

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

Институт нефти и газа

Кафедра технологических машин и оборудования
нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Э.А. Петровский

« _____ » _____ 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Повышение надёжности зубчатых передач

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

Руководитель старший преподаватель _____ С.Г. Докшанин

Выпускник ГБ13-04 081314301 _____ С.К. Апресян

Красноярск 2017

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

Институт нефти и газа

Кафедра технологических машин и оборудования
нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ Э.А. Петровский

« _____ » _____ 2017 г.

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

Студент Апресян Сатеник Кареновна

Группа ГБ13-04 Направление 21.03.01.07

Эксплуатация и обслуживание технологических объектов нефтегазового производства

Тема выпускной квалифицированной работы: Повышение надёжности зубчатых передач

Утверждено приказом по университету №-
от _____

Руководитель выпускной квалификационной работы старший преподаватель СФУ Докшанин Сергей Георгиевич.

Исходные данные для ВКР: Технические характеристики редуктора РЦС – 1,53; Материалы патентно – информационного поиска смазочных материалов с металлоплакирующими добавками; Результаты экспериментальных исследований смазочных композиций с добавлением нанодисперсного порошка меди.

Перечень разделов ВКР: Анализ методов повышения износостойкости зубчатых передач; метод повышения износостойкости на стадии эксплуатации применением смазочных материалов с металлоплакирующими добавками; анализ результатов применения металлоплакирующих смазок.

Перечень графического материала: Чертежи редуктора РЦС – 1,53. Презентационный материал в количестве 15 слайдов, связанный с перечнем разделов ВКР.

Руководитель ВКР

подпись

ициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

ициалы и фамилия

« _____ » 2017 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Повышение надёжности зубчатых передач» содержит 80 страниц текстового документа, 27 использованных источников, 2 листа графических материалов.

Объект работы: Редуктор РЦС – 1,53 привода силового агрегата АСДУ.

Цель работы: Повышение надёжности зубчатых передач применением металлоплакирующих смазочных материалов.

Реализация поставленной цели достигается путем выполнения следующих задач:

1 Анализ методов оптимизации конструктивных решений узлов трения, технологических методов повышения износостойкости деталей, эксплуатационных мероприятий по повышению долговечности зубчатой передачи;

2 Рассмотрение основ явления избирательного переноса;

3 Обзор смазочных композиций с ультрадисперсными присадками, анализ достигнутых их применением результатов;

4 Расчет интенсивности изнашивания зубчатой передачи.

В ходе выполнения ВКР был рассмотрен эффект безызносности, его физические основы, механизм образования серовитной плёнки. Проведен обзор и анализ применяемых смазочных композиций с металлоплакирующими добавками. Рассмотрены материалы, осуществляющие механизм избирательного переноса в нефтегазовом оборудовании. Сформулирована и решена задача по повышению надёжности зубчатого зацепления.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Методы повышения износостойкости зубчатых передач.....	10
1.1 Машины и механизмы, использующие зубчатое зацепление	10
1.2 Причины отказов и поломок зубчатых передач.....	12
1.3 Оптимизация конструктивных решений узлов трения	13
1.4 Технологические методы повышения износостойкости деталей	16
1.5 Эксплуатационные мероприятия по повышению долговечности	23
Выводы по главе.....	24
2 Металлоплакирующие смазочные материалы	26
2.1 Общие сведения.....	26
2.2 Механизм действия (избирательный перенос)	27
2.2.1 Обнаружение избирательного переноса при трении.....	27
2.2.2 Механизм образования сервовитной плёнки	28
2.2.3 Физические основы эффекта безызносности	29
2.2.3.1 Осуществление контакта поверхностей трения через пластически деформируемый мягкий и тонкий слой металла	31
2.2.3.2 Предотвращение процесса окисления металла на поверхностях трения	32
2.2.3.3 Реализация эффекта Ребиндера	33
2.2.3.4 Перенос частиц с одной поверхности трения на другую и удержание их в зоне контакта.....	34
2.2.3.5 Образование продуктов полимеризации смазочного материала на поверхности сервовитной плёнки	35
2.2.3.6 Защита поверхности трения от водорода	36

2.3 Возможности использования металлоплакирующих смазочных материалов в технике	37
2.4 Применение в буровом оборудовании	50
Выводы по главе	56
3 Результаты исследования применения металлоплакирующих смазочных материалов	57
3.1 Расчет геометрии зацепления	57
3.2 Определение интенсивности изнашивания зубьев	66
Выводы по главе	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	74
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	75
Приложение А	78
Приложение Б	80

ВВЕДЕНИЕ

Нефтегазовая отрасль России представляет собой высокомеханизированное производство. Оборудование, используемое для бурения скважин, добычи, сбора и подготовки нефти и газа, в значительной мере определяет научно-технический прогресс в нефтегазовой отрасли, широкое внедрение прогрессивных форм организации труда, эффективность капитальных вложений и качество выполняемых работ.

Непрерывный процесс оснащения предприятий нефтегазодобывающих обществ новым оборудованием всё более сложной конструкции и необходимость обеспечения высокого уровня технической готовности и экономичности его работы обуславливают резкое увеличение объемов работ по техническому обслуживанию и ремонту. Всё это повышает требования к состоянию всех звеньев эксплуатационной службы и требует коренного улучшения организационных форм использования оборудования по назначению, его технического обслуживания и ремонта.

Широкое применение в нефтегазовой области нашел механизм, заключающий зубчатую передачу в отдельный корпус – редуктор. Конструкция ведущего колеса и вала-шестерни остается постоянна и незаменима во времени, а постоянно увеличивающиеся нагрузки не позволяют вопросу повышения надежности зубчатых передач терять свою актуальность.

Надежность машины зависит от методов и условий эксплуатации, принятой стратегии технического обслуживания и ремонта, режимов работы и других факторов. Интенсивность износа зубчатых колес напрямую связана со скоростью их вращения, плавностью работы двигателя, ударными нагрузками, воспринимаемыми при монтаже редуктора а также работе валов, климатическими условиями. Все эти факторы влияют на срок службы редуктора и способны в значительной мере снизить его.

В период эксплуатации износу подвержены посадочные отверстия валов, подшипники качения, зубчатые колеса, уплотнения валов. И если процедура капитального ремонта подшипников и уплотнений подразумевает их замену, то ремонт зубчатых колес, напротив, представляется более сложной операцией: он возможен только в специально оборудованных помещениях, а транспортировка и демонтаж составляют значительную долю расходов. В связи с этим, повышение надежности зубчатых передач является важной задачей, а целью её решения – увеличение срока службы машины.

Эффективным способом снижения трения и износа представляется использование явления избирательного переноса. Наиболее простым и результативным методом реализации эффекта безызносности является применение металлоплакирующих смазочных материалов. Для достижения металлоплакирования и обеспечения защиты контактирующих при трении деталей в стандартные масла или пластичные смазки добавляют порошки мягких металлов, их сплавов и нерастворимых или малорастворимых химических соединений. Современные исследования смазочных материалов этого класса, разработка их составов и технологий применения в узлах трения базируются на применении средств, методов и продуктов нанотехнологий.

Целью настоящей выпускной квалификационной работы является повышение надёжности зубчатого зацепления посредством применения металлоплакирующих смазочных материалов, содержащих наноразмерные присадки.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- Исследование конструкционных, технологических и эксплуатационных мероприятий по повышению надежности зубчатых передач тяжелонагруженного бурового оборудования.
- Изучение основ явления избирательного переноса: механизма образования серповитной плёнки, физических основ эффекта безызносности.

- Информационно – патентный обзор применяющихся ультрадисперсных присадок, анализ достигнутых их применением результатов.
- Расчет интенсивности изнашивания зубчатой передачи редуктора РЦС – 1,53.

1 Методы повышения износостойкости зубчатых передач

1.1 Машины и механизмы, использующие зубчатое зацепление

Зубчатые передачи являются наиболее распространенными типами механических передач, получивших распространение во всех отраслях машиностроения. Конструкция ведущего колеса и шестерни остается постоянна и незаменима для точных приборов, элементов автомобилестроения, авиационной промышленности.

В нефтегазовой области широкое применение нашел механизм, заключающий зубчатую передачу в отдельный корпус – редуктор, и предназначенный для преобразования высокой скорости вращения на входном валу в низкую на выходном, при этом увеличивающий момент вращения пропорционально уменьшению угловой скорости.

Лебёдка, представленная на рисунке 1, является основным механизмом буровой установки, его главная функция заключается в произведении спуско-подъемных операций. Коробка перемены передач выполняет важную роль в работе оборудования: она сообщает вращение подъемному валу лебедки, преобразовывающему это движение силового привода в поступательное движение талевого каната. Иногда применяются коробки перемены передач, повышающие технико-экономические показатели буровой установки в целом и сокращающие число валов и цепных передач [2].



Рисунок 1 – Буровая лебёдка ЛБУ-1200

Привод штанговой скважинной насосной установки, представленной на рисунке 2, состоящий из силового органа, уравновешивающего устройства и собственно привода, предназначен для преобразования энергии двигателя в возвратно-поступательное движение колонны насосных штанг [3].



Рисунок 2 – Штанговая скважинная насосная установка

Редукторные турбобуры используются для бурения скважин с отбором керна при сниженной частоте вращения и увеличенном моменте на выходном валу турбобура, эксплуатируются с применением различных буровых растворов [4].

В состав всех силовых агрегатов АСДУ, применяемых на буровых установках ЗД-76, ЗД-86, 3000 БД входит понижающий одноступенчатый цилиндрический редуктор РЦС-1,53, представленный на рисунке 3[5]. Его конструкция представляет собой заключенные в отдельный корпус ведущий вал-шестерню и ведомый вал с прямозубой цилиндрической парой и эвольвентным профилем зубьев. Производится заводами «Уралмаш», Уральским заводом нефтяного и металлургического оборудования и др., применяется для снижения оборотов и передачи момента от дизельных двигателей к приводным шкивам силового агрегата [6].

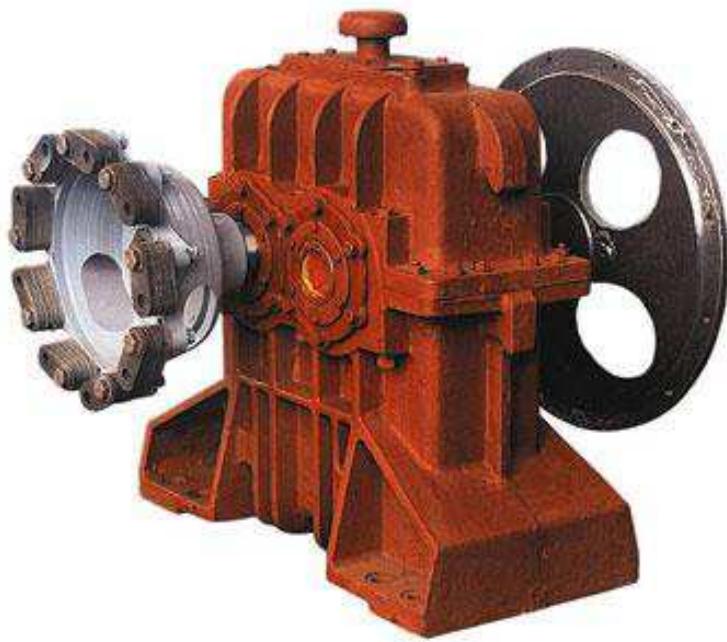


Рисунок 3 – Одноступенчатый редуктор РЦС-1,53

1.2 Причины отказов и поломок зубчатых передач

Нефтегазовое оборудование эксплуатируется в условиях повышенных нагрузок, приводящих к преждевременному разрушению оборудования. В период эксплуатации редуктора износу подвержены посадочные отверстия валов, подшипники качения, зубчатые колеса, уплотнения валов. И если процедура капитального ремонта подшипников и уплотнений подразумевает их замену, то ремонт зубчатых колес, напротив, представляется более сложной операцией: он возможен только в специально оборудованных помещениях, а транспортировка и демонтаж составляют значительную долю расходов. В связи с этим, повышение надежности зубчатых передач является важной задачей, а целью её решения – увеличение срока службы машины.

Многообразие видов разрушения зубчатых колёс при трении связано с физико – химическими и механическими процессами в зоне контакта, которые зависят от климатических условий, условий трения (скорости скольжения деталей, нагрузки, давления, температуры) и качества применяемых смазочных материалов.

К основным факторам, определяющим износ, относятся:

- Пластические деформации. Их результатом является наклёт поверхности и разрушение их микронеровностей;
- Окислительные процессы. Как известно, при трении окислительные процессы протекают очень интенсивно. И хотя окисные плёнки препятствуют схватыванию и глубинному вырыванию, они очень хрупки, быстро разрушаются и образуются вновь;
- Взаимное внедрение сопряженных поверхностей. При скольжении это явление вызывает образование неровностей поверхности и их разрушение при многократном воздействии;
- Адгезионное схватывание контактирующих деталей, приводящее к переносу материала одной детали на другую и усилению изнашивания;
- Накопление в поверхностях трения водорода ускоряет процесс изнашивания;
- Абразивное воздействие твёрдых частиц на поверхности трения.

Способность машины выполнять требуемые функции в условиях применения и заданных режимах транспортирования, хранения и технического обслуживания в установленных пределах во времени называют надежностью. Проблема надежности касается трех сфер: проектирования, изготовления и эксплуатации оборудования [7].

1.3 Оптимизация конструктивных решений узлов трения

Модернизация конструкций машин и оборудования совершается при постоянном стремлении к увеличению их производительности, а это практически всегда сопровождается ростом механической и тепловой напряженности узлов трения. Именно поэтому перед конструктором стоит задача создания новых усовершенствованных подвижных сопряжений деталей. Помимо этого, необходимо достигнуть высокой надёжности и

долговечности машины, снизить ее массу, сократить расход используемых материалов. Особенно важны эти задачи при массовом производстве оборудования. Известно, что повышение долговечности машины влечет за собой экономию используемого металла, и, как следствие, снижение затрат на изготовление запасных деталей. В связи с этим, уменьшается число и объем ремонтов, чем увеличивается число фактически работающих машин.

Конструктору необходимо учитывать экономические факторы производства и эксплуатации, проводя перспективный прогноз длительности использования данной машины а также ей предшествующих моделей, обычно этот промежуток времени колеблется в районе 25 лет. При выборе конструктивных решений, помимо затрат на изготовление механизма, учитываются затраты на ремонт и обслуживание, которые при длительной эксплуатации способны в значительной мере превышать стоимость оборудования. Поэтому основное внимание конструктора должно быть сконцентрировано на сокращение затрат труда и времени на смену вышедших из строя деталей и на регулировочные работы, повышение КПД машины, снижение скорости изнашивания узлов трения машины [8, с 11 – 12].

Долговечность и безотказность работы оборудования зависят, в первую очередь, от работы проектировщика. Надежность закладывается в конструкцию машины на первом этапе её создания и определяется следующими параметрами:

- материалами, используемыми при изготовлении;
- технологичностью строения;
- методами защиты от всевозможных вредных воздействий;
- приспособленностью к ремонту и техническому обслуживанию.

Выбор материалов для изготовления детали представляется сложной задачей и зависит от конструкции и назначения узла. Подробная последовательность действий представлена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Последовательность действий при выборе конструкционного материала

В качестве примера повышения надежности узла трения конструкционным методом рассмотрим патент № 6837123 B2 US [9].

Настоящее изобретение обеспечивает решение для контактных точек высокого напряжения, вызывающих преждевременный выход из строя

рабочего колеса, обеспечивая зону рельефа, схематично изображенную на рисунке 5, представляющую собой относительно мелкое углубление на рабочем профиле колеса.

