

На правах рукописи



Кузьминых Дмитрий Владимирович

УДК 622.24.053.6

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ
ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗАМКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ БУРИЛЬНОЙ
КОЛОННЫ ПРИ МНОГОКРАТНОМ СВИНЧИВАНИИ**

Специальность: 05.02.13 – «Машины, агрегаты и процессы»
(нефтяной и газовой промышленности)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

г. Ухта – 2011

Диссертация выполнена на кафедре машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности Ухтинского государственного технического университета

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
Быков Игорь Юрьевич

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
Иванов Сергей Леонидович

Кандидат технических наук
Буслаев Георгий Викторович

Ведущая организация: филиал ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в г. Ухта.

Защита состоится «21» октября 2011 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.291.02 в Ухтинском государственном техническом университете по адресу: ул. Первомайская, 13, г. Ухта, Республика Коми, 169300

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ухтинского государственного технического университета

Автореферат размещен на сайте УГТУ www.ugtu.net в разделе «Диссертационный совет»

Автореферат разослан «20» сентября 2011 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.291.02,
кандидат технических наук, профессор

 Н. М. Уляшева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. 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.

Актуальным и значимым является вопрос увеличения ресурса замковых резьбовых соединений (ЗРС) бурильных труб на основе совершенствования методов повышения долговечности резьб при сборке-разборке колонн в процессе спуско-подъемных операций.

Большой вклад в изучение проблем трения и изнашивания подвижных сопряжений и разработку методов повышения срока службы трибосопряжений машин и оборудования внесли отечественные ученые: Буше Н.А., Гаркунов Д.Н., Горячева И.Г., Дроздов Ю.Н., Колесников В.И., Крагельский И.В., Матвеевский Р.М., Михин Н.М., Семенов А.П., Сорокин Г.М., Хрущев М.М., Чичинадзе А.В. и др.

Принципиально новым направлением в области повышения износостойкости деталей машин явились исследования открытого Д. Н. Гаркуновым и И.В. Крагельским эффекта избирательного переноса.

Однако определение триботехнических характеристик смазочных материалов с наполнителями для резьбовых соединений до сих пор остается

актуальной задачей повышения долговечности резьб замковых соединений бурильных труб.

Цель работы – Совершенствование методов повышения долговечности замкового соединения бурильной колонны при многократном свинчивании.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе сформулированы **основные задачи исследования**:

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.

Научная новизна:

1. Определена оптимальная концентрация медесодержащей добавки CuSO_4 к графитосодержащим смазкам, равная 0,24 % масс, обеспечивающая процесс избирательного переноса и повышения долговечности замкового резьбового соединения.
2. Установлено, что в процессе многократного свинчивания замкового резьбового соединения наименее долговечным является его неподвижный элемент – муфта, резьба которой подвержена наибольшему износу.
3. Выявлено, что максимум контактной выносливости и давления разрушения смазочной пленки достигается в нейтральной среде при $\text{pH}=6,3\dots 6,7$, стремительно снижаясь примерно в 3 раза до минимума при $\text{pH}=8\dots 8,5$.
4. Показано, что в сопоставимых условиях параметры контактной выносливости и давления разрушения смазочной пленки уменьшаются с повышением плотности рабочей среды.
5. Найдено оптимальное соотношение скоростей свинчивания замкового соединения и удельной нагрузки, распределяемой по винтовой линии резьбы, обеспечивающее оптимум долговечности при эксплуатации бурильных замков.

Основные защищаемые положения:

1. Системная оценка влияния эксплуатационных факторов на долговечность замковых резьбовых соединений.
2. Комплекс лабораторно-испытательных и вычислительных методик для определения многофакторности параметров.
3. Оценка влияния удельной нагрузки и скорости скольжения на процесс трения и изнашивания.
4. Метод изучения влияния рН и минерализации на процесс изнашивания металла при трении.
5. Методика определения оптимальной концентрации медесодержащей добавки в смазке для повышения износостойкости резьбы бурильных замков, изготовленных из стали 40 ХН.

Практическая значимость работы состоит в создании методики определения износостойкости замковой резьбы и качества применяемой смазки в процессе плоскопараллельного контактирования витков резьбы при свинчивании-развинчивании и формировании базы данных по триботехническим характеристикам, и технологической эффективности наполнителей из цветных металлов, используемых в смазочных материалах для резьбовых соединений, а также подбором добавки в лабораторных условиях, позволяющей реализовать эффект автокомпенсации износа. А кроме того:

1. Разработаны практические рекомендации повышения долговечности замковых резьб при сборке-разборке бурильной колонны и предложено:

- осуществлять меньшую угловую скорость свинчивания ЗРС равную 40 мин^{-1} , что соответствует линейной скорости для ЗРС с замком 3-133 $v=0,18 \text{ м/с}$ при использовании муфт резьбового соединения с твердостью в пределах 280–300 НВ;

- использовать большую угловую скорость свинчивания ЗРС, равную 84 мин^{-1} , что соответствует линейной скорости для ЗРС с замком 3-133 $v=0,56 \text{ м/с}$, при увеличении нагрузки от массы наращиваемых труб свыше 3,0 кН. В основу рекомендаций положены результаты по методике определения аналитической зависимости $u = f(p)$ - величины износа u от удельной нагрузки p и $u = f(v)$ - величины износа u от линейной скорости скольжения v для различных элементов резьбовой пары, которые позволяют предотвратить преждевременный износ одного из элементов и повысить долговечность замкового соединения в целом.

2. Разработаны рекомендации по применению смазок для резьбовых соединений при работе в минерализованных средах.

3. Разработаны рекомендации по определению оптимальной добавки противоизносного наполнителя тип которого выбирается в зависимости от конкретной технологической операции.

Методы исследования.

Трибологические испытания консистентных резьбовых смазок в режиме трения скольжения выполнены на четырехшариковой машине. Исследования процессов трения и изнашивания пары ролик–колодка в режиме трения скольжения выполнены на универсальном триботехническом комплексе СМТ-1

Измерение твердости материала образцов изучали с использованием ультразвукового твердомера «УЗИТ-2М» импедансного типа с использованием магнитостриктора с алмазом.

Изучение противоизносных свойств выполнены с применением микроскопа МБС-10 по ГОСТ 9490-75 «Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырех шариковой машине» ЧШМ-1 (ограничение по сроку действия отменено).

Изменения суммарного массового и относительного износа образцов фиксировали с помощью весов лабораторных ВЛР-200 с 4-м классом точности.

Достоверность результатов.

Основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, базируются на данных, полученных с привлечением современных теоретических и экспериментальных методов исследований, математического и физического моделирования с использованием вычислительной и измерительной техники, современного исследовательского оборудования и компьютерного обеспечения.

