот процесс будет усиливаться, то есть изнашивание происходит в начальной области критических скоростей.

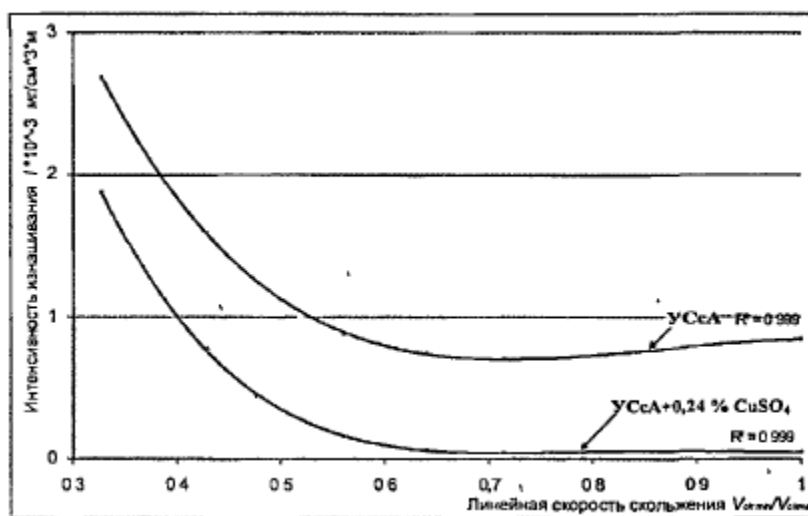


Рисунок 14 – Зависимость интенсивности износа от скорости скольжения [8]

Влияние скорости скольжения на трение и изнашивание сталь по стали в условиях сухого и граничного трения изучалась И.В. Крагельским, Б.И. Костецким и другими исследователями в широком диапазоне удельных нагрузок и скоростей скольжения [19].

Полученная в работе зависимость коэффициента трения от скорости скольжения подобна этим зависимостям, представленным в общем виде в работах И.В. Крагельского, Б.И. Костецкого.

При испытании смазок с добавлением глинистой промывочной жидкости раствора с медесодержащей добавкой получена зависимость коэффици-

ента трения от скорости скольжения, аналогичная по характеру этой же зависимости для смазки с добавлением глинистой промывочной жидкости без добавки.

Однако анализ полученных результатов показал, что в отличие от смазки с добавлением глинистой промывочной жидкости без добавки увеличение скорости скольжения от 0,38 до 0,81 м/с не приводит к увеличению коэффициента трения, его величина стабилизировалась. Это означает, что образовавшаяся пленка сохраняет свою работоспособность при, данных режимах скорости скольжения и нагружения пар трения.

В исследуемом диапазоне скоростей скольжения при нагрузке 3,0 кН контактирующие поверхности ролика и колодки были покрыты медесодержащей пленкой.

Медесодержащая пленка повысила износостойкость узла трения по сравнению с раствором без добавки в 1,5...4,0 раза в зависимости от режимов, то есть скорости скольжения и уменьшила коэффициент трения (рисунок 12).

Следовательно, наличие пленки мягкого вещества на поверхности трения, разрушающейся восстанавливающейся в процессе работы узла, снижает коэффициент трения и износ стальных образцов примерно в 1,5...3,0 раза, способствует увеличению их износостойкости в среде технологических промывочных растворов, что имеет большое практическое значение в деле повышения износостойкости деталей бурового оборудования.

Это свидетельствует с тем, что повышение удельной нагрузки и скорости развивало более благоприятные условия формирования пленки на поверхности трения.

Таким образом, из приведенных результатов следует, что образующаяся в процессе трения медесодержащая пленка способствует уменьшению коэффициента трения, улучшению микрогеометрии изнашиваемых поверхностей, повышению износостойкости пар трения.

3.5 Оценка характера изнашивания от присутствия технологических растворов разной плотности

Для исследования были выбраны глинистые растворы ($pH = 6-10$) плотностью: 1,1; 1,25; 1,4; 1,6; 1,8. Исходным раствором служит раствор плотностью $1,05 \cdot 10^3$ кг/м, который утяжелен баритом.

Исследуемыми средами для добавки к смазке являются реальные глинистые растворы на водной основе. По величине плотности были подобраны три типа растворов, применяемых в практике бурения:

1. Облегченные – $1,05 \cdot 10^3$ кг/м ;
2. Нормальные – $1,25 \cdot 10^3$ кг/м;
3. Утяжеленные – 1,6... 1,8 кг/м.