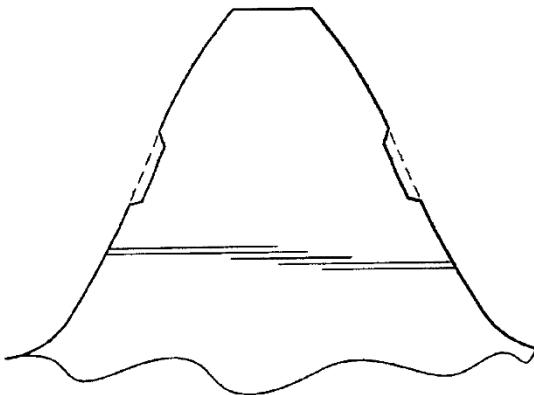


Рисунок 5 – Профиль зубчатого колеса

Известно, что напряжение между зубьями шестерни должно быть полностью распределено по контактным участкам в соответствии с передаваемым крутящим моментом. Это приведет к повышению напряжения для зубьев шестерни, снабженных рельефными зонами в соответствии с настоящим изобретением. Однако такие несколько более высокие давления распределены в гораздо более широком диапазоне площади контакта, что приводит к относительно небольшому повышению давления в любой заданной точке и полностью устраниет центральный скачок давления, создаваемый во время зацепления обычных эвольвентных передач.

Настоящее изобретение позволяет избегать скачка напряжения на контакте зубьев, и соответственно, снижать интенсивность износа, тем самым увеличивать надёжность работы зубчатого зацепления.

1.4 Технологические методы повышения износостойкости деталей

В задачи технологии входит изготовление материалов и заготовок с заданными свойствами, приданье им требуемой формы и необходимой

точности, упрочнение рабочей поверхности деталей, а также их сборка в агрегаты и испытание машин.

На данном этапе следует выбрать такие размеры деталей и обеспечить условия их работы, при которых интенсивность разрушения будет минимальной. Здесь определяются максимальные допустимые рабочие нагрузки и скорости относительного перемещения трущихся поверхностей, выбираются наиболее совершенные устройства смазки оборудования, оптимальные посадки в сопряжениях а также предусматривается высокая ремонтопригодность основных частей оборудования, обеспечивающая простоту ее технического обслуживания и ремонта.

Для изготовления деталей применяются уже известные материалы, удовлетворяющие техническим условиям, а также удовлетворяющие разнообразным специфическим условиям службы механизма новые, непрерывный поиск которых обусловлен повышением требований к конструкционным материалам в связи с усовершенствованием старых конструкций а также изобретением современных.

Технологическое обеспечение заданной формы, точности, размеров и качества обработанных поверхностей деталей заключается в выборе способов и режима обработки, а также геометрии режущего инструмента. При резании металлов эти параметры оказывают влияние на износостойкость в связи с глубиной и степенью наклёпа материала, геометрией обработанной поверхности. При определённых режимах резания металлов возможны структурные изменения в поверхностном слое, фазовые превращения. В следствие этого в металле возникает одна из разновидностей технологических концентраторов напряжений, вероятно образование шлифовочных трещин [10, с. 32 – 33].

Технологические методы повышения износостойкости деталей машин и механизмов накапливались постепенно в течение десятилетий развития машиностроения. Все эти способы можно сгруппировать следующим образом:

- Химико-термическая обработка: цементация, азотирование, хромирование, цианирование, цицилирование, алитирование, сульфоцианирование и сульфирирование и др.;
- Термическая обработка: пламенная поверхностная закалка, высокочастотная закалка, поверхностная закалка с нагревом в электролите, лазерное упрочнение;
- Химическая обработка: глубокое анодирование, оксидирование, фосфатирование;
- Поверхностное пластическое деформирование: обкатка шариками и твердосплавными роликами, дробеструйная обработка, алмазное выглаживание, упрочнение чеканкой, гидрополирование, обработка поверхности взрывным нагружением;
- Электроискровое упрочнение;
- Гальванические покрытия: хромирование, никелирование, железнение, борирование, родирование, серебрение, лужение, свинцевание и покрытие сплавами;
- Химические покрытия: никелирование, хромирование, покрытие кобальтом и сплавами никель-кобальт;
- Способы придания поверхности антифрикционных свойств: графитирование, накатывание (углубления, канавки), нанесение покрытий в вакууме, нанесение дисульфида молибдена, трение-износование и бронзирование – ФАБО (финишная антифрикционная безабразивная обработка), покрытие пластмассами (вихревой и газопламенные методы), металлизация напылением;
- Наплавка: электродуговая, электрошлаковая, виброродуговая;
- Нанесение износостойких покрытий методом конденсации в вакууме с ионной бомбардировкой (метод КИБ);
- Нанесение твердосмазочных покрытий на основе молибдена методом магнетронного напыления для узлов сухого трения.

В данной работе будет рассмотрена возможность обработки поверхностного слоя зубчатых колес насыщением углеродом и азотом.

В качестве одного из методов повышения надежности зубчатой передачи рассмотрим процесс насыщения азотом поверхностного слоя деталей – азотирование [8, с. 331 – 335]. Основными достоинствами обработанного слоя являются высокая твёрдость и устойчивость против коррозии практически во всех средах: на воздухе, в пресной воде, паровоздушной среде, а при соответствующем подборе состава сплава даже в газовой среде. В зависимости от назначения различают два вида обработки – твердостное и антикоррозионное .

Поскольку атомарный азот проявляет значительно большую активность при взаимодействии с металлом, нежели молекулярный, то обычно используют аммиак,

При взаимодействии с металлом молекулярный азот проявляет меньшую активность, нежели атомарный. Его возможно получить в следствие диссоциации азотсодержащих соединений. Для этого применяется аммиак, который сразу после обезвоживания подается в муфель печи, представленной на рисунке 6, на подвешенные детали или в герметичный ящик с деталями. Аммиак пропускают с такой скоростью, чтобы только его часть (20 ... 25%) подвергалась разложению в процессе азотирования, поскольку водород препятствует хорошему взаимодействию металла с азотом.

К основным недостаткам азотирования следует отнести увеличение размеров обрабатываемой детали, а ряде случаев и коробление. Последующая обработка азотируемых участков деталей подразумевает полирование или размерное шлифование.

Чем выше температура протекания операции, тем выше скорость диффузии азота и диссоциация аммиака, протекающая по реакции, представленной в формуле 1:



Рисунок 6 – Печь азотирования

Процесс насыщения поверхности детали азотом начинается с температуры нагрева 470 °C. Разложение аммиака на азот и водород с большей интенсивностью протекает при температуре свыше 500 °C. При повышении температуры до 600 °C нитриды железа начинают распадаться. По этим причинам оптимальным режимом проведения азотирования принята температура 520 ... 560 °C. Такой диапазон температур позволяет получить в азотированном слое мелкую структуру нитридов железа и легирующих элементов. При повышении температуры операции твердость поверхности снижается.

Азот диффундирует в глубь детали в среднем на 0,1 мм в час, а за 60...70 часов можно добиться азотированного слоя толщиной 0,6...0,7 мм.

Рассматриваемая обработка обладает следующими преимуществами:

- меньшая температура протекания процесса (сравнивая с цементацией и закалкой);
- более высокая твёрдость слоя;

- большая коррозионная и износостойкость;
- лучшая полируемость;
- сохранение неизменными свойств азотированной поверхности при повторных нагревах вплоть до температуры 500 ... 600 °C.

Антикоррозионное азотирование повышает износостойкость стали и способно увеличить в 50 ... 60% сопротивление усталостному разрушению конструкционной стали. Его температурный режим колеблется от 500 до 850 °C в течение 10 минут – 3 часов. Глубину азотированного слоя, равную 0,5 мм можно добиться выдержкой детали при температуре 650 °C за 3 часа.

Один из методов повышения эффективности процесса азотирования рассмотрен в патенте №2574944 RU [11].

Это изобретение относится к металлургии износостойких сталей и направлено на приданье азотируемому слою твёрдости, соизмеримой с цементуемыми зубчатыми колёсами.

Такая химико-термическая обработка, как цементация, позволяет достигнуть высоких значений характеристик контактной выносливости при изгибе. Однако последующие многократноповторяющиеся высокотемпературные нагревы и охлаждения способны значительно деформировать зубчатые колёса, а также снизить размерную точность деталей.

Техническим результатом изобретения является создание способа термической обработки азотируемых деталей, увеличивающего контактно-усталостную прочность азотируемых деталей, и, в результате, повышающего работоспособность высоконагруженных пар трения, в частности зубчатых передач для судовых редукторов.

Наиболее близким техническим решением, выбранным в качестве прототипа, является патент №2048547 RU [12]. Его сущность заключается в проведении двукратной объемной закалки и отпуска, а также последующего

двухступенчатого азотирования с температурным режимом первой ступени 500 – 540 °С в течение 10 – 20 часов и при 540 – 570 °С 20 – 40 часов.

Недостатком указанного изобретения является то, что им не обеспечиваются высокие значения контактно-усталостной прочности из-за резкого снижения твёрдости азотированного слоя по глубине.

Технический результат данного изобретения заключается в том, что после объемной закалки и отпуска производится нагрев детали со скоростью 30 – 50 °С/час до температуры 450 °С и выдержка в ней с погрешностью 10° в течение 2 – 5 часов. Затем следует охлаждение на воздухе, механическая обработка, и непосредственно азотирование.

Охлаждение на воздухе после отпуска сопровождается незначительным количеством выделений третичного цементита. В процессе карбидных реакций происходит растворение цементита и более тугоплавких карбидов, из-за чего усложняется проникновение азота в решётку матрицы.

Проведение перестраивания феррита при температуре 450 °С позволяет выделить и коагулировать карбиды цементитного типа и тем самым облегчить проникновение азота в октаэдрические поры матрицы, где ранее располагались атомы углерода.

Заявителем были выполнены лабораторные и опытно-промышленные работы для отработки технологии термической и химико-термической обработки высоконагруженных пар трения для судовых редукторов.

В частности, было проведено азотирование шестерен из стали 38Х3М1Ф1А, химический состав которой представлен в таблице 1. А в приложении А наглядно представлены результаты измерения поверхностной и подповерхностной твёрдости, а также механические свойства деталей, азотирование которых проходило по двум ступеням.

Таблица 1 – Химический состав выплавленной стали марки 38Х3М1Ф1А

Марка стали	Содержание элементов, масс, %												
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Mo	V	S	P	Al	As	N ₂
38Х3М1Ф1А	0,37	0,49	0,66	3,18	0,17	0,08	0,65	0,38	0,004	0,006	0,005	0,005	0,008

Полученные результаты показали, что на глубине 0,4 – 0,8 мм подповерхностная твердость деталей, подвергнутых дополнительному старению, оказалась на 650 Мпа выше, чем у деталей, не прошедших данную термическую обработку. Основной технико-экономический эффект заключается в перспективе создания новых образцов специальной техники с повышенной долговечностью высоконагруженных пар трения за счет специального режима термической обработки перед проведением газового азотирования.

Повышение твёрдости трущихся деталей в течение многих лет оставалось основным направлением снижения с износа трущихся деталей. Для реализации этой идеи было разработано множество методов, применяющихся при изготовлении деталей: цементирование, азотирование, хромирование, поверхностная закалка, наплавка твёрдыми материалами и др. Это позволило решить множество вопросов, связанных с повышением ресурса машин.

Однако увеличение нагрузок в узлах трения, ухудшение в некоторых случаях условий смазывания деталей, повышение требований к КПД механизмов, применение специальных смазочных материалов и жидкостей поставили методы повышения надежности путём увеличения твёрдости деталей в не оправдываемое положение.

1.5 Эксплуатационные мероприятия по повышению долговечности

К сожалению, совершенство конструкции и высокое качество изготовления машины не дают гарантий длительной и безаварийной работы, и немаловажными факторами являются методы и условия эксплуатации, принятая стратегия технического обслуживания и ремонта, режимы работы и др.

Способы повышения надежности оборудования, применяемые в эксплуатации, могут быть разбиты на две группы. Первую категорию

составляют методы, используемые на этапах проектирования и изготовления машины. Инженер-эксплуатационщик, основываясь на изучении опыта использования оборудования, имеет возможность разработать ряд рекомендаций для конструкторов, направленных на обеспечение требуемого качества оборудования (совершенствование схемы, замена элементов, изменение конструкции, применяемых материалов). Эти рекомендации согласовываются с проектировщиком и вводятся специальными указаниями (доработками). Ошибочно предполагать, что при эксплуатации устраняются только конструкционные и производственные ошибки, хотя доля таких ошибок всё еще велика.

Вторая группа мероприятий, обеспечивающих надежность при эксплуатации, относится к воздействию на оборудование обслуживающего персонала. В данной работе будет рассмотрена возможность повышения надежности зубчатых передач на стадии их эксплуатации посредством улучшения качества применяемого смазочного материала. Для достижения данной цели в его состав добавляют различные вещества (добавки и наполнители), снижающие коэффициент трения и уменьшающие износ. Далее будет рассмотрена возможность применения ультрадисперсных порошков меди [7, с. 118 – 119].

Выводы по главе

В данном разделе был проведён обзор машин нефтегазового комплекса, в конструкции которых применяется механизм зубчатой передачи, рассмотрены основные причины ее выхода из строя.

Повышение износостойкости зубчатого колеса и шестерни возможно на трёх стадиях. Были рассмотрены методы повышения надежности на каждом этапе: проектировании, изготовлении, эксплуатации детали. На стадии конструирования прибегают к изменению профиля рабочей поверхности. На втором этапе, при изготовлении, применяют различные

методы упрочнения, такие как цементация, азотирование, сплошная или поверхностная закалка зубьев, цианирование, накатывание. Наиболее новой и прогрессивной является возможность повышения надежности зубчатых передач на стадии их эксплуатации посредством улучшения качества применяемого смазочного материала .

2 Металлоплакирующие смазочные материалы

2.1 Общие сведения

Термин «металлоплакирующие» смазочные материалы появился в 1962 году в связи с изобретением смазочного материала, реализующего эффект избирательного переноса.

Класс смазочных материалов, содержащий в составе (по массе от 0,1 до 3 и более %) присадок: порошков мягких металлов (олова, свинца, меди и др.), сплавов и их окислов, солей и комплексных соединений металлов, металлоорганических соединений. Их разработка обусловлена доказательством существования эффекта безызносности, согласно которому трение может быть созидательным явлением.

Использование ультрадисперсных порошков мягких металлов и сплавов в смазочных материалах является одним из направлений повышения работоспособности узлов трения [13]. Наибольшее распространение получили порошки меди и медных сплавов. Как правило, металлоплакирующие препараты – это суспензия ультрадисперсного порошка в углеводородном носителе с добавкой поверхностно-активных веществ для предотвращения слипания частиц порошка.

В процессе эксплуатации узлов трения в зоне контакта из введенных присадок самопроизвольно образуется тонкая, трудно поддающаяся окислению, защитная самовосстанавливающаяся металлическая пленка. Толщина такой пленки колеблется от нескольких атомных слоёв до 1-2 мкм. В литературе плёнка получила название «сервовитной» от латинских слов *servo-wite* – спасать жизнь [8, с. 213].