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы докладывались на международных научно-технических конференциях «Севергеозкотех» при Ухтинском государственном техническом университете в 2007-2011 годах, научно-технических конференциях преподавателей и сотрудников УГТУ в 2007-2011 годах, конференциях молодых ученых и специалистов ООО «ЛУКОЙЛ–Коми» в 2010-2011 годах, научно-технической конференции молодых специалистов ООО «РН – Северная нефть» в 2011 году и на конференциях в рамках научно-педагогической школы «Современные

проблемы нефтепромысловой и буровой механики» в 2007-2011 годах, кафедре машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности УГТУ в 2011 году.

Публикации.

Основные результаты исследований опубликованы в 10 работах, в т.ч. 1 статья в изданиях, рекомендованных ВАК по специальности защиты, 3-х тезисов докладов на научно-технических конференциях.

Структура и объем работы: Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, общий объем составляет 125 страниц, включая содержание, 54 рисунка, 21 таблицу, список литературы состоит из 108 наименований.

Диссертация основана на личных исследования автора, которые проводились на опытном полигоне ОАО «ВНИИБТ» и лабораторных исследованиях, выполненных на кафедре машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности Ухтинского государственного технического университета.

Благодарности.

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю: профессору, доктору технических наук Быкову Игорю Юрьевичу за внимательное отношение и помощь в период работы над диссертацией.

Автор выражает благодарность заведующему лабораторией «Резьбовые соединения» ОАО «ВНИИБТ», доктору технических наук Семину Владимиру Ивановичу за помощь в проведении опытных испытаний.

Автор благодарен сотрудникам кафедры машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности Ухтинского государственного технического университета доценту Е. М. Москалевой, к. т. н., доценту Т. В. Бобылевой, к. т. н., доценту В. В. Соловьеву, и ст. преподавателям О. А. Батмановой, Д. Г. Селиванову.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Обосновывается актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследований, научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе произведен подробный анализ существующих методов повышения долговечности резьб замковых соединений бурильных труб.

Конструкции и типам резьбовых соединений бурильных и обсадных труб посвящены труды таких видных научных деятелей как Н. Д. Щербюк, Н.В. Якубовский, А. Е. Сароян, И. Я. Якушев и Г. Б. Иосилевич. Также множество работ посвящено конструктивным и технологическим параметрам конических резьбовых соединений их надежности и сопротивлению усталости. Их авторами являются Лачинян Л.А., Угаров С.А., Андрейко С.Н, Грузинов Я.А., Коган Р.Н., Малинский Ф.З., Шибает В.А., Золотников М.С., Ковалев М.К., Кудрявцев М.В., Тимохин В.М., Барышников А.И. и др.

Произведен анализ факторов изнашивания замкового резьбового соединения. Рассмотрены существующие методики исследования изнашивания ЗРС. Произведена оценка степени значимости и многофакторности процессов изнашивания ЗРС и традиционных методом изучения этих процессов. Стало очевидным, что для решения поставленных задач необходимо произвести:

- обобщение методов расчета для количественной оценки влияния конструктивных параметров резьбы на длину винтовой линии и площадь контакта витков резьбы;
- влияние скорости свинчивания резьбового соединения и удельной нагрузки в резьбе, распределяемой по винтовой линии резьбы;
- изменение смазочных свойств антифрикционных составов (резьбовой смазки) при разных значениях рН и концентрации солей.

Изучены условия эксплуатации ЗРС влияющие на долговечность резьбы.

Учтено, что при воздействии высоких удельных нагрузок, эксцентриситете вышки, несовершенстве спускоподъемного комплекса и отсутствии высокоэффективных смазочных материалов количество отказов ЗРС возрастает.

Изучено влияние фактических динамических нагрузок на работу резьбовой пары при плоско-параллельном скольжении и в присутствии химически агрессивной среды. Установлено, что данные факторы создают благоприятные условия для разрушения резьбы.

Определено влияние резьбоуплотнительных составов на смазочные и противоизносные свойства и разрушение элементов резьбы бурильных замков.

Установлено, что необходимо исследовать:

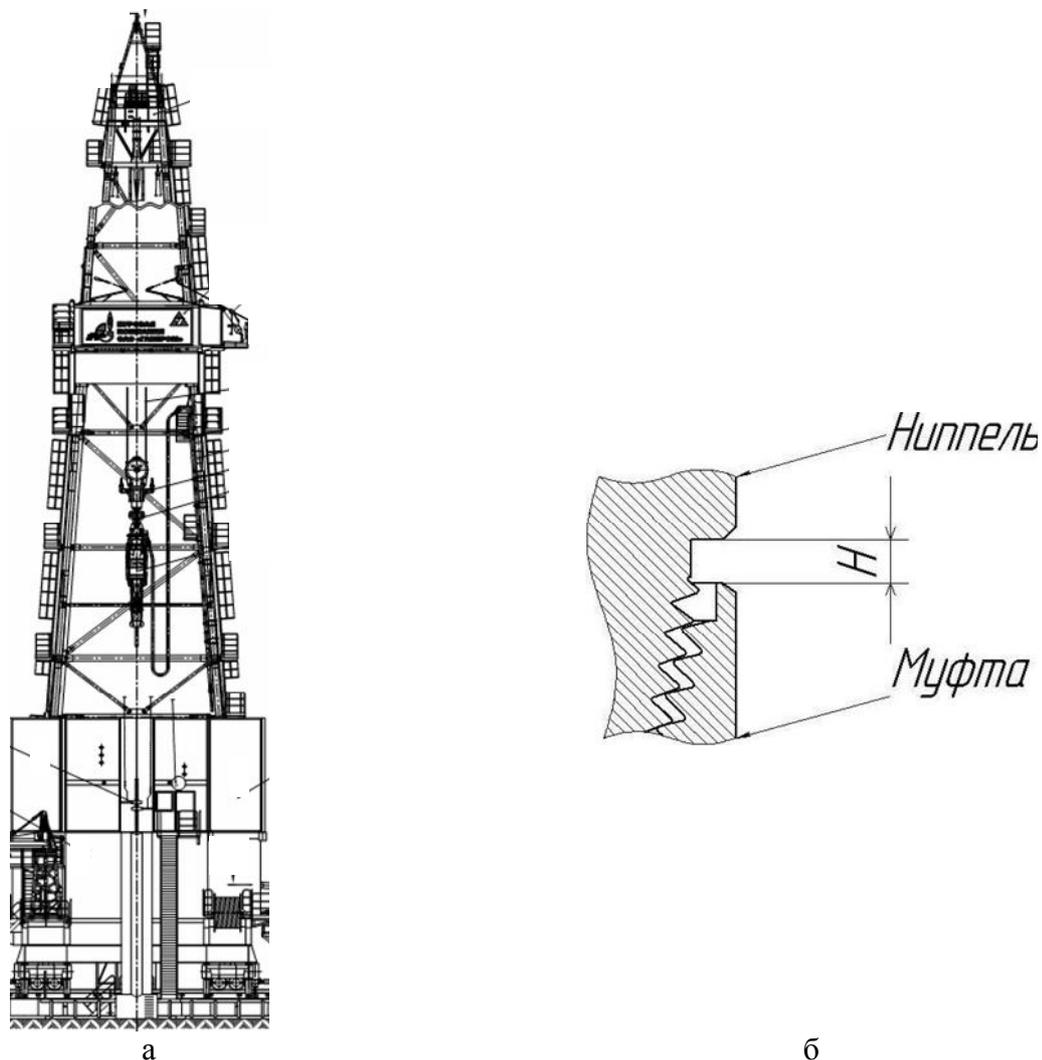
- характер изнашивания замковых резьбовых соединений бурильных труб при изменении нагрузки и скорости скольжения в среде многокомпонентных смазок;