Исходным раствором служил облегченный, а остальные утяжелялись баритом, утяжелителем, получившим наибольшее распространение для этой цели. Выбор глины, служащей материалом – основой для приготовления растворов, основывался во-первых, по степени её применимости, а, во-вторых, по её физико-химическим свойствам. Был использован бентопорошок БМ-Б («Буровой») изготавливаемый по техническим условиям ТУ 5751-001-78035873-2005 «Глинопорошки бентонитовые для буровых растворов», разработанным в соответствии с требованиями стандарта API-13A. Широко применяемые растворы бентонита приобретают необходимые для бурения структурно-механические свойства при значительно меньшем количестве дисперсной фазы, чем растворы, приготовленные из других глин; [4].

Наряду с глиной и водой, которая является обязательным компонентом глинистого бурового раствора, в его состав, как правило, входят химические реагенты. Их присутствие связано с поддержанием на требуемом уровне основных показателей раствора структурно-механических, фильтрационных и прочих. Из большого разнообразия химических реагентов для обработки рас-

творов были применены наиболее часто встречающиеся карбоксиметилцеллюлоза низковязкая КМЦ-500 (ТУ 2231-001-351937-80-96) сконденсированная сульфит-спиртовая барда КССБ-2М (ТУ 2454-325-051331190).

Из реагентов специального назначения, служащих в качестве ПАН для повышения смазочных свойств растворов, был использован сульфанола (сульфонола) ТУ 2481-106-07510508-2005.

Для ингибирования коррозионных процессов на поверхностях трения был применен ингибитор коррозии ИКБ-4 марки В (ТУ 2415-005-00151807-2007). Благодаря своей эффективности, он широко применяется на промыслах для защиты трубопроводов и оборудования при подготовке к утилизации сточных вод девонских месторождений [23]. В качестве добавки в буровой раствор до настоящего времени не применялся.

Величина рН исследуемых растворов колебалась в пределах от 6 до 10 то есть в тех пределах, которые имеют место в резьбоуплотнительных составах.

Рецептуры исследуемых растворов, представленные ниже, подобраны с учетом объяснения физико-химической: сущности влияния величины рН, плотности и состава на процесс трения и изнашивания:

Процентное содержание химических реагентов, выбрано исходя из известных рецептов соленых растворов с 1,0... 1,5 масс. % содержанием хлористого натрия [23].

Рецептуры растворов:

- 1 – исходная бентонитовая суспензия;
- 2 – 1 + 0,5 масс. % КЦМ-500 + 1,5 масс. % КССБ + 1 масс. % NaCl;
- 3 – 2 + 0,02 масс. % сульфанола;
- 4 – 2 + 0,25 масс. % ИКБ-4;
- 5 – 2 + медьсодержащая добавка к смазке.

В качестве своеобразного эталона была принята вода. Необходимость проведения опытов на воде обусловлена тем, что она так же повсеместно ис-

пользуется в качестве промывочной жидкости, и в то же время является коррозионно-активной средой. Это позволило оценить влияние глинистой фазы на изменение контактной выносливости материала шаров.

Растворы добавок сульфанола и ИКБ-4 приготавливали до концентрации, соответственно 1 масс. % и 1,5 масс. %. Величина добавки в суспензию проведена в расчете на сухое вещество.

Состав и параметры исследуемых растворов.

Выбор состава и параметров исследуемых растворов производился с учетом исследований на четырехшариковой машине трения.

Для исследования были выбраны глинистые растворы ($pH=8$) плотностью: 1,1; 1,25; 1,4; 1,6; 1,8. Исходным раствором служит раствор плотностью 1,05, который утяжелен баритом.

Был выбран раствор следующего состава: Бентонитовая суспензия + 0,5 масс. % КМЦ-500 + 1,5 масс. % КССБ + 1,0 масс. % NaCl + 0,2 масс. % ИКБ-4.

Порядок проведения испытания следующий. Вначале устанавливаем образцы соответственно их попарной нумерации. Покрывает образцы смазкой и погружаем в кювету с раствором. Включаем привод установки, а так же включаем вольтметр. Тарируем числовые значения вольтметра на «0». Приводим в соприкосновение образцы, и нагружаем до необходимой нагрузки. Включаем секундомер одновременно с достижением необходимой нагрузки.

Предварительно проведенные методические эксперименты на четырехшариковой машине трения с кислыми ($pH=6$) и нейтральными технологическими суспензиями, плотностью $\rho = 1,05 \dots 1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, показали, что избирательный перенос реализуется в них при добавлении только сульфата меди (CuSO_4). Оптимальная концентрация добавки колебалась от 0,18 до 0,25 масс. %. Это позволило повысить контактную выносливость шаров в 1,8...2,2 раза по сравнению с раствором без добавки.