2.2 Механизм действия (избирательный перенос)

2.2.1 Обнаружение избирательного переноса при трении

В середине 50-х годов в ходе исследования технического состояния шасси самолётов было обнаружено самопроизвольное образование тонкой пленки меди в парах трения бронза – сталь при их смазывании спиртоглицериновой смесью. Тонкая плёнка меди толщиной около 1...2 мкм покрывала сталь и бронзу. Эта плёнка снижала износ трущихся узлов и снижала силу трения примерно в 10 раз. Примерно в то же время было обнаружено подобное явление при использовании смазки ЦИАТИМ – 201 в парах трения сталь – бронза (шарнирно – болтовые соединения). А немного позже и в парах трения сталь – сталь домашнего бытового холодильника при смазывании маслодреоновой смесью [10, с. 336].

Более подробные изучения показали, что медная пленка в паре сталь – бронза образуется из-за анодного растворения бронзы. При этом процессе такие легирующие элементы, как алюминий, олово, цинк и железо уходят в смазочный материал и поверхность обогащается медью. Когда поверхность деталей покроется медью, растворение бронзы прекратится и установится режим избирательного переноса.

В домашних холодильниках медная пленка в паре трения сталь – сталь была следствием растворения медных трубок охладителя холодильника. Поступая в маслодреоновую смесь, ионы меди двигались в зону контакта и формировали защитную медную плёнку: компрессоры холодильника способны сохранять работоспособное состояние десятками лет.

Явление избирательного переноса при трении, или эффект безызносности, противоположно изнашиванию по своему характеру. Во время трения при изнашивании все процессы носят разрушающий характер, в то время как процессы избирательного переноса необратимы и относятся к самоорганизующимся процессам неживой природы.

Под эффектом безызносности подразумевается принцип, уменьшающий силы трения и интенсивность изнашивания деталей. В силу специфических условий работы различных узлов трения, эффект безызносности проявляется не в полной мере. Однако в реальных условиях возможно добиться такого результата, что поверхности трения будут не только препятствовать изнашиванию, но и самовосстанавливаться. Как было упомянуто выше, создаются условия, способные восстанавливать изношенные машины без их разборки. Это требует проведения специальных технологий.

2.2.2 Механизм образования сервовитной плёнки

В паре трения сталь – сталь образование сервовитной плёнки возможно при наличии в смазочном материале мелких частиц бронзы, меди, свинца, серебра, алюминия и др. Поверхности деталей покрываются металлической плёнкой, состоящей из ультрадисперсных применяемых порошков. При работе порошки способны частично растворяться в смазочном материале и в результате восстановления окисных плёнок на их поверхности прочно схватываются со сталью, образуя сервовитную плёнку. Образованная сервовитная плёнка достаточно пориста, и содержит в порах смазочный материал. Это способствует снижению коэффициента трения при высоких нагрузках, и, как следствие, стальные поверхности не изнашиваются [10, с. 363].

Суть этого механизма заключается в том, что содержащийся в составе смазочного материала металл при определенных условиях выделяется на поверхности фрикционного контакта с образованием металлической пленки, защищающей в некоторых случаях поверхность трения от разрушения или уменьшающей износ и приводящей в еще более редких случаях к реализации избирательного переноса при трении со свойственными только ему уникальными триботехническими характеристиками пары трения.

Современный уровень знаний о механизмах металлоплакирования и безызносности при трении связан с нанотехнологическим подходом при объяснении уникальных триботехнических характеристик и синергетическим поведением открытых трибологических систем, что позволяет объяснить сверхантифрикционность и безызносность при использовании металлоплакирующих смазок и технологий протеканием в зоне трения самоорганизующегося процесса микромодифицирования поверхности первичными нанопорошками, в роли которых могут выступать любые металлы содержащие продукты, образующие на дефектах поверхности трения под воздействием выделяемой при трении энергии новые активные центры зарождения и роста нанокристаллических структур в виде микропокрытий, существенно отличающихся по свойствам от исходного материала поверхности. Свойствами таких покрытий можно управлять с помощью состава и свойств первичных нанопорошков так, что они могут сочетать одновременно сверхпластичность с износостойкостью или обладать другими заранее контролируемыми параметрами. Таким образом, металлоплакирующие смазки, добавки и присадки являются эффективным средством улучшения триботехнических свойств различных смазочных материалов, но не могут быть и не являются панацеей от всех бед при трении металлов [14].

2.2.3 Физические основы эффекта безызносности

Анализ физических процессов, происходящих при избирательном переносе, изучался в сравнении с процессами, которые протекают при граничном трении, поскольку этот вид наиболее изученный и широко распространённый в узлах трения механизмов и машин. Ранее были отмечены основные факторы, определяющие износ при граничном трении:

- Пластические деформации, способные привести к разрушению микронеровностей и наклёпу поверхностей;

- Окислительные процессы, обусловленные образованием при трении окисных плёнок, препятствующих схватыванию и вырыванию, но быстро разрушающихся;
- Взаимное внедрение поверхностей трущихся деталей, и, как результат, образование неровностей поверхностей и их разрушение;
- Адгезионное схватывание, переносящее материал одной детали на другую и вызывающее усиление изнашивания;
- Наводороживание поверхностей трения деталей.

В связи со всеми вышеперисленными факторами, защита от износа должна быть многофакторной. И хотя применение смазки защищает поверхности от изнашивания и предохраняет от схватывания, оно не способно противостоять взаимному внедрению неровностей, пластическому деформированию, окислению и разрушению окисных плёнок и других необратимых процессов.

Защитные системы при избирательном переносе строятся по принципу избыточности, так как сервовитная пленка способна поглощать деформацию, а внедрение неровностей практически отсутствует. Шероховатая поверхность имеет впадины, которые заполнены веществом, сервовитной плёнкой. Она обладает свойствами смазки и способна нести нагрузку. Отличительной особенностью вещества является свойство сохранности – смазка не уносится из зоны контакта, а лишь поступает туда и удерживается там. Именно такой многофакторной защитой отличается от граничного трения явление избирательного переноса.

Действительно, сервовитная пленка исключает взаимодействие шероховатостей поверхностей, а электрический заряд частиц износа возвращает частицы в зону контактного взаимодействия поверхностей.

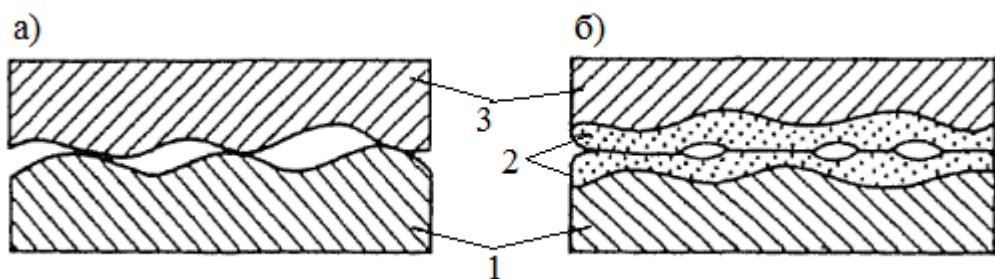
Также необходимы меры против окисления металлов, поскольку окисные пленки, разрушаясь при трении, составляют часть расхода металлов

на износ. При избирательном переносе это достигается восстановительным характером химических процессов при трении.

При избирательном переносе достигаются малые силы трения и безызносность узлов трения. Рассмотрим подробнее факторы, обеспечивающие достижение этого эффекта.

2.2.3.1 Осуществление контакта поверхностей трения через пластически деформируемый мягкий и тонкий слой металла

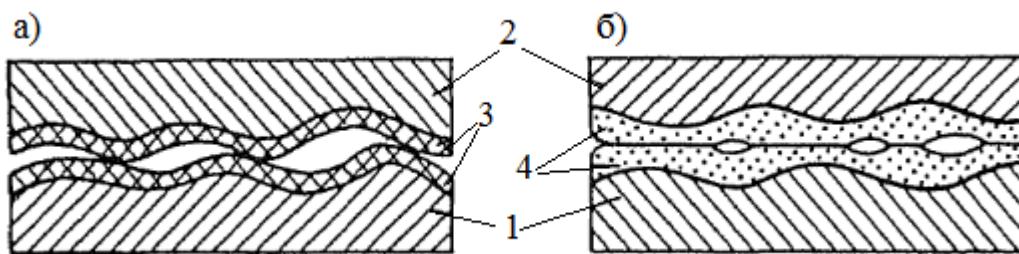
В условиях обычного трения (при наличии смазки или её отсутствии) детали контактируют на очень малой площади сопряженных поверхностей, составляющей $0,01 - 0,0001$ часть номинальной площади. Поэтому участки фактического контакта воспринимают весьма высокие напряжения, приводящие к таким нежелательным последствиям, как пластическая деформация, интенсификация изнашивания а также взаимное внедрение участков контакта. Сервовитная пленка увеличивает площадь фактического контакта в 10-100 раз, и снижает напряжение в зоне сопряжения, поэтому материалы деталей воспринимают лишь упругие деформации. Износ поверхностей трения при этом резко снижается. На рисунке 7 представлена схема контакта деталей при граничной смазке а также с использованием металлоплакирующих смазочных материалов [10, с. 376 – 378].



1 – сталь; 2 – бронза; 3 – сервовитная плёнка (медь, олово)
Рисунок 7 – Схема контакта деталей при граничной смазке (а)
и индивидуальном переносе (б)

2.2.3.2 Предотвращение процесса окисления металла на поверхностях трения

Как известно, во время трения (при отсутствии смазочного материала или с граничной смазкой) поверхности деталей покрываются окисными плёнками, представленными на рисунке 8. Эти окисные плёнки предотвращают непосредственный контакт трущихся поверхностей и их схватывание при разрушении масляных плёнок, которое чаще всего происходит в зоне непосредственного контакта шероховатостей при температурных вспышках.



1 – сталь; 2 – бронза; 3 – окисные плёнки; 4 – серовитые плёнки
Рисунок 8 – Образования на поверхности контакта деталей при граничной смазке (а) и при индивидуальном переносе (б)

К сожалению, окисные плёнки достаточно хрупкие и не способны многократно деформироваться. В процессе трения они подвержены разрушению в первую очередь, поэтому обладают низким защитным действием. При повышении температуры в зоне контакта окисные плёнки постепенно утолщаются, но объем их разрушения при этом увеличивается.

Режим избирательного переноса протекает без окисления поверхностей, поэтому на трущихся деталях не образуется окисных плёнок. Защитную функцию поверхностей от окисления выполняют плотные слои положительно заряженных адсорбированных поверхностно – активных веществ. Эти вещества образуются в процессе трения и затрудняют поступление кислорода к серовитной плёнке. Отсутствие окисных плёнок уменьшает величину работы выхода электрона и способствует протеканию

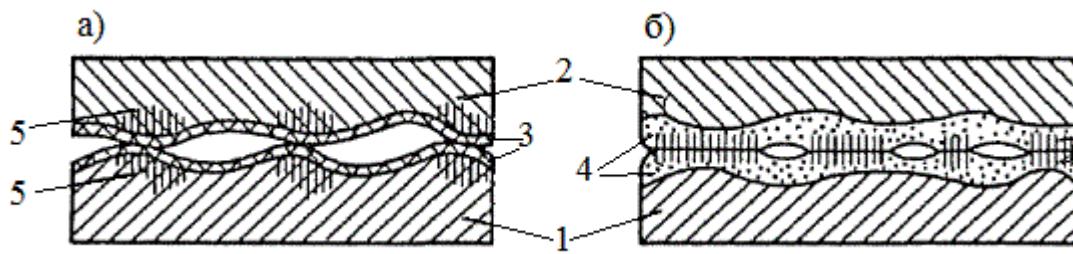
хемосорбционных процессов, в результате которых создается дополнительная защита поверхностей от изнашивания.

В условиях обычного трения окисные плёнки затрудняют выход дислокаций на поверхность, из-за этого усиливается наклёт поверхностного слоя и его разрушение. Сервовитная плёнка не наклёпывается и способна многократно деформироваться без разрушения, так как при отсутствии окисных плёнок дислокации в ней легко выходят на поверхность и разряжаются. Помимо этого, дислокации могут разряжаться и в поры самой плёнки [10, с. 378 – 379].

2.2.3.3 Реализация эффекта Ребиндера

В состав практически большинства смазочных материалов входят поверхностно – активные вещества (ПАВ). Этот факт предопределяет возможность пластификации поверхностных слоёв материалов сопрягающихся деталей и снижения сил трения в результате действия эффекта Ребиндера [15]. Про обычном трении окисные плёнки затрудняют процесс проникновения среды (а вместе с ней и ПАВ) к металлу, за счет чего снижается эффект Ребиндера; в результате этого пластические деформации участков контакта охватывают более глубокие слои. Схема распространения деформаций в местах контакта представлена на рисунке 9 [10, с. 379].

При процессе избирательного переноса окисные плёнки отсутствуют, что способствует наилучшей реализации эффекта Ребиндера. В результате деформации подвергается только сервовитная плёнка, а предповерхностные слои металла деформации не претерпевают. Молекулы ПАВ находятся в порах сервовитной плёнки, поэтому возможно скольжение и внутри плёнки по принципу диффузионно – вакансационного механизма, но с малой затратой энергии. Все это снижает износ механизма и повышает долговечность машины [15].



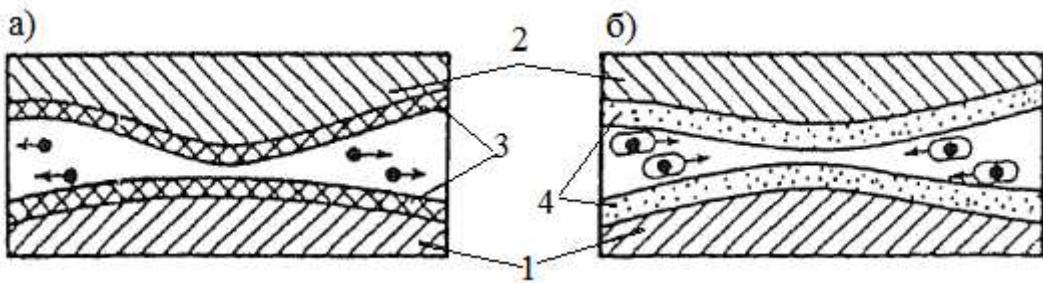
1 – сталь; 2 – бронза; 3 – окисные плёнки; 4 – серповитные плёнки

Рисунок 9 – Схема распространения деформаций в местах контакта при граничной смазке (а) и при избирательном переносе (б)

2.2.3.4 Перенос частиц с одной поверхности трения на другую и удержание их в зоне контакта

Основными продуктами износа при трении в условиях граничной смазки являются окислы. Они не имеют электрического заряда и свободно уносятся из зоны трения. Перемещаясь между контактирующими поверхностями, оказывают на них абразивное воздействие. Схема движения частиц износа в зоне контакта представлена на рисунке 10. Поэтому конструкторы и специалисты по эксплуатации машин уделяют особое внимание и стараются предпринять все меры для удаления продуктов износа из зоны контакта и всей смазочной системы.

При наличии серповитной плёнки продукты износа состоят из меди и других мягких металлов, используемых в качестве присадок. Их поверхность пориста и весьма активна, поэтому частицы покрываются адсорбционным слоем ПАВ. Такие частицы (мицеллы) имеют электрический заряд и под его действием сосредотачиваются в зазоре (рисунок 10, б). Кроме того, при переносе частиц с одной поверхности на другую, в условиях переноса, поверхности не повреждаются. Процесс схватывания материала серповитной пленки с основным металлом детали не является вредным.