- избирательный перенос (эффект автокомпенсации износа) при применении медесодержащей добавки (в лабораторных условиях) с целью повышения контактной выносливости элементов резьбы и величины среднего контактного давления разрушения смазочной пленки на поверхности резьбы замковых соединений;
- физико-химическое взаимодействие минерализованной среды и щелочного утяжеленного бурового раствора со смазочными материалами на характер износа резьбы.

Во второй главе описаны применяемые в работе методики исследований, материалы, оборудование. Формирование комплекса методик исследования производилось на основании представлений о процессе износа. Приняты существующие методы исследования износостойкости в лабораторных условиях. Установлено, что износостойкость весьма сильно зависит от условий трения, при этом лабораторные испытания с близкой сходимостью должны быть сопоставлены с расчетными показателями и данными, полученными при полномасштабных испытаниях. Исходя из этого, в качестве лабораторных методик исследования использовались: визуально-измерительный контроль, твердометрия и массометрия; кроме того, разработан научно методический комплекс по изучению процессов трения, включающий методики: статистической обработки результатов исследований и планирования эксперимента для обеспечения математической корректности их обработки и достоверности вычислений, испытаний на четырехшариковой машине трения (ЧШМ-1), методику испытаний на универсальном триботехническом комплексе (серийная машина трения СМТ-1), и испытаний резьб при многократном свинчивании на полномасштабном буровом стенде-скважине ОАО НПО «Буровая техника».

Третья глава посвящена исследованию процессов изнашивания ЗРС при многократном свинчивании-развинчивании на полномасштабном буровом стенде-скважине (рисунок 1, 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 "H" (рисунок

1, 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 1 - Взаимное положение замковых деталей при свинчивании

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

$$S_{\Sigma} = \frac{G}{g \cdot l} + \frac{L}{g \cdot l} \cdot \frac{L}{g}, \tag{1}$$

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

G - проходка на долото, м;

L - глубина скважины, м;

l - длина бурильной трубы, м;

g - число труб в бурильной свече.

Среднее число свинчиваний, приходящееся на одну свечу

$$S_{св} = \frac{S_{\Sigma}}{gl} = \frac{L + G}{2G}. \quad (2)$$

В расчете на один замок

$$S_1 = \frac{L + G}{2gG}. \quad (3)$$

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_o , в зависимости от конструктивных параметров, ЗРС определяемых с учетом методики А. П. 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 (L), вступившей в контакт на определенном этапе свинчивания соединения

$$L = \frac{\pi}{2PK} (d^2 - d_1^2). \quad (6)$$

Тогда на произвольном этапе свинчивания имеем:

$$L = \frac{\pi}{2PK} [(D - 2h + K \cdot P_1 \cdot m)^2 - (D - Kl)^2] \quad (7)$$

Суммарная длина витков резьбы, мм

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

Длина винтовой линии резьбы

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

Средний радиус резьбы

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

Влияние центробежных сил на величину наработки ЗРС

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

где $\cos \alpha$ – угол прогиба наращиваемой свечи

Интенсивность изменения критерия H_o , от массы свечи

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

где H_o – расчетное значение критерия работоспособности для новой замковой резьбы, изготовленной по ГОСТ 50864-96, мм

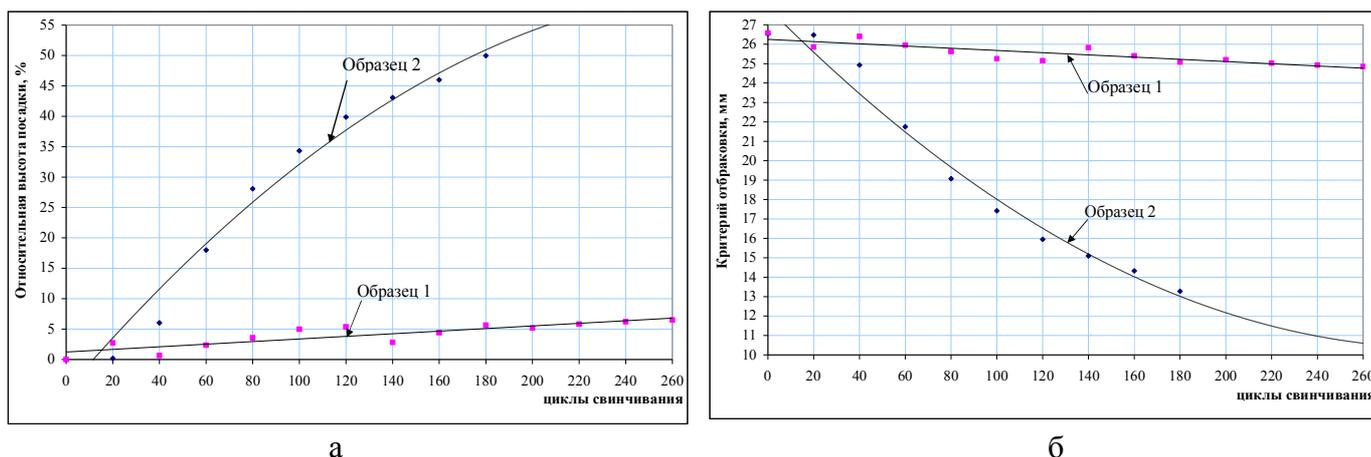
$$H_o = \frac{2 \cdot h_p}{K}. \quad (13)$$

m_{CB} – масса наращиваемой свечи.

Тогда степень износа резьбы определяется из выражения

$$C_H = \frac{H_o - H}{H_o} \cdot 100\%. \quad (14)$$

Стендовые испытания по определению относительной высоты посадки муфты на ниппель (рисунок 2, а) и значения критерия работоспособности резьбы (рисунок 2, б) от числа циклов свинчивания-развинчивания производились со смазками УСсА (Образец 1) и NCS-30ECF (Образец 2).



а – изменение относительной высоты посадки муфты на ниппель, б – определение критерия работоспособности резьбы

Рисунок 2 – Результаты стендовых испытаний

Таким образом из проведенных испытаний следует, что на износостойкость большое влияние оказывает состав смазки, как видно смазка NCS-30ECF показывает кратно лучшие результаты по сравнению с широко используемой в отечественной промышленности смазкой УСсА.