Результаты испытаний резьбоуплотнительных составов плотностью $\rho = 1,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ в режиме трения качения представлены на рисунке 15, в виде

зависимости числа циклов нагружения (N_u) до усталостного разрушения шаров от рН среды.

Анализ полученных результатов показывает, что для всех исследованных растворов в интервале рН от 6 до 7 наблюдается повышение числа циклов нагружения. Дальнейшее повышение рН 7...10,0 приводит к уменьшению N_u до его минимальных значений. Далее наблюдается некоторое повышение контактной выносливости при достижении максимальных значений рН (рисунок 15).

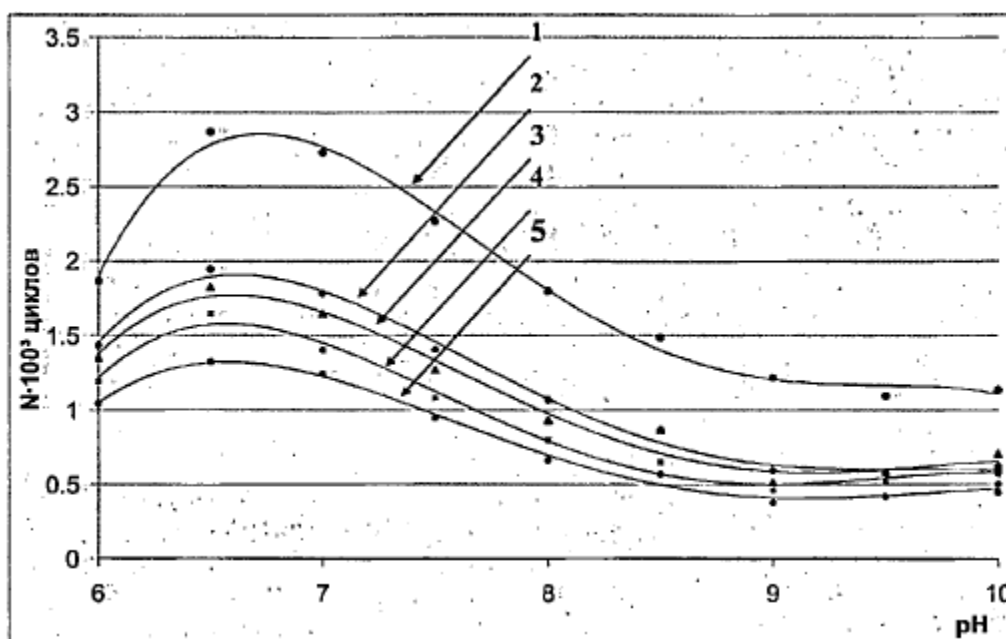


Рисунок 15 – Влияние рН и плотности раствора на контактную выносливость[23]

Промывочные жидкости в области $\text{pH} \geq 9$, как правило, находятся в стадии явной или скрытой коагуляции за счет избытка свободной щелочи. Это приводит к осаждению твердой фазы раствора, то есть уменьшению частиц твердой фазы трения. В связи с этим, видимо, наблюдается увеличение N в среднем на 16...30масс.%. Следует отметить, что диапазон щелочности от 6 до 10 является диапазоном, наиболее характеризующим разницу в смазочных

и противоизносных свойствах исследуемых растворов. Из анализа влияния химического состава растворов на контактную выносливость шаров видно, что введение в исходную глинистую суспензию КМЦ и КССБ увеличивает число циклов нагружения. Добавление в этот раствор сульфанола оказывает противоизносное действие. Замена же сульфанола на ИКБ-4 приводит к резкому увеличению особенно в интервале рН от 6 до 10,0.

В интервале рН 9...10, где наблюдаются минимальные значения N_u , можно говорить о том, что химические добавки теряют свою эффективность, а свойства раствора нивелируются.

Интересно отметить, что, исходя из угла наклона кривых к оси рН, можно судить о чувствительности смазочных и противоизносных свойств того или иного раствора к изменению щелочности в определенном интервале. Так, к примеру, раствор 4 (рисунок 15) является наиболее чувствительным к изменению рН.

Раствор же 3 наоборот, однако, наибольшая величина N_u у раствора 3 лишь 1 тыс. циклов превышает максимальное значение N_u раствора 4. Растворы 1, 2, 5 занимают промежуточное положение, однако свойства растворов 2 и 5 все же предпочтительнее (рисунок 15);

Изнашивание элементов резьбы в коррозионно-активной среде при контактных напряжениях $\sigma_T > 2,0 \cdot 10^3$ И/мм² имеет характер усталостного разрушения. Учитывая, что механический фактор в исследованиях был фиксирован ($\sigma_T > 5,7 \cdot 10$ Н/мм² = Const) можно предположить, что на изменение времени до появления питтинга влияет коррозионный фактор, зависящий от величины рН.