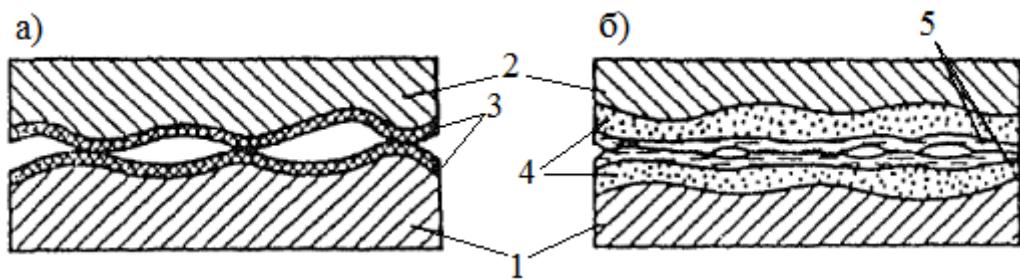


1 – сталь; 2 – бронза; 3 – окисные плёнки; 4 – серовитные плёнки
Рисунок 10 – Схема движения частиц износа в зоне контакта при граничной смазке (а) и избирательном переносе (б)

В начальной стадии избирательного переноса образующиеся ПАВ интенсифицируют процесс поверхностного диспергирования. Адсорбируясь на диспергированных частицах, ПАВ способствуют образованию устойчивой диспресной системы (создание мицел). Благодаря разности потенциалов между зоной контакта и остальной поверхностью мицеллы будут иметь направленное движение в зону контакта (электрофорез), где, разряжаясь, будут создавать медный слой – серовитную плёнку [10, с. 379 – 381].

2.2.3.5 Образование продуктов полимеризации смазочного материала на поверхности серовитной плёнки

Для повышения несущей способности смазочной плёнки применяются специальные добавки. В качестве примера можно привести смесь метилового спирта многоосновной кислоты и полиамидов. В условиях трения они способно полимеризоваться и создавать на поверхностях трения дополнительный защитный слой, предохраняющий их от непосредственного контакта. Однако в условиях граничного трения окисная плёнка препятствует образованию такой плёнки и протеканию реакций поликонденсации и полимеризации. Схема контакта деталей при наличии смазочного материала со специальными присадками представлена на рисунке 11.



1 – сталь; 2 – бронза; 3 – окисные плёнки; 4 – серовитные плёнки;
5 – полимерные плёнки

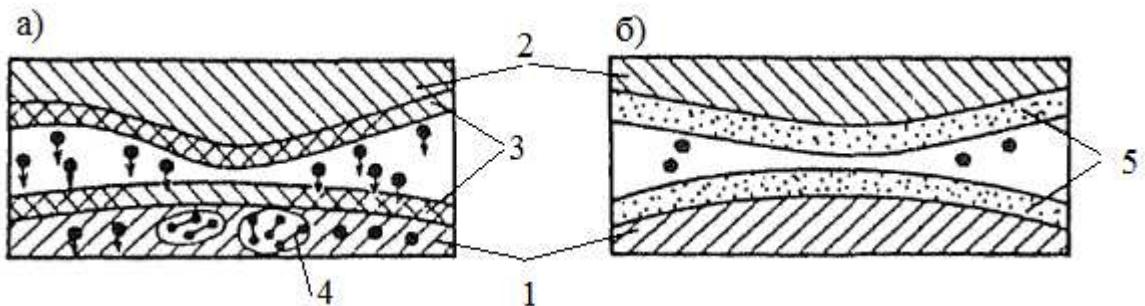
Рисунок 11 – Схема контакта деталей при наличии смазочного материала со специальными присадками при граничной смазке (а) и избирательном переносе (б)

В условиях отсутствия окисных плёнок серовитная плёнка представляет собой мощный катализатор полимеризации. Полимерная плёнка образуется из свободных радикалов органических веществ, которые возникают в процессе трибодеструкции смазочного материала (рисунок 11, б). Образовывающаяся полимерная плёнка предотвращает разрушающий контакт металлических поверхностей и снижает пиковые давления. Кроме того, коэффициент трения полимерного образования, имеющего полужидкую консистенцию, близок к коэффициенту жидкостного трения. Таким образом, полимерная плёнка дублирует серовитную. И, как известно, дублирование механических операций является одним из основных положений теории надёжности [10, с. 381 – 382].

2.2.3.6 Защита поверхности трения от водорода

По масштабам проявления водородное изнашивание занимает одно из первых мест среди всех видов. Водород является продуктом разложения водяных паров, топлив, смазочных материалов, смазочно – охлаждающих жидкостей, он способен легко диффундировать в глубину металла, вызывать образование зародышей трещин в результате моллизации в дефектах решетки, и, как результат, разрушать поверхностный слой детали. Когда атомы водорода в поверхности молизуются, образуется ловушка: размеры молекулы

превосходят размеры атома, и не позволяют ей выйти. Благодаря поступлению новых атомов в дефект, давление возрастает до больших значений. Возникающие напряжения, складываясь с напряжениями трения, вызывают разрушение поверхностного слоя деталей. Схема движения водорода в зоне контакта представлена на рисунке 12.



1 – сталь; 2 – бронза; 3 – окисные плёнки; 4 – скопление ионов водорода и их молибденизация;
 5 – серовитые плёнки

Рисунок 12 – Схема движения водорода в зоне контакта при граничной смазке (а) и избирательном переносе (б)

Водородное изнашивание, как правило, является спутником абразивного, коррозионно-механического изнашивания, фреттинг-коррозии и др.

Поскольку изучение водородного изнашивания началось относительно недавно, методы защиты от него для многих деталей еще не разработаны, и наиболее эффективным методом принято считать избирательный перенос. Образующаяся при избирательном переносе серовитая пленка снижает нагрузки и не допускает образования водорода. Кроме того, медная пленка отлично защищает сталь от проникновения в нее водорода [10, с. 382 – 383].

2.3 Возможности использования металлоплакирующих смазочных материалов в технике

За время исследования металлоплакирующих смазок в их состав вводились практически все металлы. Это могли быть сплавы или химические соединения, а также в элементарном виде. На сегодняшний день

установлено, что такие металлы и сплавы как медь, свинец, олово, цинк, алюминий, серебро, золото, кадмий, бронза, латунь, а также сверхпластичные сплавы типа Bi-PbSn, Bi-Cd-Sn-Pb, Bi-Hg-Pb-Sn, Pb-Sn, Zn-Sn, Pb-SbSn способны существенно улучшить триботехнические качества смазочных материалов, расширить нагрузочные пределы их применения в тяжелонагруженных узлах трения, уменьшить износ и коэффициент трения в 8 – 10 раз.

За последнюю треть века применение избирательного переноса значительно увеличилось. На сегодняшний день трудно указать область машиностроения, в которой эффект безызносности не был апробирован или не используется.

Металлоплакирующие смазочные материалы были апробированы и используются в следующих машинах и механизмах:

- самолёты типа Су (подшипники скольжения и качения тяжелонагруженных узлов трения шасси планера, управления);
- тяжелое оборудование завода «Уралмаш» (основные узлы трения, подшипники, зубчатые передачи редукторов, экскаваторов, станков для бурения, металлургического оборудования);
- оборудование и машины морского флота (подшипники скольжения, подшипники качения палубного оборудования, дизели морских судов);
- тяжелые автокраны (ролики и направляющие поворотного устройства);
- строительные и дорожные машины (основные узлы трения экскаваторов, бульдозеров);
- шахтные комбайны типа 1К-1У, К-103 и др. (зубчатые зацепления редукторов)
- пневмопрядильные машины типа ЛПМ-120 МС (подшипники скольжения и качения);

- прядильные машины типа БД-200М69 (подшипники качения и скольжения);
- швейное и обувное оборудование (механизмы челнока, игловодителя, узлы трения кривошипа, кулисы и др.);
- автомобили ЗИЛ, ГАЗ, КамАЗ, МАЗ и др. (подшипники качения, скольжения, цилиндры двигателей);
- тракторы Д-50, СМД-60 и др. (подшипники качения, скольжения, цилиндры двигателей);
- дизели тепловозов (картерная смазка кривошипно-шатунного механизма);
- технологическое оборудование (подшипники качения, скольжения, направляющие и др.).

Металлоплакирующие смазочные материалы способны в значительной мере увеличить срок службы и надёжность машин, именно поэтому их следует применять во всех тяжелонагруженных узлах трения. Следует упомянуть, что такие металлоплакирующие материалы, как «Атланта» и «Свинцоль 01» зарекомендовали себя с положительной стороны и уже более 20 лет применяются на военных самолётах.

Однако в нашей стране специалисты из институтов по смазочным материалам занимают негативную позицию относительно материалов, реализующих эффект безызносного трения. Основными положениями такой позиции являются:

- высокая стоимость цветных металлов и ограниченность их ресурсов;
- вредное воздействие введенных присадок на эксплуатационные и физико-химические свойства смазочных материалов. Медь и другие металлы усиливают окисление смазочного материала [14].

Систематическая научно – исследовательская работа над узлами трения машин способна обеспечить успех перехода на использование

принципиально новых смазочных материалов, технологических процессов, материалов и конструкций подвижных сочленений. Простая передача технических инструкций или даже опытных образцов металлоплакирующих смазочных материалов не может привести к положительным результатам, поскольку общих знаний о трении и изнашивании становится недостаточно и требуется изучение специальных разделов физикохимии, трибохимии, трибофизике. В Московском государственном университете нефти и газа им. И.М. Губкина, Московском государственном агротехнологическом университете им. В. П. Горячкина, Московском государственном университете сервиса, Ухтинском государственном индустриальном институте уже читаются лекции по применению избирательного переноса в технике, производится обучение и переподготовка по специальностям «Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов», а также «Инженер – триболог».

Опыт организаций, которые уже внедрили явление избирательного переноса, должен быть тщательно изучен в головных научно-исследовательских центрах каждой отрасли, чтобы они накапливали опыт применения эффекта безызносности в своей сфере и разрабатывали свою техническую документацию.

Возможность применения металлоконтактной присадки для преобразования и восстановления труящихся металлических поверхностей рассмотрена в патенте № 2355922 RU [16], где применяется мелкодисперсный порошок, имеющий состав, мас.%: $Mg_6(OH)_8Si_4O_{10}$ 92 – 96, SiC 1 – 2; TiO_2 1 – 2; CuO 2 – 4, в состав дополнительно введён мелкодисперсный порошок Cu в количестве от 0,1 до 0,4 мас.%. Также в состав дополнительно может быть введён мелкодисперсный порошок Mo в количестве 0,1 – 3 мас.%. Максимальный размер частиц порошка составляет 15 мкм.

Техническим результатом данного изобретения является снижение воздействия сил трения и уменьшение интенсивности износа труящихся

металлических поверхностей на длительный период времени за счёт увеличения прочности и долговечности сервовитной плёнки.

Указанный технический результат достигается тем, что композиция металлосодержащей присадки для преобразования и восстановления труящихся металлических поверхностей приготовлена в виде мелкодисперсного порошка, имеющего состав, мас.%, представленный в таблице 2:

Таблица 2 – Состав металлоплакирующей композиции

Химическое соединение	Массовое содержание, %.
$Mg_6(OH)_8Si_4O_{10}$	92 – 96
SiC	1 – 2
TiO_2	1 – 2
CuO	2 – 4

При внедрении данной композиции в узел трения происходит абразивное истирание, приводящее к снятию с поверхности труящихся частей слоя окислов и поверхностных соединений за счёт высокой твёрдости карбида кремния (7 – 8 единиц по шкале Мооса). При этом в текстурированный слой и зону пластических деформаций внедряются ионы CuO и Cu , что приводит к увеличению микротвёрдости и усталостной прочности подповерхностного слоя. При абразивном истирании повышается температур, при которой на поверхности в микроконтактах происходит химическая реакция, в результате которой образуется поликристаллический форстенит в кремнеземистой фазе.

Для образования центров кристаллизации и регулированного роста зерен в состав смазочной композиции вводится TiO_2 , а для снижения скорости диффузии атомарного водорода матрица модифицируется Mo , содержащимися в композиции.

В результате вышеперечисленных физико-химических процессов на поверхностях образуется твёрдая и долговечная сервовитная плёнка.

Указанные соотношения компонентов обеспечивают максимальную прочность и износостойкость серовитной пленки в течение длительного времени.

Изобретателями патента №2503713 RU [17] решалась задача разработки состава присадки к смазочным материалам, улучшающей их антифрикционные свойства и способствующей образованию тонких покрывающих плёнок из мягких металлов на поверхностях смазываемых трущихся соединений машин.

Целью предлагаемого изобретения является интенсификация процесса образования защитных металлоплакирующих плёнок и повышение их прочностных свойств для использования в узлах, поверхности которых испытывают большие контактные нагрузки, например тяжелонагруженных подшипниках качения.

Поставленная цель достигается за счет того, что металлоплакирующая присадка содержит олеиновую кислоту, ультрадисперсный порошок, олеат и стеарат меди, ультрадисперсный порошок, олеат и стеарат цинка, а также стеариновую кислоту при следующем соотношении компонентов, представленную в таблице 3, мас. %:

Таблица 3 – Состав металлоплакирующей присадки

Химическое соединение	Массовое содержание, %.
Ультрадисперсный порошок меди	30...40
Ультрадисперсный порошок цинка	10...15
Олеат меди	10...15
Олеат цинка	3...5
Стеарат меди	5...10
Стеарат цинка	3...5
Стеариновая кислота	3...5
Олеиновая кислота	Остальное

Количественное содержание элементов обусловлено следующим. Суммарное количество солей металлов ниже 20 % не обеспечивает формирования покрытия с высокими противозадирными свойствами. Суммарное содержание солей выше 30 % приводит к усилению коррозионного действия состаа на обрабатываемую поверхность и ведёт к перерасходу составляющих раствора. Наличие в составе солей меди и цинка обеспечивает повышение противоизносных и антифрикционных свойств получаемых покрытий. Наличие в составе ультрадисперсных порошков меди и цинка способствует быстрому разрушению оксидных плёнок на обрабатываемых поверхностях и созданию покрытия, насыщенного этими мягкими металлами. Повышение верхних границ концентраций составляющих ведёт к повышению стоимости, а их снижение приводит к ухудшению эффективности присадки – снижению толщины и плотности нанесенного покрытия, антифрикционных, противоизносных и прочностных свойств обработанных поверхностей.

Металлоплакирующая присадка добавляется в пластичные смазочные материалы в количестве до 10 мас. % перед их внедрением в зону трения. Процесс плакирования трущихся соединений пластичными металлами осуществляется в результате натирания (намазывания) порошков меди и цинка, а также восстановления осаждения на восстанавливаемые поверхности пластичных металлов из солей. При применении металлоплакирующей присадки в составе пластичной смазочной композиции поверхности трения полностью покрываются композиционной защитной плёнкой толщиной от 4 до 8 мкм из пластичных металлов присадки с высокими поверхностными и антифрикционными свойствами.

Присадка готовится на основе олеиновой кислоты и олеатов меди и цинка, в которую последовательно в установленных пропорциях вводятся стеариновая кислота, стеараты меди и цинка, ультрадисперсные (диаметр частиц 0,1 - 10 м-м) порошки меди и цинка. Полученный состав интенсивно перемешивают в течение 5...10 минут, а затем нагревают до температуры

95 °C на масляной или водяной бане и выдерживают при этой температуре в течение 30 минут. После этого полученный состав остужают и выгружают в герметичную тару: емкости с большим заливным отверстием или специальные трубы.