На следующем этапе произведены сравнительные испытания смазок УСсА и NCS-30ECF, а так же для сравнения смазки РУС-1, на четырехшариковой машине трения (ЧШМ-1) (рисунок 3) в соответствии с ГОСТ 9490-75 «Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод

определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине» (ограничение по сроку действия отменено).

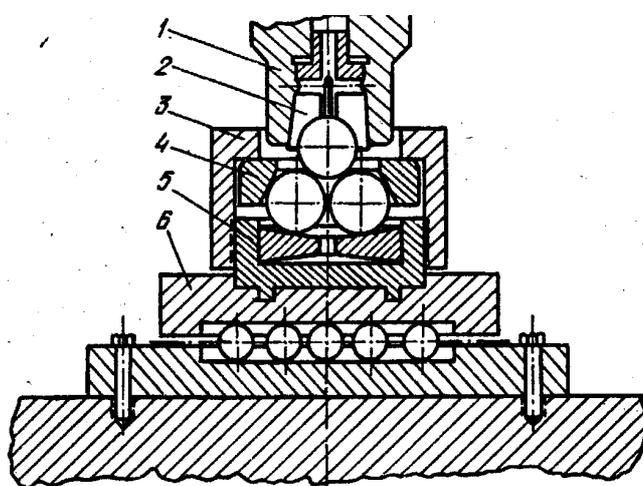
В соответствии с ГОСТ 9490-75 установлены для определения, следующие основные трибологические характеристики смазочных материалов:

- 1) противоизносные свойства - по диаметру пятна износа $D_{и}$;
- 2) противозадирные свойства - по индексу задира I_3 ;
- 3) несущая способность - по критической нагрузке P_K ;
- 4) предельная нагрузочная способность - по нагрузке сваривания P_c .

Принято объединять их в два основных метода испытаний.



а



б

а – общий вид ЧШМ-1, б - схема узла трения

1 – патрон; 2 – цанга; 3 – накидная гайка; 4 – упорная втулка; 5 – испытательная чашка; 6 – упорный подшипник.

Рисунок 3 - Четырехшариковая машина трения (ЧШМ-1)

Первый связан с оценкой противоизносных свойств смазочных материалов и заключается в проведении испытаний при постоянной нагрузке в течение 60 мин с измерением после окончания испытания среднего диаметра пятна износа $D_{и}$. Чем меньше этот диаметр, тем выше противоизносные свойства смазочного материала.

В указанную методику испытаний смазочных материалов на четырехшариковой машине входит оценка трибологических свойств смазочных материалов с помощью комплексного критерия - индекса задира I_3 , представляющего собой условную нагрузку Q , осредненную по всему интервалу использованных при испытании нагрузок - от начальной до P_c . Индекс задира

$$I_3 = \left(\frac{1}{n}\right) \sum Q_i, \quad (15)$$

где n – число испытаний;

$\sum Q_i$ – сумма условных нагрузок от начальной до предшествующей P , Н;

$$Q = P \frac{d_r}{D_{и}}, \quad (16)$$

где P – осевая нагрузка, кН;

$D_{и}$ – средний диаметр пятна износа, мм;

d_r – диаметр зоны упругой деформации шариков (площадка по Герцу) при нагрузке P , мм (значения d_r принимают согласно приложению 2 к ГОСТ 9490-75).

Принято считать, чем больше I_3 , тем выше противоизносные свойства смазочного материала при жестких условиях нагружения (так как при $P < P_k$ диаметр пятна износа $D_{и}$ мало отличается от d_r , а на величину I_3 наибольшее влияние оказывают значения $D_{и}$ при нагрузках, превышающих P_k , когда $d_r < D_{и}$).

Второй метод позволяет оценить противозадирные свойства смазочного материала и заключается в определении диаметров пятен износа на нижних шариках при ступенчато возрастающей нагрузке, действующей на узел трения, с продолжительностью испытания при каждой нагрузке 10 с. Противозадирные свойства смазочных материалов оценивают по критической нагрузке P_k - осевой нагрузке, действующей на узел трения, при превышении которой наблюдается резкое увеличение пятна износа вследствие разрушения смазочного слоя, разделяющего трущиеся поверхности; по нагрузке сваривания P_c - нагрузке, при превышении которой имеет место сваривание шариков и которая характеризует предельную способность смазочного материала предотвращать задир.

Чем больше значения критической нагрузки P_k и нагрузки P_c сваривания, тем выше противозадирная стойкость исследуемого смазочного материала.

Обработка результатов производилась с оценкой сходимости (повторяемости) $D_{и}$ и воспроизводимости R в соответствии с ГОСТ 9490-75.

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

Таблица 1 – Определение показателя износа ($D_{и}$) по ряду нагрузок $P = 0,20–0,78$ кН

Смазка	Средний диаметр пятен износа, $D_{и}$ мм	Сходимость (повторяемость) r , мм	Воспроизводимость R , мм
УСсА	1.92	0.69	0.2
РУС-1	0.95	0.30	0.2
NCS-30ECF	0.76	0.21	0.2

Таблица 2 – Определение индекса задира (I_3)

Смазка	Нагрузк а P , кН	Средний диаметр пятен износа $D_{и}$, мм	Площадка по Герцу ($d_r^{+0,15}$), мм	Условная нагрузка 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	
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	0.60	0.39	0.13	0.30
	0.39	0.68	0.45	0.26	
	0.62	0.82	0.50	0.38	
	0.78	0.93	0.53	0.45	

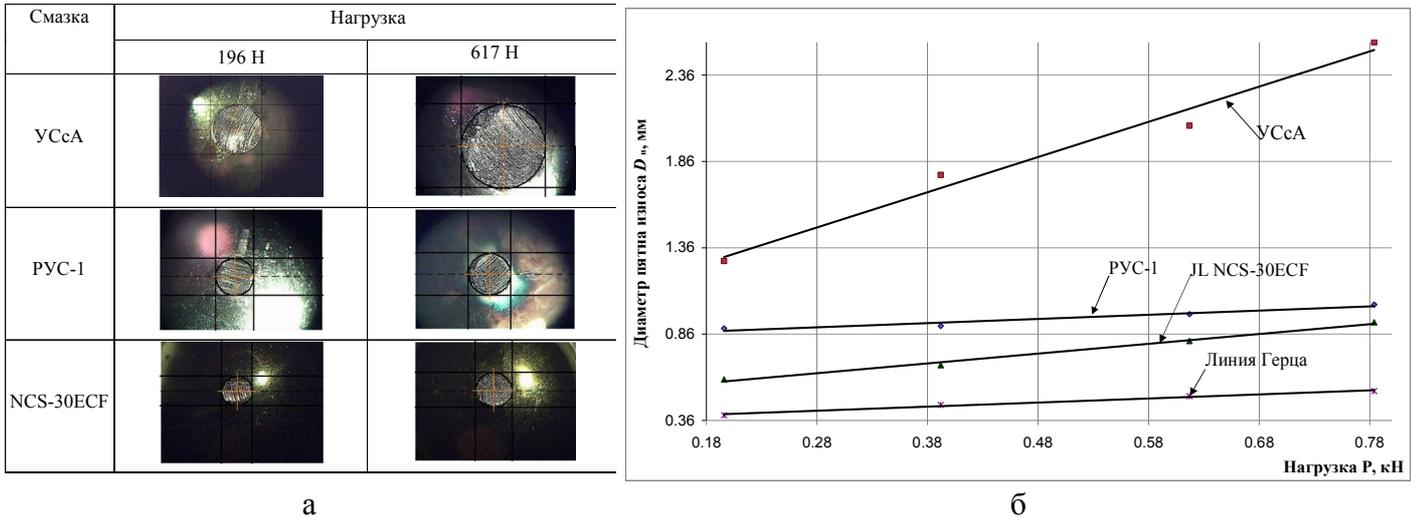
Таблица 3 – Определение критической нагрузки (P_k)