Основная группа металлов (Fe, Al, Zn, Pb, Sn) имеют независимую от рН скорость коррозии только в определенном интервале – в нейтральном, слабощелочном и слабокислом растворах, то есть при незначительных отклонениях от величины рН= 7. При увеличении рН в кислой и рН области скорость коррозии этих металлов резко возрастает. Эти данные хорошо согласуются с

характером, зависимости $N_{ц}$, от pH растворов, на которых видно, что отклонения pH в ту или иную сторону от нейтральной (pH= 7) приводит к уменьшению контактную выносливости шаров;

Необходимо учесть, что с увеличением величины pH после семи, увеличивается скорость образования защитной пленки на стали, то есть увеличивается их коррозионная стойкость. Однако металл, коррозионно-стойкий по отношению к какой-либо агрессивной среде вследствие образования на нем защитной пленки, может оказаться не износостойким по отношению к механическому воздействию. В этом случае коррозионный фактор является ведущим, так как износу подвергается не сам металл или сплав, а защитная пленка или другое адсорбционно-химическое соединение, непрерывно образующееся на поверхности трения под воздействием агрессивной среды.

Таким образом, проведенные исследования позволило сформулировать некоторые положения характера разрушения пар трения качения, работающих в коррозионно-активных средах.

Разрушение поверхности металла шаров при действии контактных нагрузок и среды протекают по следующей схеме.

Поверхностные микротрещины: образовавшиеся в условиях контакта качения; работают как капилляры. Среда заполняет их и конденсируется в вершине трещин. Циклические напряжения, сконцентрированные в вершине трещин и электрохимическая коррозия действуют совместно. Причем следует отметить, что механический и коррозионные факторы не являются обособленными, а взаимно усиливают друг друга. Как известно, коррозия при трении представляет собой два сопряженных процесса:

- электрохимическое или химическое взаимодействие металла со средой;
- механическое изнашивание поверхностных пленок и самого металла.

В свою очередь механические напряжения могут усилить, коррозионное, действие среды, так как они понижают термодинамическую устойчивость

металла, вызывают пластические деформации и нарушают сплошность образовавшихся защитных пленок [8].

Увеличение контактной прочности пары трения качения в растворе с ИКБ-4, возможно связано с защитным действием ингибитора коррозии, механизм которого реализуется следующим образом:

- на поверхности трения адсорбируются ПАВ, входящие в состав ИКБ-4;
- ингибируются коррозионные процессы;
- перераспределяется нагрузка, и снижаются максимальные контактные напряжения, за счет увеличения площади фактического контакта.

Для исследования влияния величины плотности растворов на контактную усталость материала шаров за счет добавления барита был отобран исходный раствор и раствор с ингибитором коррозии ИКБ-4. Из анализа графика видно, что повышение плотности исследуемых растворов приводит к ухудшению смазочных и противоизносных свойств. Различие наиболее выражено для диапазона $pH = 6...10$. Характер зависимостей при сравнении с рисунком 12 остался прежним. Это дает основание не согласиться с автором [31], который утверждает, что утяжеление растворов баритом в интервале $1,4...2,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ не ускоряет питтинг образования.

Анализ полученной зависимости показывает, что увеличение плотности глинистого раствора требует увеличения концентрации добавки. Это связано с тем, что увеличение плотности соответственно приводит к увеличению концентрации абразивных частиц в растворе, ухудшающих условия работы пары трения за счет более интенсивного царапания изнашиваемых поверхностей:

Представляет определенный интерес получение эффекта избирательного переноса в нейтральных и растворах.

3.6 Влияние промывочных жидкостей на контактное давление разрушения смазочной пленки в резьбовых соединениях

Исследования с целью повышения контактного давления разрушения смазочной пленки с реализацией избирательного переноса, осуществлялось в среде глинистой промывочной жидкости от $\rho = 1,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ до $1,80 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, с показателем рН от 7 до 10. Выбор этого диапазона рН обоснован тем, именно в этом интервале щелочности наблюдается резкое ухудшение противоположных свойств растворов (рисунок 15) и соответственно уменьшение числа циклов нагружения до усталостного разрушения.