Примером реализации предлагаемой металлоплакирующей присадки в составе смазочной композиции является обработка серийных радиально-упорных роликовых подшипников 7608 (ГОСТ 333 – 71). Подшипники устанавливались парой в опорный каток гусеничного трактора, в котором при вращении внешнего кольца подшипника внутреннее остается неподвижным. В зону трения нагнетался пластичный смазочный материал Литол – 24 с разработанной металлоплакирующей присадкой. Каток устанавливался на специальный стенд, обеспечивающий имитацию реальных режимов эксплуатации (скорость вращения и радиальную нагрузку). После испытаний в течение 100 часов отмечено снижение осевого зазора в подшипниковом узле относительно первоначального за счет образования на рабочих поверхностях подшипников – беговых дорожках колец и роликах композитного покрытия толщиной от 4 до 8 мкм. При дальнейших стеновых испытаниях отмечено, что процесс реметаллизации стабилизируется, т.е. дальнейшее образование покрытия сопровождается одновременным его разрушением, и толщина плёнки остаётся неизменной.

Испытания на машине трения позволили установить, что поверхности, покрытые плакирующей плёнкой, обладают в пять раз более низкой интенсивностью изнашивания и пониженной на 60 – 70 °C температурой в зоне трения, чем необработанные поверхности.

Эффективность изобретения обусловлена возросшей скоростью образования плакирующего (защитного) покрытия с увеличенной толщиной и прочностью по сравнению с прототипами.

Использование металлоплакирующих составов в качестве добавок к моторным, трансмиссионным и индустриальным маслам для снижения и устранения износа труящихся металлических поверхностей, преимущественно

для герметичных пар трения, например, деталей автомобильных двигателей, коробок передач и других пар трения также рассматривается в патенте № 2385898 RU [18].

Задачей настоящего изобретения является уменьшение пожаро-, взрывоопасности и токсичности композиции при одновременном улучшении тиксотропных и седиментационных свойств и сохранении технологических и металлоплакирующих свойств в течение длительного времени.

Поставленная задача достигается тем, что предлагаемый состав содержит порошок сплава медь – олово с размером частиц 0,01 – 10,0 мкм, жирную монокарбоновую кислоту $C_{12} – C_{22}$ и/или ее медные или цинковые соли, масло органическое и дополнительно фторопласт, фторированный метакрилатный полимер и органически модифицированный слоистый силикат при следующих соотношениях, представленных в таблице 4, мас.%:

Таблица 4 – Состав композиции

Химическое соединение	Массовое содержание, %.
Порошок сплава медь – олово с размером частиц 0,01 – 10,0 мкм	7,5 – 18,6
Жирная монокарбоновая кислота $C_{12} – C_{22}$ и/или ее медные или цинковые соли	0,01 – 5,0
Фторопласт	1,0 – 10, 0
Фторированный метакрилатный полимер с содержанием фторсодержащего активного вещества не менее 40 %	0,02 – 0,1
Органически модифицированный слоистый силикат	1,0 – 3,0
Масло органическое	Остальное

Использование заявляемого состава позволяет обеспечить необходимую вязкость состава, хорошую растворимость в масле и приданье составу свойств псевдопластичной жидкости. Это, в свою очередь, обеспечивает высокую подвижность состава при запуске двигателя. Хорошие тиксотропные свойства и высокая агрегативная устойчивость композиции во многом объясняется образованием водородных связей между компонентами

заявляемого состава и позволяет в течение рабочего цикла обеспечить равномерное распределение композиции по всей обрабатываемой поверхности с образованием равномерной плёнки на трущихся поверхностях, обеспечивая протекание механической адгезии или намазывания, а также механизма избирательного переноса, сопровождающегося избирательным растворением и переносом компонентов сплава с образованием серовитной (медной) плёнки на обрабатываемой поверхности. Это позволяет уменьшить коэффициент трения, а следовательно, износ трущихся деталей. Повышение агрегативной устойчивости позволяет длительное время поддерживать частицы порошка медь – олово во взвешенном состоянии, что необходимо в процессе работы двигателя и особенно важно при остановках двигателей.

Результаты испытаний показали улучшение основных показателей работы двигателей внутреннего сгорания и коробки передач после введения противоизносного препарата заявляемого состава – мощность автомобиля повышается примерно на 20 %, коэффициент трения уменьшается примерно на 15 %, увеличивается срок службы моторных масел и ресурс работы механизмов. Предлагаемый состав особенно эффективен для восстановления изношенных узлов, а также профилактики их износа.

В патенте № 2432386 [19] рассматривается состав металлоплакирующей добавки к пластичным смазочным материалам.

Для интенсификации процесса образования с вследствие этого применения добавки для восстановления изношенных поверхностей деталей подшипников и прецизионных деталей до толщины 10 мкм и повышения прочностных свойств защитных металлоплакирующих плёнок присадка к пластичной смазочной композиции, содержащая олеиновую кислоту и ее соли пластичных металлов меди, олова и никеля, дополнительно содержит ультрадисперсные порошки меди, олова, никеля при следующем соотношении компонентов, представленных в таблице 5, мас. %:

Таблица 5 – Состав композиции

Химическое соединение	Массовое содержание, %.
Ультрадисперсный порошок меди	30...50 %
Ультрадисперсный порошок олова	10...20 %
Ультрадисперсный порошок никеля	1...2 %
Олеат меди	10...15 %
Олеат олова	5...10 %
Олеат никеля	1...3 %
Олеиновая кислота	остальное

Повышения верхних границ концентраций составляющих ведёт к повышению стоимости, а их снижение приводит к ухудшению эффективности добавки (снижению толщины нанесенного покрытия, антифрикционных, противоизносных и прочностных свойств обработанных поверхностей).

Добавка вводится в пластичные смазочные материалы в количестве до 10 вес. % и тщательно перемешивается перед их внедрением в зону трения.

Процесс плакирования трущихся соединений пластичными металлами осуществляется в результате натирания (намазывания) порошков меди, олова, никеля, а также восстановления и осаждения на восстанавливаемые поверхности пластичных металлов из солей в присутствии поверхностно-активных веществ, содержащихся в добавке в виде ультрадисперсных порошков и солей. При ее применении в составе пластичной смазочной композиции поверхности трения полностью покрываются композиционной защитной плёнкой толщиной до 10 мкм из пластичных металлов добавки с высокими прочностными и антифрикционными свойствами.

Добавка готовится на основе олеиновой кислоты и ее олеатов пластичных металлов (меди, олова, никеля), в которую последовательно в установленных пропорциях вводятся ультрадисперсные (диаметр частиц 0,1 – 1000 мкм) порошки меди, олова, никеля. Полученный состав интенсивно перемешивают в течение 10...15 мину, а затем нагревают до температуры 95 °С на масляной или водяной бане и выдерживают при этой температуре в

течение 60 минут. После этого полученный состав остужают и выгружают в герметичную тару: емкости с большим заливным отверстием или специальные трубы.

Для безразборного восстановления двух подшипников качения трактора, имеющих биение (суммарные износы) в поперечном сечении 120 и 100 мкм соответственно, которое было измерено при помощи специального приспособления с микрометрической головкой, готовится восстановительная добавка следующего состава, представленного в таблице 6, мас. %:

Таблица 6 – Химический состав композиции

Химическое соединение	Массовое содержание, %.
Ультрадисперсный порошок меди	40 %
Ультрадисперсный порошок олова	15 %
Ультрадисперсный порошок никеля	2 %
Олеат меди	10 %
Олеат олова	5 %
Олеат никеля	3 %
Олеиновая кислота	остальное

Добавка вводится в пластичный смазочный материал в количестве до 10 вес. % и тщательно перемешивается.

Подшипники устанавливались в нагружочное устройство, в котором при вращении внутреннего кольца подшипника внешнее остается неподвижным. В зону трения нагнетается пластичный смазочный материал с разработанной металлоплакирующей добавкой.

На внешнем и внутреннем кольцах подшипников и телах качения после применения пластичного смазочного материала с разработанной металлоплакирующей восстанавливющей добавкой образовалось сплошное композиционное покрытие красного цвета. Повторное измерение износа этих подшипников качения выявило уменьшение поперечного биения (суммарных износов) на первом подшипнике – 20, а на втором подшипнике – 40 мкм соответственно.

Дополнительно установлено, что восстановленные поверхности обладают в пять раз более низкой интенсивностью изнашивания; пониженной на 60 – 70 градусов температурой в зоне контакта и коэффициентом трения порядка $\mu = 0,0005 \dots 0,0010$. Наличие композиционного покрытия из пластичных металлов способствует реализации в последующей эксплуатации избирательного переноса при трении в обработанных соединениях.

Авторское изобретение № 2319731 С1 [20] относится к области машиностроения, в частности к веществам – средствам улучшения противоизнашиваемости трущихся элементов машин и механизмов.

Техническим результатом изобретения является существенное продление ресурса узлов трения за счет компенсации уже имеющегося износа поверхностей трения при их эксплуатации в углеводородных смаzkах и топливах минерального или синтетического происхождения.

Технический результат достигается тем, что триботехническая добавка к смазочным маслам и пластичным смаzkам для формирования антифрикционного покрытия с компенсацией износа поверхностей узлов трения имеет состав, представленный в таблице 7, мас.%:

Таблица 7 – Состав триботехнической добавки

Химическое соединение	Массовое содержание, %.
Аморфный диоксид кремния	40...60
Аморфный оксид алюминия	5...15
Аморфный углерод	6...10
Аморфный оксид магния	5...15
Кремнийорганическое соединение алюминия и цинка	5...15
Органический растворитель	Остальное

Предложенную композицию добавки используют в углеводородных смаzkах и топливах минерального или синтетического происхождения.

Проведенные автором испытания показали, что заявленный состав добавки для формирования антифрикционного покрытия с компенсацией

износа поверхностей узлов трения обеспечивает значительное снижение трения по сравнению с базовым маслом.

Испытания предлагаемой композиции касательно возможностей компенсации уже имеющегося износа труящихся пар проводились на воздушном поршневом компрессоре марки ВП 3 – 20/9 серийного производства ОАО «Борец» (Россия).

Эффективность применения добавки для формирования антифрикционного покрытия с компенсацией износа поверхностей узлов трения подтверждалась замером соответствующих рабочих параметров оборудования.

2.4 Применение в буровом оборудовании

Узлы трения бурового оборудования, такие как турбобуры, насосы внутримысловой перекачки нефти, насосы поддержания пластового давления, работают в очень тяжелых условиях, и зачастую смазкой для труящихся деталей служат рабочие среды, многие из которых содержать механические примеси или являются химически активными. Выполнение таких узлов трения с герметической масляной ванной, и, как следствие применение смазочных материалов с металлоплакирующими добавками, либо конструктивно невозможно, либо представляется очень сложной и экономически невыгодной задачей.

Применение обычных технологических методов повышения износостойкости для тяжелонагруженных узлов трения оказалось недостаточным для обеспечения необходимого срока службы бурового и нефтепромыслового оборудования. Со временем возникла необходимость разработки материалов с высокой износостойкостью, способностью работать в рабочих средах с примесью абразива и воды. Наибольший интерес в этом направлении представляют композиционные материалы, набор свойств которых можно регулировать качествами составляющих их компонентов.

Пара трения из таких материалов сочетает в себе одновременно антифрикционные свойства, высокую износостойкость и прочность [10, с.468].

Изготовление деталей целиком из композиционных материалов представляется сложной задачей, поскольку они плохо поддаются механической обработке. Наиболее рационален в этом отношении комбинированный способ изготовления детали: изнашивающаяся часть выполняется из композиционного материала с заданными размерами, а остальная часть из стали. Анализируя вышеприведенные доводы, М.В. Голуб разработал новый износостойкий материал ТМ – 1, работающий в режиме избирательного переноса [21,22].

В ходе анализа отказов нефтепромыслового оборудования , а в частности насосов магистральных нефтепроводов, было выявлено, что 50...60% вынужденных остановок происходит из-за износа пар трения торцевых уплотнений. Срок службы пар трения, изготовленных из сталей с различной термообработкой в сочетании с бронзами или углеграфитами, при содержании в нефти 0,05% механических примесей составляет 1500...2000 ч. При повышении содержания механических примесей в нефти в период очистки нефтепроводов и резервуаров срок службы пар трения сокращается до 100...200 ч. Износ узлов гидравлический разгрузки многоступенчатых секционных центробежных насосов составляет 3...5 мм. На насосах типа ЦНС за межремонтный период изнашивается 2...6 комплектов разгрузочных устройств, детали которых составлены из стали 20Х13.

Разработанный М.В. Голубом материал ТМ – 1 был в первую очередь применен для увеличения срока службы мощных насосов трубопроводного транспорта и насосов закачки воды в нефтяной пласт. Мтериал изготавливается спеканием смеси разнозернистых порошков карбидов вольфрама и кобальта с одновременной их пропиткой медно-никелевыми сплавами в водородной среде. Кобальт и никель обеспечивают прочное сцепление зерен карбидов вольфрама вследствие хорошей растворимости

вольфрама в этих металлах. Медь, рассеянная по микропорам сплава, в условиях трения создает предпосылки для возникновения избирательного переноса при работе пар трения в нефти и воде.

Стендовые испытания пары трения сплав ТМ – 1 по сплаву ТМ – 1 и сплав ТМ – 1 по бронзе БрО5Ц5С5 в нефтяной среде показали нагрузочную способность в 1,5...2 раза выше, чем пары трения с использованием стали с цементированной контактной поверхностью по бронзе БрОЦС 5-5-5.

Также испытаниями было установлено, что при работе вышерассмотренных пар трения в дизельном топливе и нефти имеет место режим избирательного переноса, характеризующийся сравнительно низким коэффициентом трения в довольно широком диапазоне нагружения контактной пары. Режим избирательного переноса фиксировался по высокой нагрузочной способности пар трения, а также по визуально наблюдаемой на рабочей поверхности пленке тонкого образовавшегося слоя меди.

Применение материала ТМ – 1 в узлах уплотнений нефтепромыслового оборудования позволило увеличить в несколько раз срок службы насосов до ремонта. Были разработаны специальные конструкции уплотнений и других узлов трения насосов типа ЦНС для материала ТМ – 1. Это узлы трения гидравлической разгрузки и радиальные опоры многоступенчатых секционных насосов, щелевые уплотнения и торцевые уплотнения валов насосов и системы защиты маслонаполненных редукторных вставок высокомоментных турбобуров.

Одним из методов повышения надежности бурового и нефтепромыслового оборудования является применение смазочных материалов, содержащих металлоколакирующие добавки. При бурении в основном применяют два типа смазочных материалов: традиционные смазочные материалы и промывочные растворы, которые наряду с основными функциями выполняют роль смазывающей и охлаждающей жидкости. При проходке мощных солевых отложений приготовляют

промывочные жидкости на основе высококонцентрированных растворов солей, а также глинистые высокоминерализованные буровые растворы.

В Российском государственном университете нефти и газа им. И.М. Губкина были проведены научно-исследовательские работы по созданию новых буровых растворов, реализующих избирательный перенос при трении [23, 24, 25].

Профессоры А.А. Петросянц и В.Ф. Пичугин провели комплекс научно – исследовательских работ по повышению долговечности стальных пар трения, реализующих избирательный перенос и работающих с следующих средах:

- Буровых растворах на водной основе (глинистых и минерализованных);
- Минеральных маслах;
- Нефти и дизельном топливе;
- Буровых растворах на углеводородной основе.

Для реализации явления избирательного переноса были созданы медьсодержащие добавки.

В ходе исследований была установлена возможность повышения износостойкости не только пары сталь – сталь, но и пары бронза – сталь, резина – металл при скольжении и возвратно – поступательном движении.