Смазка	Средний диаметр пятна износа, мм	Критическая нагрузка, кН
УСсА*	1.92	$P_k = 0.9$
РУС-1*	0.95	$P_k = 2.18$
NCS-30ECF	0.76	$P_k = 2.24$

Таблица 4 – Определение нагрузки сваривания (P_c)

Смазка	Нагрузка сваривания, кН
УСсА*	$P_c = 2.41$
РУС-1*	$P_c = 4.21$
NCS-30ECF	$P_c = 6.38$

* P_k и P_c для УСсА, РУС-1 по Ф. Н. Янгирову.



а – формы пятен износа при 56 кратном увеличении, б – зависимость величины износа
 Рисунок 4 - Оценка противоизносных свойств смазок

Следующим этапом было проведение испытаний на машине трения СМТ-1.

При этом расчетные нагрузки свинчивания определялись из соотношений:

Удельные давления в резьбе, возникающее в первоначальный момент

свинчивания

$$T = \frac{P}{F}. \quad (17)$$

Нормальные давления в резьбе влияющие на силу трения при свинчивании

$$T' = \frac{M}{d_{cp}} \cdot \text{Sin} \frac{P}{\pi d_{cp}}. \quad (18)$$

Влияние удельных давлений на силу трения с учетом конструктивных параметров резьбы

$$T'' = \frac{M}{\frac{d_{cp} + Kl}{2}} \cdot \text{Sin} \left(\text{arctg} \frac{P}{\pi \frac{d_{cp} + Kl}{2}} \right). \quad (19)$$

Условия расположения замковых деталей при свинчивании влияющие на площадь взаимного контакта F_k

$$F_k = \frac{L \cdot X}{\text{Cos} \alpha \left(1 - \frac{K}{2} \cdot \text{tg} \alpha \right)}. \quad (20)$$

Результаты характера изнашивания при изменении нагрузки и скорости скольжения представлены на рисунках 5-7.