Выбор состава и параметров исследуемых растворов производился с учетом исследований на четырехшариковой машине трения. Плотность и щелочность была принята:

$$1 - \rho = 1,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, \text{ рН} = 6 \dots 10;$$

$$2 - \rho = 1,25 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, \text{ рН} = 6 \dots 10;$$

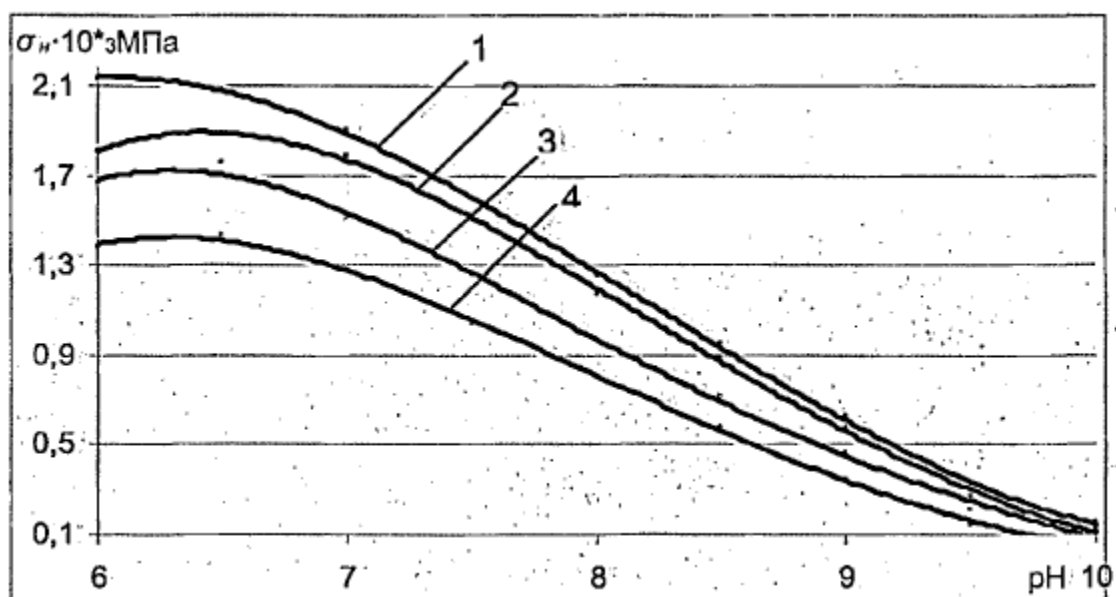
$$3 - \rho = 1,60 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, \text{ рН} = 6 \dots 10;$$

$$4 - \rho = 1,80 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, \text{ рН} = 6 \dots 10;$$

Исследования проводились на растворах, приготовленных на основе бентонитового глинопорошка с 1,0 масс. % содержанием: хлористого натрия (NaCl).

На рисунке 16 представлены зависимости величины средних контактных давлений разрушения смазочной пленки от рН исследуемых растворов и плотностью $\rho = 1,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Из представленных зависимостей следует, что наилучшие свойства показал раствор 1. Это по видимому объясняется меньшей плотностью и наличием в составе ингибитора коррозии высокомолекулярных ПАВов ОП-7 и ОП-10.



1 – $\rho=1,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 + \text{CuSO}_4$; 2 – $\rho=1,25 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; 3 – $\rho=1,60 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; 4 – $\rho=1,80 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

Рисунок 16 – Зависимость среднего контактного давления разрушения смазочной пленки от рН и плотности среды различной плотности [27]

ПАВы, вводимые в растворы, имеют адсорбционное взаимодействие как с поверхностью металла, так и с глинистыми частицами и усиленно работают в условиях граничного трения.

Из анализа зависимостей следует, что величина рН существенно влияет на прочность смазочной пленки, причем это влияние проявляется двояко. Общей тенденцией является то, что с повышением рН выше 6, прочность смазочной пленки убывает. Затем в разных интервалах рН, у разных растворов эта величина убывает. При этом для всех четырех растворов эта тенденция схожа. Для растворов 2–4 в интервале от 6 до 6,5 наблюдается незначительное увеличение среднего контактного давления разрушения смазочной пленки. Затем в интервале от 6,5 до 7,0 наблюдается стремительный спад этих свойств. У раствора 1 наблюдается резкое падение среднего контактного давления разрушения смазочной пленки диапазоне рН от 6,5 до 10.

Исходный глинистый раствор 1 с добавлением медесодержащей добавки показал более высокую смазочную способность в сравнении с водой. Это можно объяснить наличием глины и чашуйчатостью её строения. Также характерным для всех исследованных растворов является то, что при рН 9...10 величины контактных давлений разных смазочных прослоек приблизительно равны. Следует вывод о том, что смазочные свойства растворов становятся схожими, то есть химические добавки в растворах теряют свою эффективность. При таких высоких значениях рН резко возрастает скорость электрохимической коррозии, приводящая к образованию пленки на контактирующих поверхностях, состоящей из продуктов коррозии. Это явление объясняется тем, что при повышенном содержании щелочи происходит коллоидное растворение химических добавок и их отделение от трущихся поверхностей [8].