В таблице 8 приведены значения износа штока и резинового уплотнения за 6 часов работы в разных средах. Как видно из табличных данных, максимальный износ пары резина – металл наблюдается в воде. Добавление в насыщенные растворы медьсодержащей добавки в количестве 0,01 % по объему способствует значительному увеличению износостойкости деталей и резкому снижению коэффициента трения из-за образования на контактирующих поверхностях тел тонкой медной плёнки.

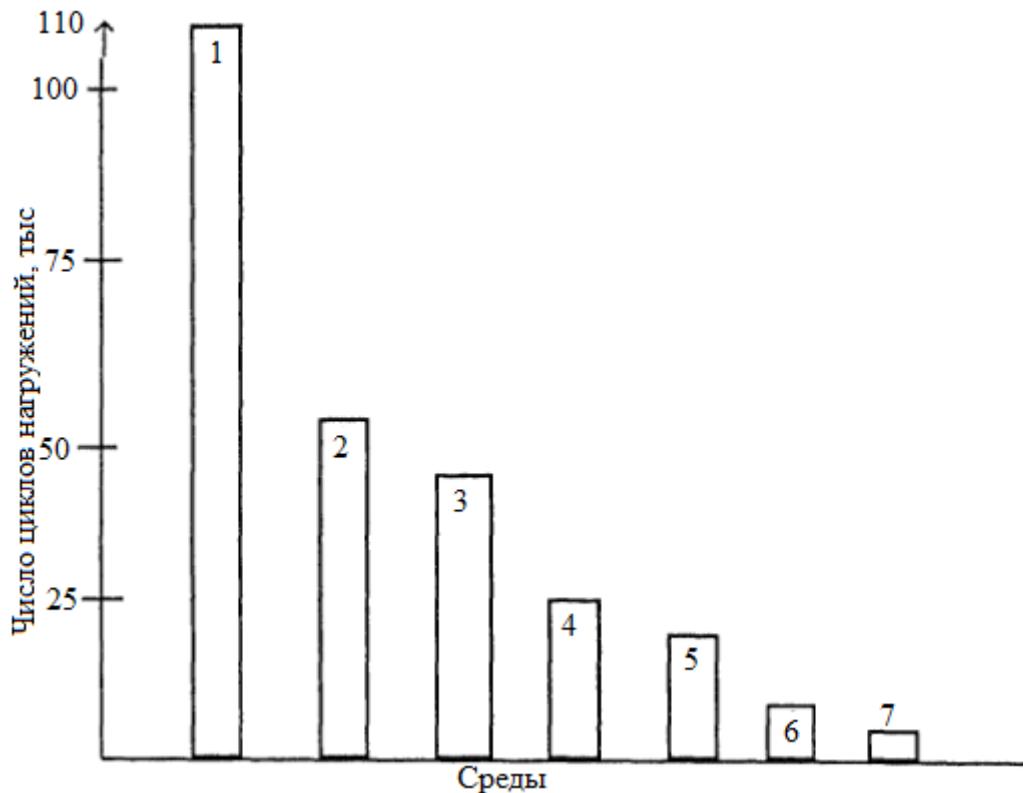
Таблица 8 – Результаты испытаний штока и резинового уплотнения

Исследуемая среда	Возвратно – поступательное движение			Вращательное движение		
	Износ, мм ³		Коэффициент трения	Износ, мм ³		Коэффициент трения
	Резина 1294	Сталь 40Х		Резина 1294	Сталь 40Х	
Техническая вода	32,74	2,56	0,060	208,3	10,42	0,080
Насыщенный раствор хлористого магния	2,60	0,55	0,033	21,2	23,91	0,20
Раствор + медьсодержащая добавка	0,95	0,13	0,26	15,7	7,34	0,017

В.Ф. Пичугин и С.М. Мкртчян исследовали возможность применения избирательного переноса для увеличения срока службы шарошечного долота. [25]. Они провели испытания на усталость шаров из стали марки 55СМ5ФА на установке в различных средах и установили факт значительного повышения контактной прочности при добавлении в смазочную среду медьсодержащей добавки.

Использование промывочной жидкости с медьсодержащей добавкой повышает надежность образцов в режиме циклического нагружения в 2...3 раза по сравнению с их долговечностью при аналогичных испытаниях без добавок. Результаты данных испытаний представлены на рисунке 13.

При проведении стендовых испытаний натурных образцов опор долота при работе с различными растворами и добавками абразива и медьсодержащими добавками. Данные испытаний элементов опоры долота В – 190Т в некоторых средах после 150 тысяч оборотов шарушки приведены в таблице 9.



1 – насыщенный раствор $MgCl_2 + 0,006\% CuSO_4$; 2 – масло «Индустримальное – 50»;
3 – гидрогель магния $\gamma = 1,26 \text{ г}/\text{см}^3$; 4 – насыщенный раствор $MgCl_2$;

5 – насыщенный раствор $NaCl$; 6 – дистиллированная вода; 7 – глинистый раствор
Рисунок 13 – Сравнительные данные по усталости шаров на четырехшариковой машине
трения в различных средах

Таблица 9 – Данные испытаний элементов опоры долота

Буровой раствор	Линейный износ, мм	
	шарики	ролики
Насыщенный раствор хлористого марния + медьсодержащая добавка	0,0028	0,0015
Раствор +3 % абразива	0,0180	0,0020
Водопроводная вода + 3 % абразива	0,8200	0,1200

Выводы, полученные при лабораторных испытаниях, были подтверждены при эксплуатации долот. При этом в качестве промывочных жидкостей использовался гидрогель магния плотностью $\rho_1 = 1,27 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ и минерализованный глинистый раствор $\rho_2 = 1,27 \dots 1,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ с применением медицинских добавок в количестве 0,01 % по массе. Полученные данные о сопоставимости работоспособности долот при бурении скважин в подобных геологических условиях приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Сравнительный анализ промывочных жидкостей

Рабочие характеристики	Промывочная жидкость	
	Гидрогель магния	Минерализованный глинистый раствор
Интервал бурения, тыс. м	2...3	2...3
Число долот	40	32
Общая проходка, м	450	728
Показатели на одно долото:		
Проходка, м (%)	10,4 (100)	24,4 (234)
Время работы, ч (%)	3,84 (100)	8,11 (210)
Скорость бурения, м/ч (%)	2,69 (100)	2,99 (111)

Вышерассмотренные данные свидетельствуют о перспективности использования медьсодержащих присадок, реализующих избирательный перенос при трении в буровой технике.

Выводы по главе

В данном разделе были рассмотрены металлоплакирующие материалы, осуществляющие явление избирательного переноса, а именно:

- обнаружение избирательного переноса при трении (эффекта безызносности);
- механизм образования сервовитной пленки;
- физические основы эффекта безызносности.

Было установлено, что физические основы эффекта безызносности предполагают осуществление контакта поверхностей трения через пластически деформируемый мягкий и тонкий слой металла, предотвращение процесса окисления металла на поверхностях трения, реализацию эффекта Ребиндера, перенос частиц с одной поверхности трения на другую и удержание их в зоне контакта, образование продуктов полимеризации смазочного материала на поверхности сервовитной плёнки.

В ходе патентно – информационного обзора проанализированы результаты применения различные металлоплакирующих добавок.

3 Результаты исследования применения металлоплакирующих смазочных материалов

Основная трудность расчета на износ заключается в правильном определении интенсивности изнашивания материалов зубчатых колес в конкретных условиях эксплуатации. Базируясь на теоретических концепциях, учитывающих физические, химические и механические факторы разрушения, удается приближенно прогнозировать (рассчитывать) интенсивность изнашивания материалов. Разработанный автором [26] метод расчета заключается в возможности учета различных физических, химических и механических процессов с учетом распределения нагрузки между зубьями.

3.1 Расчет геометрии зацепления

Геометрические параметры цилиндрического редуктора представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Геометрические параметры зубчатого зацепления

Геометрический параметр	Значение
Число зубьев шестерни Z_1	30
Число зубьев колеса Z_2	46
Модуль зацепления m	6
Угол зацепления $\alpha_{t\omega}$	20°
Коэффициент высоты зуба f	1
Коэффициент радиального зазора c	0,25

Начнем расчет с нахождения величины межосевого расстояния по формуле (2):

$$a_\omega = \frac{Z_1 + Z_2}{2} \cdot m, \quad (2)$$

Подставив исходные данные в формулу (2) получим:

$$a_{\omega} = \frac{30+46}{2} \cdot 6 = 228 \text{ мм.}$$

Делительные диаметры шестерни и колеса определяются по формулам:

$$d_1 = m \cdot Z_1, \quad (3)$$

$$d_2 = m \cdot Z_2. \quad (4)$$

Рассчитаем искомые значения по формулам (2) и (3):

$$d_1 = 6 \cdot 30 = 180 \text{ мм},$$

$$d_2 = 6 \cdot 46 = 276 \text{ мм.}$$

Передаточное число:

$$u = \frac{Z_2}{Z_1}. \quad (5)$$

Подставим значения количества зубьев и определим передаточное число:

$$u = \frac{46}{30} = 1,53.$$

Диаметры окружностей впадин шестерни и колеса:

$$d_{f1} = d_1 - 2 \cdot m \cdot (f + c), \quad (6)$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot m \cdot (f + c). \quad (7)$$

Подставим все неизвестные в формулы (6) и (7) и определим значения диаметров окружностей впадин шестерни и колеса:

$$d_{f1} = 180 - 2 \cdot 6 \cdot (1 + 0,25) = 165 \text{ мм.}$$

$$d_{f2} = 276 - 2 \cdot 6 \cdot (1 + 0,25) = 261 \text{ мм.}$$

Высота зубьев определяется по формуле (8):

$$h = \frac{2f+c}{2(f+c)} \cdot \left(a_\omega - \frac{d_{f1}+d_{f2}}{2} \right), \quad (8)$$

$$h = \frac{2 \cdot 1 + 0,25}{2(1 + 0,25)} \cdot \left(228 - \frac{165+261}{2} \right) = 13,5 \text{ мм.}$$

Диаметр окружностей вершин зубьев шестерни и колеса:

$$d_{a1} = d_{f1} + 2 \cdot h, \quad (9)$$

$$d_{a2} = d_{f2} + 2 \cdot h. \quad (10)$$

Подставив данные в формулы (9) и (10) определим значения диаметров окружностей вершин зубьев шестерни и колеса:

$$d_{a1} = 165 + 2 \cdot 13,5 = 192 \text{ мм.}$$

$$d_{a2} = 261 + 2 \cdot 13,5 = 288 \text{ мм.}$$

Высота головки зубьев до начальной окружности

$$h'_1 = \frac{d_{a1}-d_1}{2}, \quad (11)$$

$$h'_2 = \frac{d_{a2}-d_2}{2}. \quad (12)$$

Расчетные значения высоты головки зубьев до начальной окружности:

$$h'_1 = \frac{192 - 180}{2} = 6 \text{ мм.}$$

$$h'_2 = \frac{288 - 276}{2} = 6 \text{ мм.}$$

Высота ножки зуба

$$h''_1 = 0,5 \cdot (d_1 - d_{f1}), \quad (13)$$

$$h''_2 = 0,5 \cdot (d_2 - d_{f2}). \quad (14)$$

Рассчитаем искомые значения по формулам (13) и (14):

$$h''_1 = 0,5 \cdot (180 - 165) = 7,5 \text{ мм.}$$

$$h''_2 = 0,5 \cdot (276 - 261) = 7,5 \text{ мм.}$$

Расстояние по линии зацепления, проходимое точкой контакта зубьев за период, в течение которого головка зуба находится в зацеплении:

для шестерни

$$l_1 = \frac{h'_1}{2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{d_1}{h'_1} \cdot \sin \alpha_{t\omega} \right)^2 + 4 \left(\frac{d_1}{h'_1} + 1 \right)} - \frac{d_1}{h'_1} \cdot \sin \alpha_{t\omega} \right]. \quad (15)$$

Найдём расстояние до линии зацепления для шестерни по формуле (15):

$$l_1 = \frac{6}{2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{180}{6} \cdot \sin 20^\circ \right)^2 + 4 \left(\frac{180}{6} + 1 \right)} - \frac{180}{6} \cdot \sin 20^\circ \right] = 14,64 \text{ мм.}$$

для зубчатого колеса:

$$l_2 = \frac{h'_2}{2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{d_2}{h'_2} \cdot \sin \alpha_{t\omega} \right)^2 + 4 \left(\frac{d_2}{h'_2} + 1 \right)} - \frac{d_2}{h'_2} \cdot \sin \alpha_{t\omega} \right]. \quad (16)$$

Подставив все известные значения в формулу (16) получим:

$$l_2 = \frac{6}{2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{276}{6} \cdot \sin 20^\circ \right)^2 + 4 \left(\frac{276}{6} + 1 \right)} - \frac{276}{6} \cdot \sin 20^\circ \right] = 15,41 \text{ мм.}$$

Коэффициент перекрытия:

$$\varepsilon = \frac{l_1 + l_2}{\pi m \cos \alpha_{t\omega}}. \quad (17)$$

Рассчитаем значение коэффициента перекрытия по формуле (17):

$$\varepsilon = \frac{14,64 + 15,41}{3,14 \cdot 6 \cdot 0,93} = 1,715.$$

Удельное скольжение на ножке зуба шестерни в точке полного зацепления с вершиной зуба колеса

$$\vartheta_{p1} = - \frac{l'_1 \cdot (u+1)}{u \cdot \left(\frac{d_1}{2} \sin \alpha_{t\omega} - l'_1 \right)}. \quad (18)$$

Подставив известные значения в формулу (18), получим:

$$\vartheta_{p1} = - \frac{12,84 \cdot (1,53 + 1)}{1,53 \cdot \left(\frac{180}{2} \sin 20^\circ - 12,84 \right)} = -1,184.$$

Удельное скольжение на ножке зуба колеса в точке полного зацепления с вершиной зуба шестерни

$$\vartheta_{p2} = -\frac{l'_2 \cdot (u+1)}{\frac{d_2}{2} \cdot \sin \alpha_{t\omega}}, \quad (19)$$

подставив известные значения в формулу (19), получим:

$$\vartheta_{p2} = -\frac{13,61 \cdot (1,53+1)}{\frac{276}{2} \cdot \sin 20^\circ} = -0,729,$$

где $l'_1 = l_1 - 0,3m = 14,64 - 0,3 \cdot 6 = 12,84$,

$$l'_2 = l_2 - 0,3m = 15,41 - 0,3 \cdot 6 = 13,61.$$

Радиусы кривизны профилей зубьев шестерни и колеса в полюсе зацепления:

$$\rho_{\omega1} = \frac{d_1}{2} \sin \alpha_{t\omega}, \quad (20)$$

$$\rho_{\omega2} = u\rho_{\omega1}, \quad (21)$$

подставим известные данные в формулы (20) и (21) и рассчитаем:

$$\rho_{\omega1} = \frac{180}{2} \sin 20^\circ = 30,78 \text{ мм.}$$

$$\rho_{\omega2} = 1,53 \cdot 30,78 = 47,093 \text{ мм.}$$

Относительное давление в точке полного зацепления:
на ножке зуба шестерни:

$$\xi_1 = \left[\left(1 - \frac{l'_2}{\rho_{\omega1}} \right) \cdot \left(1 + \frac{l'_2}{u\rho_{\omega2}} \right) \right]^{-1}, \quad (22)$$

на ножке зуба колеса:

$$\xi_2 = \left[\left(1 + \frac{l'_1}{\rho_{\omega_1}} \right) \cdot \left(1 - \frac{l'_1}{\rho_{\omega_2}} \right) \right]^{-1}. \quad (23)$$