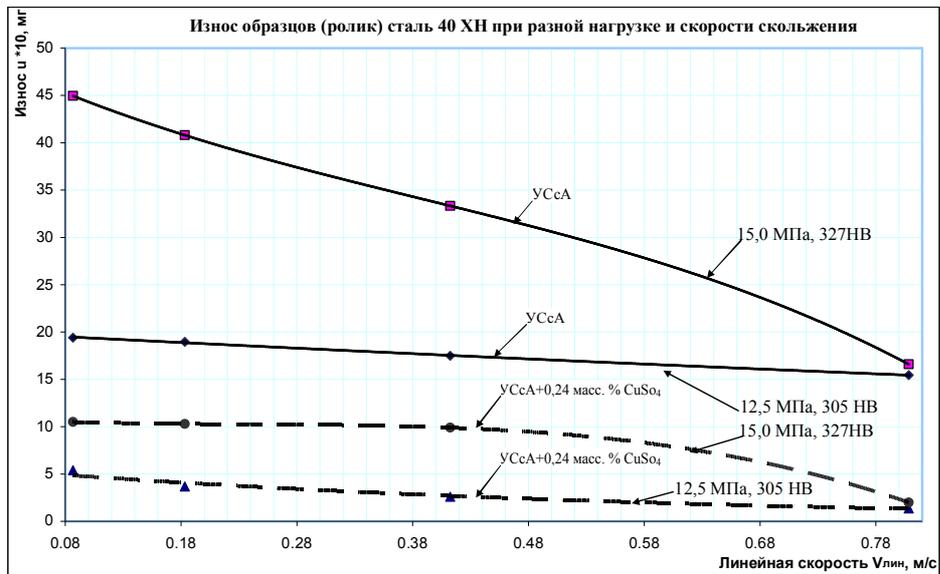


Рисунок 5 - Изменение величины износа (ролика) от нагрузки

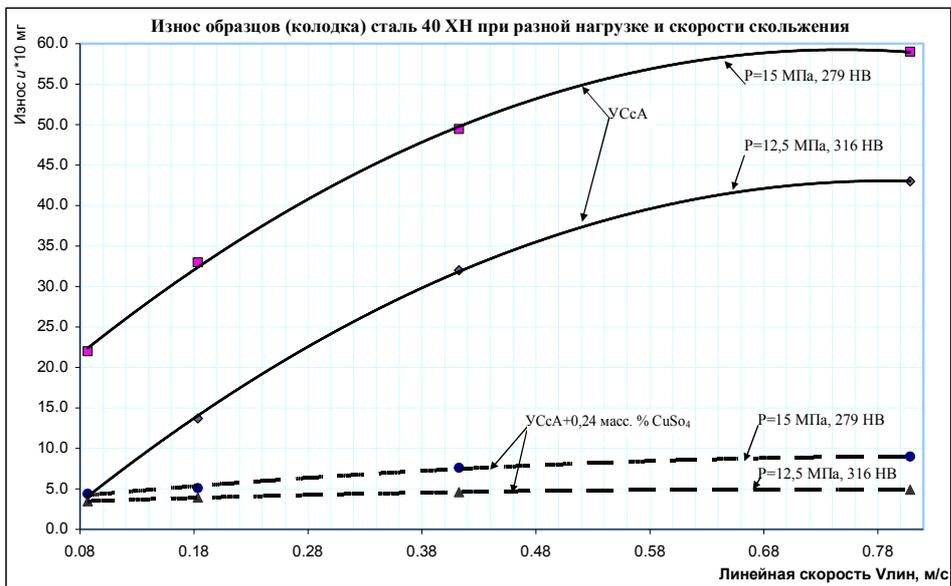


Рисунок 6 - Изменение величины износа (колодки) от нагрузки

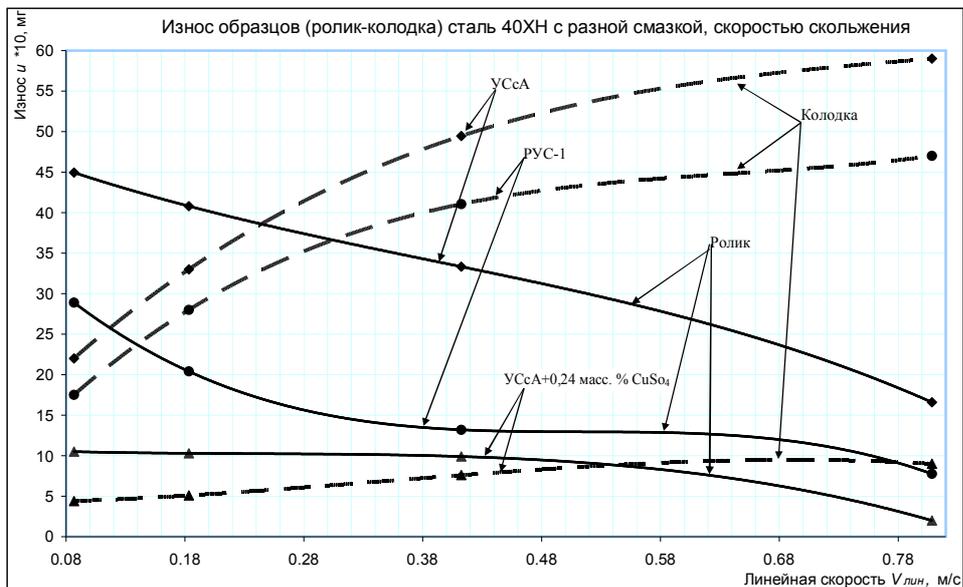


Рисунок 7 - Изменение величины износа при разной скорости скольжения

Наблюдаемая на рисунках 5-7 зависимость уменьшения величины износа ролика при увеличении линейной скорости оказались аналогичными известным кривым, для пары трения вал-втулка (по Гаркунову Д. Н., Хрусталеву Ю. А.) и соответствуют установившимся представлениям о режиме трения с процессом образования микрогидродинамического клина («всплытия») вращающегося образца в среде смазочного материала (рисунок 8).

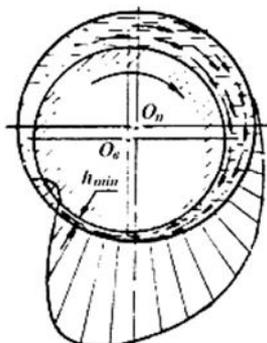


Рисунок 8 - Схема образования микрогидродинамического клина

В общем виде износ деталей в сопряжении выражается зависимостью:

$$U = a \cdot P^m \cdot V^n \cdot \left(\frac{\Delta P}{\Delta \tau} \right)^\kappa \cdot \left(\frac{\Delta V}{\Delta \tau} \right)^l \cdot \tau, \quad (21)$$

где a – величина удельной скорости изнашивания, P – среднее давление; V – скорость скольжения; m , n , κ , l – показатели влияния давления, скорости и их изменения на износ деталей, зависящие также от условий трения; τ – продолжительность работы.

Четвертая глава посвящена исследованию эффективности смазочных композиций с наполнителями и разработке смазочного материала, повышающего долговечность ЗРС.

Выбор минерализованной воды, как одной из исследуемых сред, обусловлен тем, что она также применяется в качестве промывочной жидкости, и в то же время позволяет оценить влияние концентрации солей на изнашивание. Определение эффективности применения смазок в условиях минерализованной среды равной 36,4 г/л представлено на рисунках 9, 10.

Как видно, в среде минерализованной воды диаметры пятна износа существенно увеличиваются. Для компенсации негативного влияния солей на качество смазки использован эффект избирательного переноса, открытый учеными И. В. Крагельским и Д. Н. Гаркуновым. В качестве автокомпенсирующего материала исследована медесодержащая добавка – сульфид меди CuSO_4 .

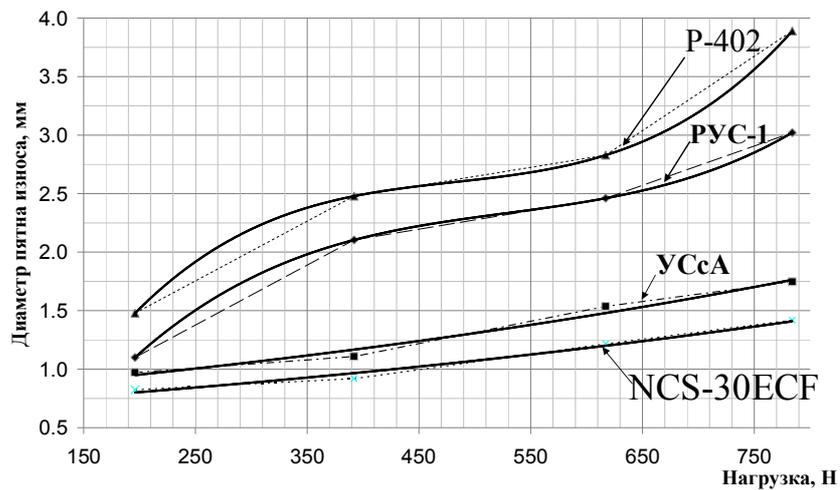


Рисунок 9 - Величина износа при трении скольжении со смазкой без среды

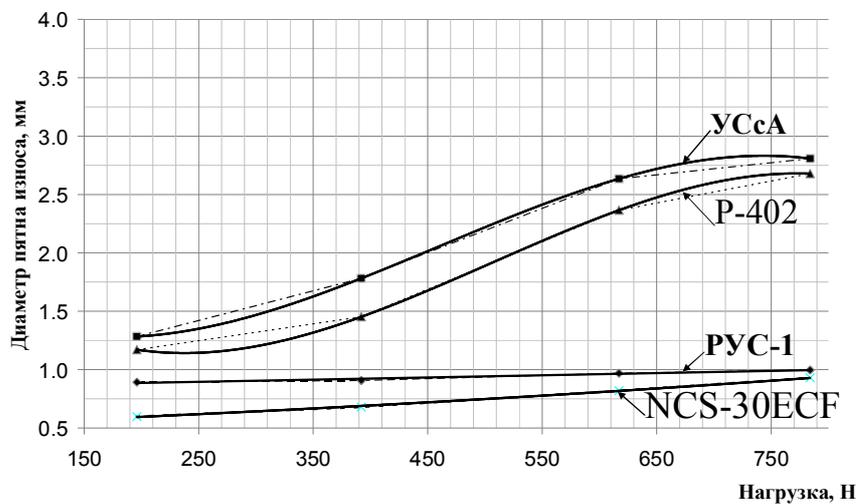


Рисунок 10 - Величина износа при трении скольжении со смазкой в среде

В пятой главе приведены результаты лабораторных исследований влияния смазочных материалов на трение и изнашивание металлических пар в режиме трения скольжения, а также реализации эффекта автокомпенсации износа в исследуемых смазках и средах, путем введения медесодержащей добавки. Теоретическая сущность эффекта автокомпенсации износа основывается на методиках исследования изнашивания металлических пар в зависимости от смазочных и противоизносных свойств антифрикционных составов с различными физико-химическими свойствами.