Смазочный состав с медесодержащей добавкой была испытана в диапазоне рН от 6 до 10. В этом диапазоне резкое уменьшение прочности смазочной пленки, ухудшение смазочных свойств исследуемых технологических промышленных жидкостей.

Анализ результатов исследований, представленных на рисунке 16 показал, что введение медесодержащей добавки повысило величину среднего контактного давления, при котором происходит разрушение смазочной пленки в 1,2...1,8 раза в сравнении с раствором без добавки. Причем раствор с добавкой характеризуется стабильностью смазочных свойств во всем исследованном диапазоне рН, а величина среднего контактного давления разрушения смазочной пленки равнялась $\sigma_n = 2,1 \cdot 10^3$ МПа.

На поверхностях трения наблюдается медесодержащая пленка. При дальнейшем увеличении щелочности медная пленка не оказывает влияния на изнашивание образцов.

Из анализа результатов исследований следует, что характер зависимостей сохранился независимо от плотности. Здесь так же видно, что с увеличением плотности смазочная способность резьбоуплотнительных составов ухудшается.

В связи с изложенным возникает необходимость определения оптимальной концентрации во всем практически используемом в бурении интервале изменений плотности.

Оптимальная концентрация медесодержащей добавки очевидно изменится в зависимости от плотности глинистого раствора. Это обусловлено тем, что с изменением плотности изменяется концентрация абразивных частиц, участвующих в процессе изнашивания.

Анализ полученных результатов показывает, что избирательный перенос в щелочных растворах привела к увеличению контактного давления разрушения смазочной пленки в 1,2-1,8 раза в сравнении с раствором без добавки (рисунок 16). Необходимо так же отметить, что свойства добавки стабильны в исследованном интервале рН. На контактирующих поверхностях образовалась медесодержащая пленка, являющаяся третьим фрикционным телом, обеспечивающим разделение трущихся поверхностей. Это позволяет локализовать сдвиговые напряжения в разделяющей медесодержащей пленке, обеспечивать снижение контактных напряжений и повышение эффективности смазочного действия резьбоуплотнительных составов.

Согласно авторам [8], образование защитной пленки, обогащенной медью приводит к прекращению коррозии изнашиваемых поверхностей, а также снижению сил трения износа.

Механизм образования медесодержащей пленки в щелочных технологических жидкостях видимо определяется электро-химическими процессами на поверхностях трения.

Электрический аспект этого переноса связан с возникновением двойного электрического слоя на поверхностях трения, в результате чего в зазоре между трущимися поверхностями имеется электрическое поле. Это характерно для всех электропроводных смазочных материалов: растворов кислот, солей, щелочей. Электрические явления усиливаются за счет диссоциации глины в воде, так как аналогично дисперсным системам на поверхности частиц образуется двойной электрический слой [23].

Химическая сторона процесса заключается в окислительно-восстановительных реакциях, происходящих при воздействии комплексной соли меди с формальдегидом с образованием комплексных ионов. Образование комплексных ионов меди препятствует выпадению нерастворимого в воде осадка в виде гидроксида меди – $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Это имеет место в случае использования в качестве добавки в щелочные среды ранее применяемой в нейтральных и кислых средах сернокислой меди CuSO_4 .

Образовавшееся в растворе, электрическое поле обуславливает электрокинетические явления, связанные с миграцией комплексных ионов меди к месту фрикционного контакта в электрохимическом процессе между зоной контакта и остальными поверхностями. Этим объясняется осаждение ионов меди не в объеме, а на поверхности трения.

Процесс трения оказывает деполяризующее действие на поверхностные поляризованные слои и способствует «зачистке» поверхностей трения, разрушению окисных пленок и формированию ювенильных поверхностей [8]. Это интенсифицирует разрядку ионов меди на контактирующих поверхностях стальных образцов с образованием пленки меди.

Деформирование поверхностей трения под действием контактных нагрузок приводит к более равномерному распределению закрепившихся частичек меди по стальной поверхности.

Наличие абразивных частиц глинистого раствора в зоне контакта вызывает в отдельных локальных участках значительные концентрации напряжений, что ускоряет процесс пластической деформации и износ поверхностей. Однако если учесть, что сервовитная пленка способна к многократной пластической деформации без отделения частиц и легко подвергается сдвиговой деформации, что можно утверждать, что в зоне трения она будет способствовать уменьшению абразивного изнашивания [8].

Интересно так же отметить, что в кислых растворах медесодержащая пленка образуется раньше, чем в нейтральных. Более подробное изучение этого вопроса может служить предметом отдельных исследований.