Определим значения относительного давления по формулам (22) и (23):

$$\xi_1 = \left[\left(1 - \frac{13,61}{30,78} \right) \cdot \left(1 + \frac{13,61}{1,53 \cdot 47,093} \right) \right]^{-1} = 1,5.$$

$$\xi_2 = \left[\left(1 + \frac{12,84}{30,78} \right) \cdot \left(1 - \frac{12,84}{47,093} \right) \right]^{-1} = 0,97.$$

Приведенный радиус кривизны:

ножки зуба шестерни с вершиной зуба колеса:

$$\rho_{\text{пр1}} = \frac{(\rho_{\omega_1} - l'_1) \cdot (\rho_{\omega_2} + l'_1)}{\rho_{\omega_1} + \rho_{\omega_2}}, \quad (24)$$

ножки зуба колеса с вершиной зуба шестерни:

$$\rho_{\text{пр2}} = \frac{(\rho_{\omega_1} + l'_2) \cdot (\rho_{\omega_2} - l'_2)}{\rho_{\omega_1} + \rho_{\omega_2}}, \quad (25)$$

Найдём значения приведённых радиусов:

$$\rho_{\text{пр1}} = \frac{(30,78 - 12,84) \cdot (47,093 + 12,84)}{30,78 + 47,093} = 13,8 \text{ мм.}$$

$$\rho_{\text{пр2}} = \frac{(30,78 + 13,61) \cdot (47,093 - 13,61)}{30,78 + 47,093} = 19,086 \text{ мм.}$$

Эффективное удельное скольжение шестерни и колеса:

$$\vartheta_{\exists 1} = \frac{\vartheta_1}{2 + \vartheta_1}, \quad (26)$$

$$\vartheta_{\exists 1} = \frac{\vartheta_2}{2 + \vartheta_2}. \quad (27)$$

Подставим данные в формулы (26) и (27):

$$\vartheta_{\exists 1} = \frac{1,184}{2+1,184} = 0,371.$$

$$\vartheta_{\exists 2} = \frac{0,729}{2+0,729} = 0,267.$$

Окружная скорость при заданной частоте вращения быстроходного вала $n_1 = 25 \text{ сек}^{-1}$ рассчитывается по формуле (28):

$$v = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n_1}{60}, \quad (28)$$

подставив все данные в формулу (28), найдём значение окружной скорости:

$$v = \frac{3,14 \cdot 0,276 \cdot 25}{60} = 0,36 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Скорость скольжения:

в расчетной точке

$$v_s = \frac{2v}{d_1} l_p \frac{u+1}{u}, \quad (29)$$

на ножке зуба шестерни:

$$v_{sy1} = \frac{2v}{d_1} l'_2 \frac{u+1}{u}, \quad (30)$$

на ножке зуба колеса:

$$v_{sy2} = \frac{2v}{d_1} l'_1 \frac{u+1}{u}, \quad (31)$$

Рассчитаем значения скоростей скольжения по формулам (30), (31):

$$v_{sy1} = \frac{2 \cdot 0,36}{0,18} \cdot 0,014 \cdot \frac{1,53+1}{1,53} = 0,092 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_{sy2} = \frac{2 \cdot 0,36}{0,18} \cdot 0,012 \cdot \frac{1,53+1}{1,53} = 0,079 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Суммарная скорость качения:

$$v_{\Sigma y1} = \frac{v_{sy1}}{\vartheta_{\vartheta_1}}, \quad (32)$$

$$v_{\Sigma y2} = \frac{v_{sy2}}{\vartheta_{\vartheta_2}}. \quad (33)$$

Рассчитаем суммарные скорости качения:

$$v_{\Sigma y1} = \frac{0,092}{0,371} = 0,247 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$v_{\Sigma y2} = \frac{0,079}{0,267} = 0,296 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Скорость качения:

на ножке зуба шестерни:

$$v_{Fy1} = \frac{v_{sy1}}{\vartheta_{p1}}, \quad (34)$$

на ножке зуба колеса:

$$v_{Fy2} = \frac{v_{sy2}}{\vartheta_{p2}}. \quad (35)$$

Расчётные значения скорости качения:

$$v_{Fy1} = \frac{0,092}{1,184} = 0,077 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$v_{Fy2} = \frac{0,079}{0,729} = 0,108 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

3.2 Определение интенсивности изнашивания зубьев

В процессе изнашивания эвольвентных зубьев, их профили приобретают своеобразную модификацию, неравномерный характер которой в большей степени определен особенностями кинематики эвольвентного зацепления. В результате чего зубья теряют свою взаимосопряженность, динамические показатели передачи резко ухудшаются и она становится неработоспособной. Замена одного из изношенных колес новым эвольвентным колесом не решает проблему. Поэтому предельно допускаемая величина износа обычно четко регламентирована.

Учитывая, что трущиеся поверхности различны с точки зрения сопротивляемости износу трением, расчет будем проводить по наиболее изнашиваемой поверхности (вал - шестерня).

Произведем расчет зубьев шестерни на износ на основе использования безразмерной характеристики износа I_h – интенсивности изнашивания [27].

$$[h_1] \geq 2,25 \cdot I_{h1} \cdot \sqrt{\omega'_{Ht} \cdot \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right) \cdot \rho_{\text{пр1}}} \cdot \frac{v_{sy1}}{v_{Fy1}} \cdot n_1 \cdot i \cdot \tau, \quad (36)$$

где $[h_1]$ – допустимая величина износа (толщина изношенного слоя) зубьев шестерни, мм;

I_{h1} – интенсивность изнашивания материала зубьев шестерни в данных условиях;

$\rho_{\text{пр1}}$ – приведенный радиус кривизны в расчетной точке контакта зубьев шестерни, см;

v_{sy1} – скорость скольжения в расчетной точке профиля зубьев шестерни, см/с;

v_{Fy1} – скорость перемещения общей точки по профилю зуба шестерни см/с;

n_1 – частота вращения шестерни, об/мин;

i – число пар зацепления с шестерней;

τ – время работы зубчатого зацепления между последующими капитальными ремонтами, 10000 ч. [33];

Упругая постоянная материалов:

$$\eta = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}, \quad (37)$$

где μ_1 – Коэффициент Пуассона шестерни;

μ_2 – Коэффициент Пуассона колеса;

E_1 – модуль упругости шестерни;

E_2 – модуль упругости колеса.

Удельная расчетная сила определяется по формуле (38):

$$\omega'_{Ht} = \frac{2 \cdot T_{1H} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\nu}}{b_w \cdot d_{w1} \cdot \cos \alpha_{t\omega} \cdot \cos \beta}, \quad (38)$$

где T_{1H} – исходная расчетная нагрузка, крутящий момент, кгс·см;

d_{w1} – начальный (делительный) диаметр шестерни, см;

$\alpha_{t\omega}$ – угол зацепления; b_w – (0,25 на межосевое расстояние) рабочая ширина венца, см;

β – основной угол наклона;

$K_{H\alpha}$ – коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между зубьями ($K_{H\alpha}=1\dots1,2$; изменяется по мере изнашивания зубьев);

$K_{H\beta}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по длине контактных линий ($K_{H\beta}=1\dots1,6$; зависит от погрешностей изготовления и деформаций деталей узлов передачи в процессе работы, расположения опор, прирабатываемости);

K_{Hv} – коэффициент, учитывающий динамическую нагрузку ($K_{Hv}=1\dots1,5$; зависит от точности зубчатой передачи, погрешностей зацепления и деформации зубьев).

Материал шестерни – сталь 20Х2Н: $E_1 = 2,12 \cdot 10^{-5}$ МПа ($2,16 \cdot 10^{-4}$ кгс/см²); $\mu_1 = 0,26$;

Материал колеса – сталь 20Х2Н: $E_2 = 2,12 \cdot 10^{-5}$ МПа ($2,16 \cdot 10^{-4}$ кгс/см²); $\mu_2 = 0,26$;

$i = 1$ – число пар зацепления с шестерней.

Максимальный предельный износ в % к номинальной толщине зуба на начальной окружности при капитальном ремонте для реверсивной передачи, работающей при возможных ударных нагрузках $[h_1] = 5\%$. $[h_1] = 10,7 \cdot 0,05 = 0,535$ мм. [37, с.151]. Допустимая величина износа зуба определяет ресурс работы передачи и задается на основе эксплуатационных требований.

Следует отметить, что в процессе износа имеет место изменение исходных параметров – увеличивается приведенный радиус кривизны, поверхности прирабатываются, т. е. уменьшаются потери на трение, уменьшаются контактные давления, выравнивается распределение нагрузки в пределах площадки касания, увеличиваются динамические нагрузки. Поэтому рекомендуется параметры для расчет брат для приработанных материалов или вводить корректирующие коэффициенты.

Подставив соответствующие значения в уравнение (36) выразим величину интенсивности изнашивания:

$$I_{h1} = \frac{0,535}{2,25 \cdot \sqrt{\left(\frac{1 \cdot 25500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 1,2}{5,7 \cdot 18 \cdot 0,94 \cdot 1}\right) \cdot \left(\frac{1-0,26^2}{2,16 \cdot 10^{-4}} + \frac{1-0,26^2}{2,16 \cdot 10^{-4}}\right) \cdot 0,014 \cdot \frac{9,2}{7,7} \cdot 1500 \cdot 1 \cdot 10000}} = 9,53 \cdot 10^{-15}.$$

Величина расчетного значения интенсивности изнашивания зубьев шестерни прямопропорциональна допустимой величине износа (толщине изношенного слоя) зубьев по формуле (36). Поэтому для увеличения срока

службы механизма необходимо стремиться к уменьшению значения интенсивности изнашивания.

Для подтверждения правильности выбранного способа повышения надёжности зубчатого зацепления применением смазочных материалов с металлоплакирующими добавками в виде наноразмерных порошков меди приводятся графики экспериментальных исследований, выполненных в лаборатории трения и изнашивания Политехнического Института СФУ. В качестве добавок брались порошки меди с размером частиц от 10 до 100 нанометр, полученные электровзрывным методом. На графиках, представленных на рисунках 13 и 14, приведены зависимости изменения износа образцов от времени испытаний при смазывании чистым маслом и маслом с добавкой ультрадисперсного медного порошка соответственно.

Обоснованием выбора таких добавок является то, что порошки данного размера имеют лучшие адгезионные свойства в сравнении с порошками более крупных размеров. За счет этого на поверхности образуются прочные плёнки, способные выдерживать значительные контактные нагрузки без отслаивания. Малые размеры частиц позволяют уменьшить высоту микронеровностей, сокращая время до наступления равновесной шероховатости, «заличивающей» образовавшиеся на поверхности микротрешины, уменьшая, тем самым возможность их разрастания. Податливость плёнки позволяет снизить значения градиента сдвиговых напряжений, что способствует постоянному поддержанию внешнего трения.

Вышеизложенное подтверждается результатами экспериментов, представленными на рисунках 15 и 16. Применение смазочных композиций с металлоплакирующими добавками приводит к снижению температуры образца, уменьшая тем самым вероятность схватывания.

В процессе работы зацепления металлоплакирующая плёнка деформируется под нагрузкой, перераспределяя тем самым контактные давления между зубьями. Это приводит к снижению контактных напряжений и, как следствие, уменьшению усталостного изнашивания.

Исследования противоизносных свойств предлагаемых металлоплакирующих добавок выполнялись на машине трения по схеме «ролик-ролик», которая моделирует контакт зубьев цилиндрической зубчатой передачи. Образцы диаметром 40 мм и шириной 10 мм изготавливались из стали 45 твердостью HB 220 без дополнительной термообработки, контактирующие поверхности подготавливались шлифованием, параметр шероховатости $R_a=1,6$ мкм.

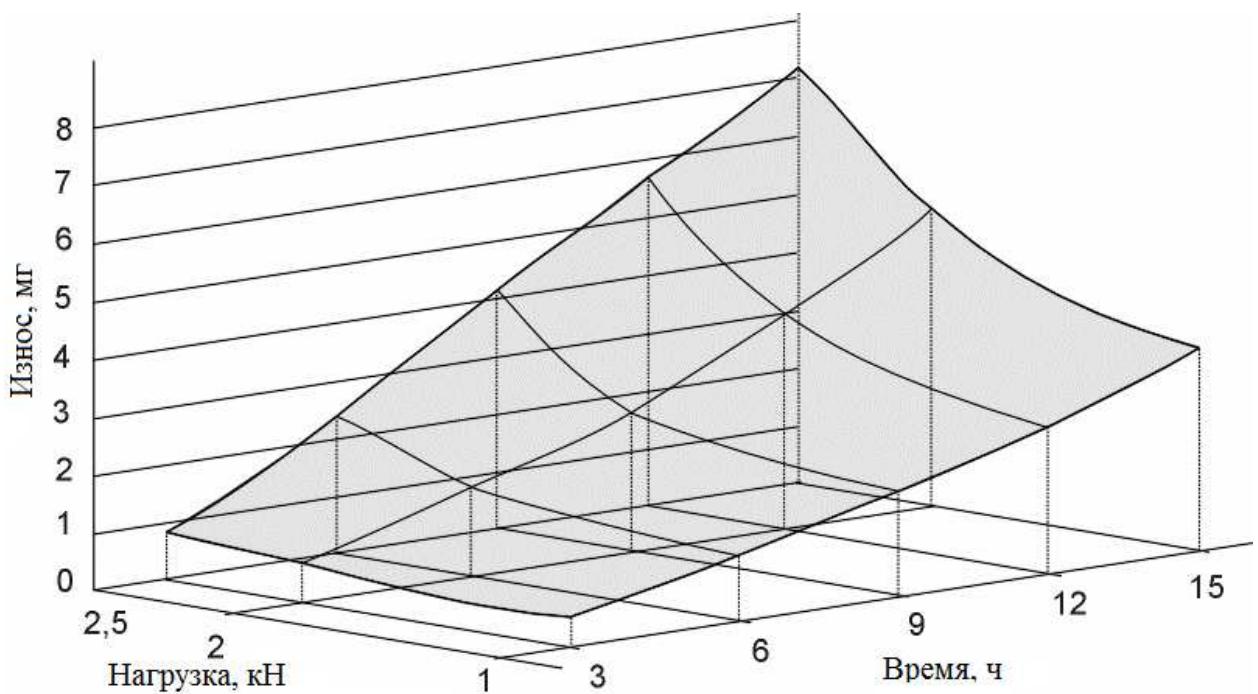


Рисунок 13 – Зависимость изменения износа образцов от времени испытаний при смазывании маслом с добавкой ультрадисперсного медного порошка

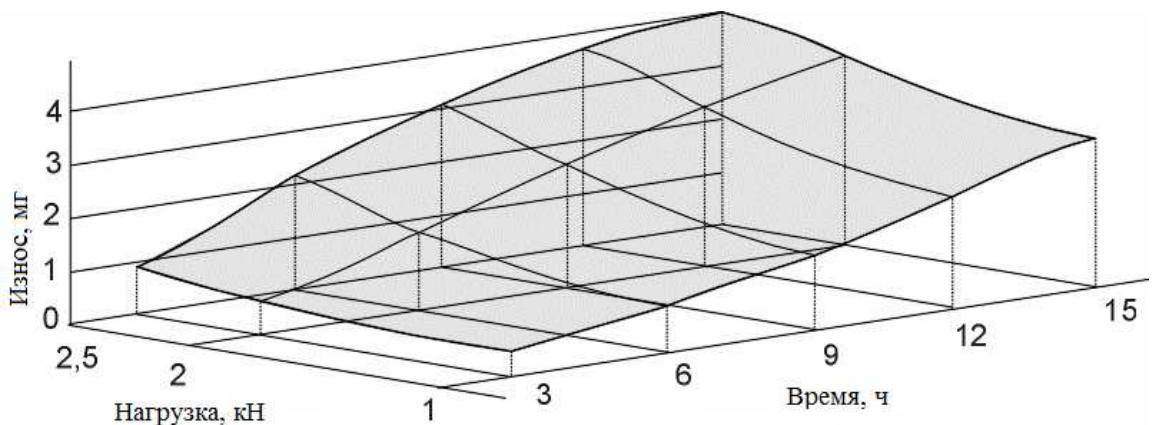


Рисунок 14 – Зависимость изменения износа образцов от времени испытаний при смазывании маслом с добавкой ультрадисперсного медного порошка

Время одного цикла испытаний составляло 15 часов. Нагрузка на образец изменялась до 2,5 кН, частота вращения образца составляла 430 об/мин. В качестве основы для внесения ультрадисперсной добавки использовался смазочное масло И-50А. Испытания проводились для смазочных композиций с содержанием ультрадисперсного медного порошка 5 % от массы базового смазочного материала.