Произведен подбор оптимальной концентрации медесодержащей добавки к графитной смазке - УСсА (ГОСТ 3333-80) влияющий на контактную выносливость пар трения. По результатам исследования получена зависимость (рисунок 11) оптимальной концентрации сульфата меди CuSO_4 в

медесодержащей добавке, равной 0,24 % масс. Оптимальная концентрация CuSO_4 соответствует максимальным значениям контактной выносливости.

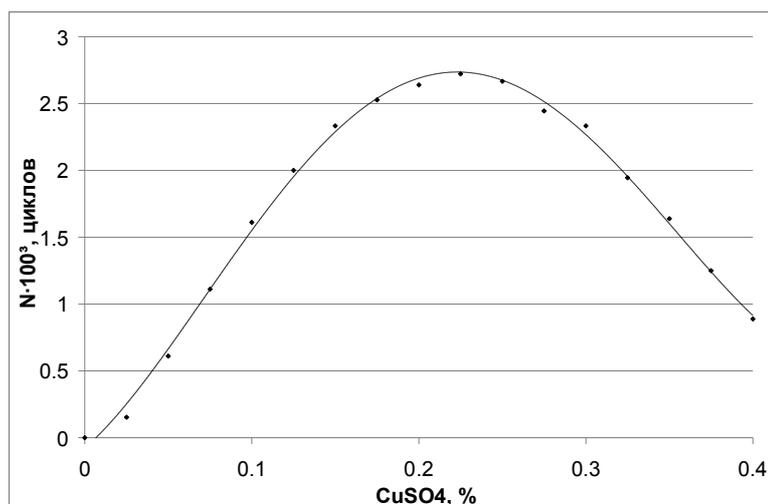
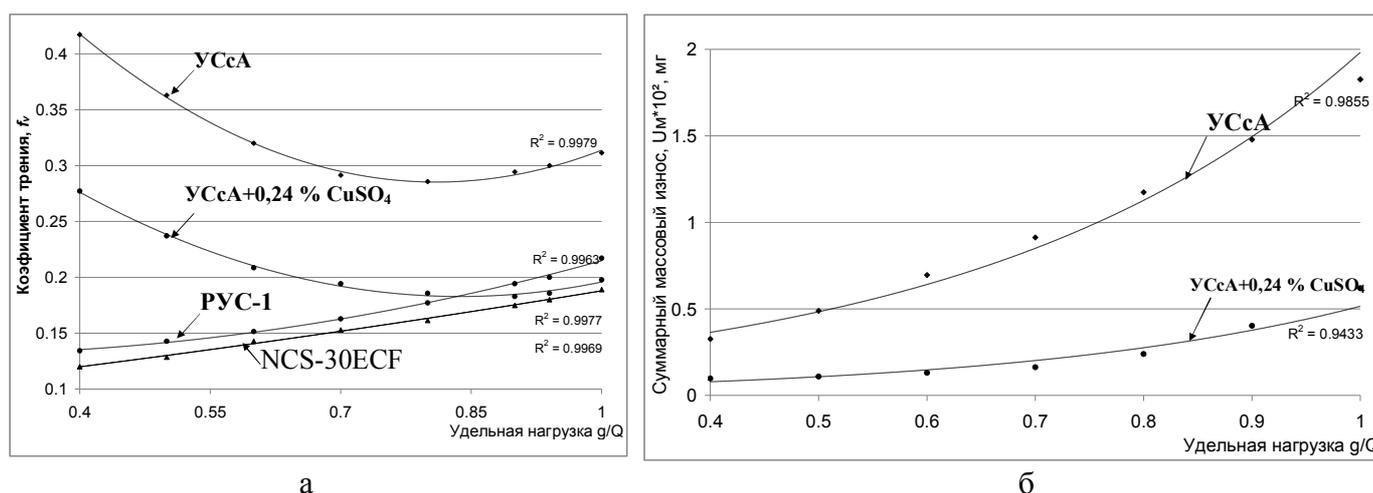


Рисунок 11 - Оптимальная концентрация медесодержащей добавки в смазке

В проведенных и описанных в третьей главе исследованиях установлено что с ростом линейной скорости скольжения износ уменьшается тем больше, чем выше удельная нагрузка. Основываясь на полученных результатах, проведены исследования изнашивания при линейной скорости $v = 0,18$ м/с в среде графитосодержащих смазок с включением медесодержащей добавки.

Испытания производились со следующими составами: 1 – базовая смазка (УСсА); 2 – базовая смазка с 0,24% медесодержащей добавки; 4 – смазка РУС-1, 5 – зарубежная смаза NCS-30ECF. Результаты представлены на рисунке 12.



а – изменение коэффициента трения от удельной нагрузки, б – зависимость суммарного массового износа от удельной нагрузки

Рисунок 12 - Зависимости коэффициента трения и суммарного массового износа от удельной нагрузки

Как видно из результатов исследования смазка содержащая добавку вполне вполне конкурентна при высоких нагрузках, а стоимость на порядок меньше как отечественных так и зарубежных смазок.

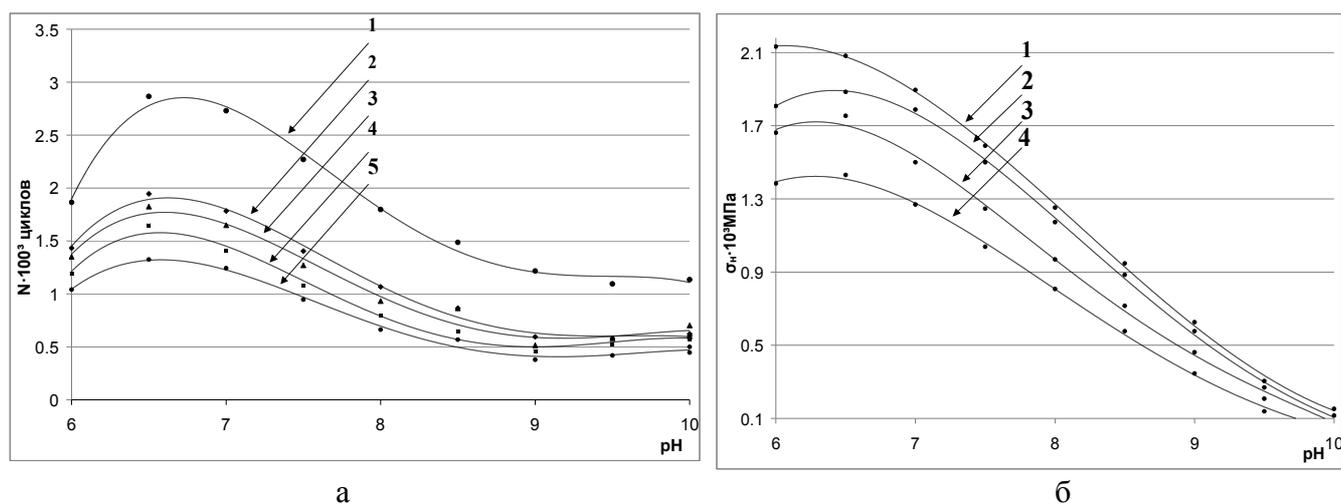
На следующем этапе производилась оценки характера изнашивания от присутствия технологических растворов разной плотности. В качестве добавки к смазкам применялись вода и реальные глинистые растворы, содержащие КМЦ, КССБ, NaCl, NaOH, сульфанол и ИКБ-4, плотностью (ρ) от 1,05 до $1,80 \cdot 10^3$ кг/м³. Растворов утяжелен по существующей технологии. Величина рН исследуемых промывочных жидкостей колебалась в диапазоне 6,0...10.