Выводы

Исследовав противоизносные свойства промывочных жидкостей показало, что эти свойства зависят от концентрации водородных ионов (рН) в растворе, влияющих на коррозионную активность среды. Установлено, что резкое ухудшение этих свойств начинается с рН=7,5 и ниже, а также в диапазоне рН=8,5...10 наблюдается схожесть их свойств.

Исследован характер влияния, на изнашивание изменения нагрузки от 2 до 5 кН и скорости скольжения от 0,09 до 0,81 м/с в среде многокомпонентных смазок. Установлено, что с увеличением удельной нагрузки износ пары трения возрастает, а с ростом скорости уменьшается.

Предложен состав медесодержащей добавки, включающий комплексную соль меди в количестве равном 0,24 масс. %, реализующий автокомпенсацию износа, в том числе и в щелочных растворах.

Исследование предложенной добавки в лабораторных условиях позволило повысить контактную выносливость в 1,15...3,1 раза, при контактном напряжении $\sigma_n=5,7 \cdot 10^3$ Н/мм², а величину среднего контактного давления разрушения смазочной пленки в 1,2...1,8 раза в сравнении с раствором без добавки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате анализа установлена потребность увеличения ресурса замковых соединений бурильных труб на основе совершенствования методов повышения долговечности резьб при сборке-разборке бурильных колонн в процессе спуско-подъемных операций.

2. Проведены исследования влияния минерализации и плотности в зависимости от нагрузки на давление разрушение смазочной пленки, являющейся причиной уменьшения работоспособности. Выявлено, что минерализация и плотность в зависимости от нагрузки оказывает негативное влияние на давление разрушение смазочной пленки смазочную способность как базовых смазок, в том числе с добавкой графита, так и многокомпонентных смазочных составов, РУС-1, Р-402.

3. Предложен состав смазочной композиции, состоящей из графитной (до 20 масс. %) смазки УСсА с медесодержащей добавкой CuSO_4 реализующей избирательный перенос в смазочных многокомпонентных материалах. Определена оптимальная концентрация медесодержащей добавки, равная 0,24 % от массы смазки с содержанием графита до 20 масс. %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Айзупе Э. А. Измеритель напряжений в бурильных трубах при роторном бурении. - Тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т разработки- и эксплуатации нефтепромысловых труб, Куйбышев; 1978;, вып. 10, Нефтепромысловые трубы, с. 35-37.
2. Барышников А. И. Повышение прочности и долговечности замковых резьбовых соединений Бурильной колонны.
3. Прокофьев А.Н. Технологическое обеспечение и повышение качества резьбовых соединений. Автореф. дис. канд. техн. наук – Брянск – 2008. С. 4-5
4. Басарыгин Ю.М. Булатов А.И. Бурение нефтяных и газовых скважин. Изд-во "Книжная палата", 2003. С.-131.
5. Калинин Практическое руководство по технологии бурении скважин. Изд-во "Книжная палата,", 2002. С.-175.
6. Жиганов В.И., Халимов Р.Ш. Технология электромеханического упрочнения направляющих скольжения металлорежущих станков // Технология машиностроения. №7. 2011. С41- 44.
7. Елагина О.Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. Учебное пособие. 2012. С.-33-35.
8. Инструкция по расчету бурильных колонн. - М. 1997 г.
9. Иосилевич Г. Б. Затяжка и стопорение резьбовых соединений: Справ.пособие. - М. : Машиностроение, 1971. - 183 с. - (Б-ка конструктора).
10. Карпенко Г. В. Влияние среды на прочность и долговечность металлов. - Киев, Наукова думка, 1976. - 125 с.
11. Керимов З.Г., Гнилке В., Мамедова П.М. Определение долговечности бурильных труб по критерию циклической прочности с учетом нагрузок при спуско-подъемных операциях. - Изв. вуз. "Нефть и газ", 1977, №3, с. 101-106.

12. Ковалев М. К. Нарезание и контроль резьбы бурильных труб и замков. — М.: Недра, 1965.
13. Козаченко Н.Е. Вопросы надежности бурильных колонн. - Обзор инф., М., ВИЭМС, 1978, 54 с.
14. Копылов В. Е., Артюшкин В. Н. Быстроразъемные и упругие соединения бурильных труб. - Тюмень, ТГУ, 1983, с. 96.
15. Костецкий Б. И. Трение, износ и смазка в машинах. - Киев, Техника, 1970. - 395 с.
16. Кудрявцев М. В., Тимокин В. М: Влияние технологии изготовления и условий сборки на усталостную прочность резьбовых соединений Тр. ЦНИИТ- маш, 1972. Кн. 112.
17. Кузьминых Д. В. Анализ промысловых данных влияния эксплуатационных факторов на ресурс резьбового соединения бурильных труб/ Д. В. Кузьминых, И. Ю. Быков.// Сборник научных трудов: материалы научно-технической конференции (15-18 апреля 2008 г., Ухта): в 2 ч.; ч. I/ под ред. Е.Г. Д. Цхадая. - Ухта: УГТУ, 2008. - С. 162-166.
18. Кузьминых Л. Я; Замковый переходник. - Разведка и охрана недр. 1959; № 7, с. 55.
19. Панина Т. Д., Литвиненко В. И., Варфоломеев Б. Г. Процессы переработки пластовых вод месторождений углеводородов. Монография - Ухта: УГТУ, 2006. - 172 с.
20. Лачинян Л. А., Угаров С. А. Конструирование, расчет и эксплуатация бурильных геологоразведочных труб и их соединений. М.. «Недра», 1975. 232 с.
21. Лачинян Л.А. Исследование работы замковых резьбовых соединений бурильных труб и разработка рекомендаций по повышению их долговечности в геологоразведочном бурении: - Дис. канд. техн. наук, 1964.
22. Лачинян Л.А. Работа бурильной колонны. - М.: Недра, 1979, 207 с.

23. Лачинян Л.А., Угаров С.А., Андрейко С.Н. Экспериментальное исследование влияния предварительной затяжки на выносливость замковых соединений. -Машины и нефтяное оборудование, 1967, № 11, с. 31-34.
24. Малинский Ф. З., Шибаетов В; А., Золотников М. Г. Результаты экспериментального исследования износостойкости замковых резьб буровых труб. Тр. ВНИИТнефти, Куйбышев, 1982, с. 71-73.
25. Малов Е.А., Дадонов Ю.А., Ефименко В.И. и др. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности. РД 08-200-98.-Москва.-1998.
26. Папшев Д. Д. Упрочнение деталей обкаткой шариками. - М.: Машиностроение, 1968. - 132 с.
27. Проскуров А. П. Исследование и повышение износостойкости долотных сталей при статическом и динамическом нагружении реализацией эффекта избирательного переноса. Диссертация кандидата технич. наук. - М, 1978. - 198 с.
28. Сароян А. Е., Грузинов Я. А. Повышение работоспособности буровых замков. - Машины и нефтяное оборудование, 1973, № 2, с. 6- 8.
29. Сароян А.Е. Механизм и критерий износа замковых; соединений буровой колонны. нефт. х-во, 1984, №4.
30. Сароян А.Е., Коган Р.Н. Статистическая оценка износа замкового соединения буровых колонн; - Нефт. х-во, 1971, №8, с. 10-14.
31. ГОСТ 23.001-2004 Обеспечение износостойкости изделий. Основные положения. Утвержден от 07.07.2005 приказ № 183-ст. Дата ввода документа в действие: 01.01.2006. Госстандарт, - М.: Изд-во стандартов, 2006.
32. ГОСТ 27834-95 Замки приварные для буровых труб. Технические требования. Госстандарт, - М.: Изд-во стандартов, 1995.
33. ГОСТ 27964-88 Измерение параметров шероховатости. Термины и определения. Утвержден: Госстандарт СССР, постановление № 4327 от 20.12.1988 Дата ввода документа в действие: 01.01.1990

34. ГОСТ 30858-2003 Обеспечение износостойкости изделий. Трибо-технические требования и показатели. Принципы обеспечения. Общие положения: Утвержден приказ от 07.07.2005 № 184-ст. Дата ввода документа в действие: 01.01.2006. Госстандарт, - М.: Изд-во стандартов, 2006.

35. ГОСТ 3333-80 Смазка графитная. Технические условия. - М.: Миннефтехимпром СССР, 1981.

36. ГОСТ Р 50864—96 Резьба коническая замковая для элементов буровых колонн. Профиль, размеры, технические требования. Госстандарт, - М.: Изд-во стандартов, 1997.

37. РД 39-2-959-83 «Руководство по предупреждению аварий при бурении скважин» - ВНИИБТ, Куйбышев. 1983.

38. ГОСТ 9490-75 Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине — М.: Изд-во стандартов, 1978.

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

Институт нефти и газа
Кафедра Технологические машины и оборудования нефтегазового ком-
плекса

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Э.А. Петровский

« 06 » июня 2017г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

21.03.01 «Нефтегазовое дело»

21.03.01.07 «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов
нефтегазового производства»

**Повышение долговечности замкового соединения бурильной ко-
лонны при многократном свинчивании**

Руководитель



к.т.н., доцент

В.В. Бухтояров

Выпускник



Д.К. Гурьянов

Красноярск 2017