Для оценки смазочных и противоизносных свойств промывочных жидкостей в режиме скольжения использовалась четырехшариковая машина трения, позволяющая реализовать значительные контактные напряжения.

В испытаниях исследовалась графитная смазка УСсА с добавлением в нее растворов плотностью $\rho=1,05 \dots 1,80 \cdot 10^3$ кг/м³ и рН=6...10.

На основе теории контактного взаимодействия твердых тел, произведен расчет диапазонов контурных давлений, при которых наблюдаются упругий ненасыщенный, упруго-пластичный, пластический ненасыщенный и пластический насыщенный контакты.

Результаты испытаний смазки с присутствием промывочных жидкостей в режиме трения скольжения представлены в виде зависимости числа циклов нагружения (N) до усталостного разрушения (рисунок 13, а) и давления разрушения (рисунки 13, б).



1 – вода; 2 – $\rho=1,05 \cdot 10^3$ кг/м³; 3 – $\rho=1,25 \cdot 10^3$ кг/м³; 4 – $\rho=1,60 \cdot 10^3$ кг/м³; 5 – $\rho=1,80 \cdot 10^3$ кг/м³

а – контактную выносливость, б – давление разрушения смазочной пленки

Рисунок 13 - Влияние рН на контактную выносливость, давление разрушения смазочной пленки

Анализ полученной зависимости показал, что в сопоставимых условиях параметры контактной выносливости и давления разрушения смазочной пленки уменьшаются с повышением плотности рабочей среды, т.е. интенсивность износа увеличивается.

Выявлено, что максимум контактной выносливости и давления разрушения смазочной пленки достигается в нейтральной среде при $\text{pH} = 6,3 \dots 6,7$, стремительно снижаясь примерно в 3 раза до минимума при $\text{pH} = 8 \dots 8,5$.

Основные предложения и рекомендации

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) Предложен комплекс вычислительно-измерительных методик, обеспечивающих тесноту научных исследований в области поиска путей повышения износостойкости замковых резьбовых соединений при их многократном свинчивании.

3) 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.

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

5) Проведены исследования физико-химического взаимодействия пластовых жидкостей с поверхностью металла. Установлено, что при минерализации $36,4$ г/л и плотности $1,039$ г/см³ противоизносные свойства базовых смазок, в том числе с добавкой графита, улучшаются, а многокомпонентных смазочных составов РУС-1, Р-402 ухудшаются и наблюдается инверсия - обратное смещение значений величины износа.

6) 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.

7) 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.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Основные положения диссертации нашли отражение в следующих печатных работах:

1. Кузьминых Д. В. К методике оценки трибологических свойств смазок для повышения долговечности замкового соединения бурильной колонны // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2011. - № 9. - С. 22-28.

2. Кузьминых Д. В. Смазки для резьбовых соединений/ Д. В. Кузьминых, И. Ю. Быков // Сборник научных трудов: материалы научно-технической конференции (17–20 апреля 2007г., Ухта): в 2 ч.; ч. I/ под ред. Н. Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ, 2008. – С. 86–89;

3. Кузьминых Д. В. Влияние 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. Н. Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ, 2008. – С. 162–166;

4. 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. Н. Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ, 2008. – С. 162–166;

5. Кузьминых Д. В. Направления оценки влияния эксплуатационных факторов на ресурс резьбового соединения бурильной колонны в зависимости от технологии ее сборки/ Д. В. Кузьминых, И. Ю. Быков // IX Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех – 2008»: Материалы

конференции (19–21 марта 2008 г., Ухта): в 3 ч.; ч. 2. – Ухта: УГТУ, 2008. – С. 164–166;

6. Кузьминых Д. В. Методики проведения лабораторных исследований износостойкости при трении моделей резьбовых соединений бурильной колонны/ Д. В. Кузьминых, И. Ю. Быков // Сборник научных трудов : материалы научно–технической конференции (14–17 апреля 2009 г., Ухта): в 2 ч.; ч. I/ под ред. Н. Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ, 2009. – С. 106–109;

7. Кузьминых Д. В. Результаты лабораторных испытаний по определению влияния смазок на износ резьбовых соединений/ Д. В. Кузьминых, И. Ю. Быков // Сборник научных трудов : материалы научно–технической конференции (14–17 апреля 2009 г., Ухта): в 2 ч.; ч. I/ под ред. Н. Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ, 2009. – С. 109–113;

8. Кузьминых Д. В. Методика определения остаточного ресурса резьбового соединения при свинчивании и развинчивании/ Д. В. Кузьминых, И. Ю. Быков // X Международная молодежная научная конференция «Севергеозкотех – 2009»: материалы конференции, (18–20 марта 2009 г., Ухта) в 4 ч.; ч. I. – Ухта: УГТУ, 2009. – С. 253–257;

9. Кузьминых Д. В. Оценка степени износа образцов бурильных труб в среде смазочного материала при переменной линейной скорости скольжения в соотношении с угловой скоростью сборки бурильной колонны/ Д. В. Кузьминых, И. Ю. Быков //XI Международная молодежная научная конференция «Севергеозкотех – 2010»: материалы конф, (18–20 марта 2010 г., Ухта) в 4 ч.; ч. I. – Ухта: УГТУ, 2010. – С. 253–257;

10. Кузьминых Д. В. Влияние нагружения на коэффициент трения опытного образца при различной скорости вращения в смазочной среде/ Д. В. Кузьминых, И. Ю. Быков //Сборник научных трудов: материалы научно–технической конференции (13–15 апреля 2010 г., Ухта): в 3 ч.; ч. I/ под ред. Н. Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ, 2010. – С. 195–198.