Исследования по определению антифрикционных свойств показали положительное влияние вводимых добавок – коэффициент трения при смазывании смазочным маслом с медным порошком снизился на 55–60%.

Помимо этого, проводилась оценка влияния наполнителя по разнице температур ΔT образца, измеренных до начала испытаний и в процессе трения. На приведенных графиках представлены зависимости изменения температуры образцов от нагрузки и пути трения для смазочных материалов с металлоплакирующей добавкой и без нее.

При использовании смазочного материала с медным наполнителем отмечалось снижение температуры на 26–32 % в сравнении с базовым смазочным материалом.

Некоторое повышение температуры для смазочных композиций наблюдается в начале испытаний, что связано с ростом момента трения в режиме приработки. Это увеличивает интенсивность приработочного износа в начальный момент работы узла трения, чем и объясняется быстрый нагрев и повышение коэффициента трения в начальный период работы. Процесс приработки будет происходить до тех пор, пока неровности не приобретут размеры, обеспечивающие увеличение фактической площади контакта. При этом происходит активное повышение температуры. Окончанием режима приработки можно считать состояние, когда значения коэффициента трения и температуры стабилизируются, а полученная шероховатость будет оптимальной.

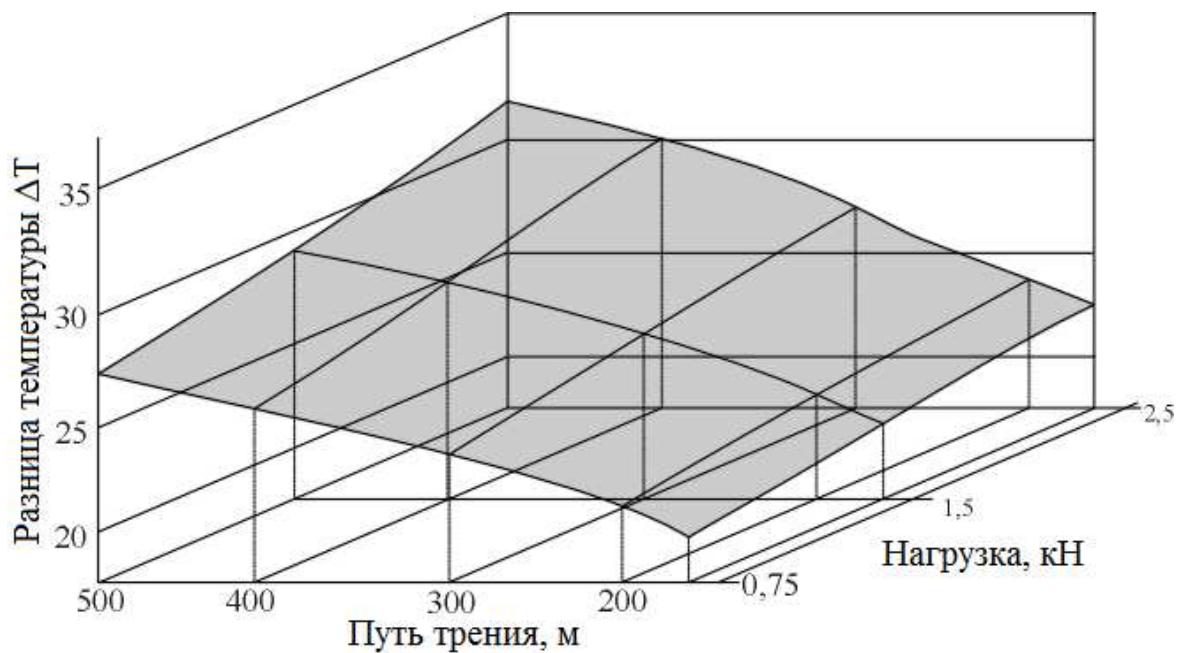


Рисунок 15 – Изменение температуры образца при использовании смазочного материала с металлоплакирующей добавкой

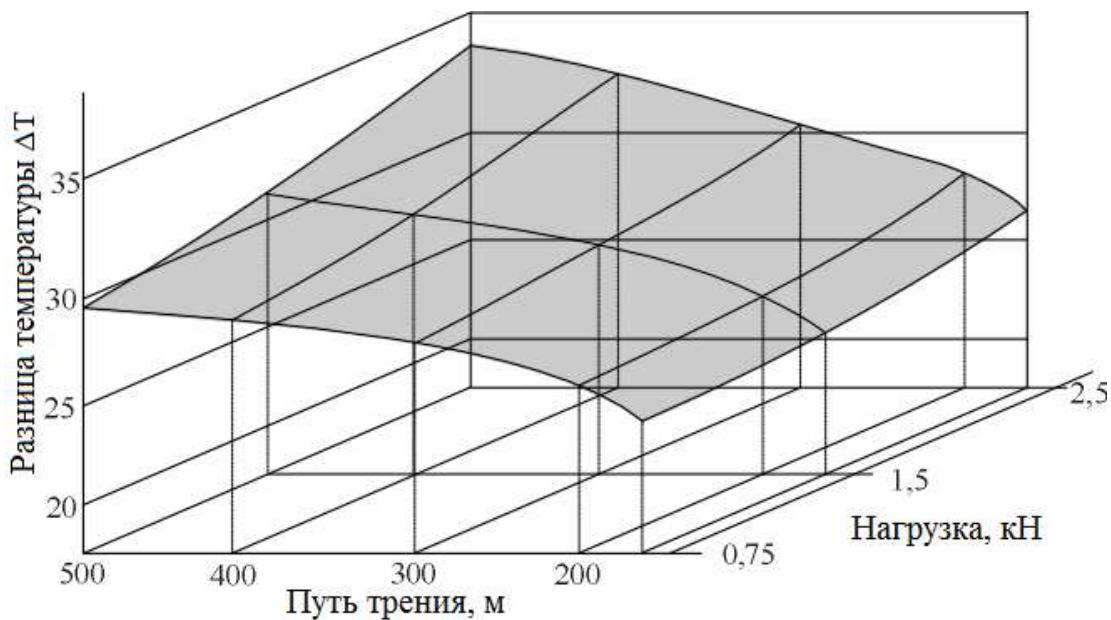


Рисунок 16 – Изменение температуры образца при использовании смазочного материала без металлоплакирующей добавки

Выводы по главе

Основываясь на проведенном анализе использования в зубчатых зацеплениях различных узлов и механизмов смазочных материалов с металлоплакирующими добавками, а также на результатах лабораторных

исследований можно заключить, что лучшими антифрикционными и противоизносными свойствами обладают созданные на основе масла И-50А смазочные композиции, в которых содержится ультрадисперсный медный порошок. Применение таких смазочных материалов способно в 1,5–2 раза увеличить срок службы зубчатого зацепления.

Использование металлоплакирующих смазочных материалов позволяет повысить долговечность узлов трения (в 2...3 раза), снижает потери на трение (на 30...200%) и тем самым повышает КПД машин и оборудования, уменьшает расход смазочных материалов (2...3 раза), способно увеличить период между смазочными работами (до 3 раз).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Избирательный перенос при трении (эффект безызносности) есть явление природы, оно признано научным открытием и зарегистрировано в Государственном реестре открытий СССР.

Все последующие изобретения, относящиеся к классу модификации смазочных материалов, были направлены на одну цель – Создать на поверхности труящихся деталей во время их работы металлическую (сервовитную) плёнку из меди или олова.

Благодаря использованию металлопластирующих самозок можно повысить долговечность узлов трения (в 2 – 3 раза), снизить потери на трение (на 30 – 200 %) и тем самым повысить КПД машин и оборудования, уменьшить расход смазочных материалов (в 2 – 3 раза), увеличить период между смазочными работами (до 3-х раз).

Была проведена оценка применения модифицированных смазочных материалов в нефтегазовой промышленности, а также выявлены перспективные направления развития экспериментальных и теоретических работ:

- Разработка новых методов по изучению строения физико – химических свойств образующихся плёнок
- Создание новых высокоэффективных смазочных композиций, реализующих в зоне контакта труящихся деталей устойчивых сервовитных плёнок.
- Разработка конструкций механизмов по проведению финишной антифрикционной безабразивной обработки деталей узлов трения без разборки труящихся сочленений и приспособлений по введению в машины смазочных композиций, реализующих эффект избирательного переноса.
- Проведение стендовых и эксплуатационных испытаний по оценке эффективности методов реализации избирательного переноса при безразборном восстановлении изношенных узлов машин и механизмов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 СТО 4.2-07-2014 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Введ. 2014. – Красноярск: ИПК СФУ, 2014. – 60с.

2 Буровые лебёдки ЛБУ – 1200, ЛБУ – 1200К // Научно – производственное объединение Технопривод – Режим доступа: <http://sd-t.ru/burovyie-lebedki-lbu-1200-lbu-1200k>.

3 Станки – качалки (приводы насосов штанговых) // «Нефтемаш» нефтяное оборудование: клапанные пары металлокерамические, насосные установки, ГШН, буровые насосы, ключи буровые, станки-качалки, цементировочные агрегаты, смесительные установки, трубы буровые – Режим доступа: <http://neftemash.ru/products/23/144/index.htm>.

4 Типы редукторных турбобуров // Буровой портал Drillings.ru – Режим доступа: <http://www.drillings.ru/tip-redukt>.

5 Редуктор РЦС – 1,53 // Группа компаний «Регион»: капитальный ремонт, сборка, покупка и продажа двигателей – Режим доступа: http://regiongrup.ru/index.php?id=43&option=com_content&task=view.

6 Запасные части для редукторов, в том числе РКС – 265, РКС – 250, РЦС – 1,53 // Уральский завод нефтяного и металлургического оборудования – Режим доступа: <http://uznmo.ru/catalogue/100003/100021/>.

7 Эксплуатация оборудования для бурения скважин и нефтегазодобычи. / Протасов В.Н., Султанова Б.З., Кривенков С.В. – Учеб. для ВУЗов – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004 – 691 с.: ил.

8 Конструирование, изготовление и эксплуатация машин. / Д.Н. Гаркунов – Учебное пособие для ВУЗов – Москва, Издательство МСХА, 2002 – 625 с.

9 Пат. US 6837123 B2 NON-INVOLUTE GEARS WITH CONFORMAL CONTACT ; заявл.: 31.02.2002 ; опубл.: 04.01.2005. – 9 с.

10 Триботехника износ и безызносность. / Д.Н. Гаркунов – Учебное пособие для ВУЗов – Москва, Издательство МСХА, 2001 – 605 с.

11 Пат. 2574944 С1 Российская Федерация. Способ химико – термической обработки деталей из сталей / М.И. Оленин, В.И. Горынин, Б.И. Бережко, Г.Н. Филимонов, К.К. Ованесьян, А.Н. Фадеев; заявл.: 17.11.2014, опубл.: 10.02.2016 – 7 с.

12 Пат. 2048547 Российская Федерация. Способ обработки зубчатых колёс / С.А. Герасимов, В.И. Кучеряый, Э.А. Елисеев, С.Д. Карпухин, В.К. Некрасов, В.А. Прянишников, А.Г. Алпатов, Ю.М. Аваков; заявл.: 30.06.1993, опубл.: 20.11.1995.

13 Влияние добавок ультрадисперсного порошка оловянной бронзы в моторное масло на работу дизеля / Д.А. Крылов, Ю.Н. Цветков – Журнал университета водных коммуникаций – 2015 – № 3.

14 Еще раз несколько иначе о металлопластировании, ФАБО и безызносности / А.С. Кужаров, А.А. Кужаров – Известия Самарского научного центра Российской академии наук – 2011 - № 4(3).

15 Закономерности и механизмы эффекта Ребиндера / А.И. Малкин – Коллоидный журнал – 2012 – Том 74, № 2.

16 Пат. 2355922 Российская Федерация. Композиция металлокодержащей присадки / С.П. Иванов, В.Г. Афанасенко, Е.В. Боев, Е.А. Николаев; заявл. 27.12.2008, опубл.: 20.05.2009 – 4 с.

17 Пат. 2503713 С1 Российская Федерация. Металлопластирующая присадка к смазочным материалам / С.В. Иншаков, В.И. Балабанов, С.А. Ищенко, Ю.Д. Клещова; заявл.: 27.11.2012, опубл. 10.01.2014 – 5 с.

18 Пат. 2385898 С1 Российская Федерация. Состав противоизносного аппарата / Н.В. Кишкопаров, М.В. Вахрушев – заявл.: 25.09.2008, опубл.: 10.04.201 – 10 с.

19 Пат. 2432386 Российская Федерация. Металлопластирующая восстановительная добавка к пластичным смазочным материалам / В.И.

Балабанов, В.Ю. Болгов, С.А. Ищенко, В.В.Лехтер; заявл.: 11.12.2009, опубл.: 27.10.2011 – 5 с.

20 Пат. 2319731 С1 Российская Федерация. Триботехническая добавка к смазочным маслам и пластичным смазкам / В.В. Ладиков; заявл.: 15.03.2007, опубл. 20.03.2008 – 8 с.

21 Износостойкие композиционные материалы на основе карбида вольфрама, меди и никеля (технология получения, исследование и применение) / М.В. Голуб – Эффект безызносности и триботехнологии – 1994 - № 1 – с. 24 – 39.

22 Опыт эксплуатации торцевых уплотнений центробежных насосов / В.И. Харламенко, М.В. Голуб, Ф.А. Сухов – М.:ВНИИ ОЭНГ – 1971 – 64 с.

23 Повышение износостойкости бурового оборудования инструмента реализацией избирательного переноса в промышленных растворах. Теория трения, износа и проблемы стандартизации / А.А. Петросянц, В.Ф. Пичугин – Сборник материалов Всесоюзной научной конференции – Брянск – 1987 – с.245 – 250.

24 Повышение износостойкости узлов трения бурового оборудования и инструмента / В.Ф. Пичугин – Сб. Долговечность трущихся деталей машин – М.: Машиностроение – 1988 - №3 – с. 177 – 184.

25 Повышение износостойкости бурового оборудования и инструмента на основе использования избирательного переноса / В.Ф. Пичугин, С.М. Мкртчян – ВНИИ ОЭНГ – 1980 – с. 31.

26 Дроздов Ю.Н. Трение и износ в экстремальных условиях: справочник / Ю.Н. Дроздов, В.Г. Павлов, В.Н. Пучков. –Москва.: Машиностроение – 1986.

27 Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ. / И.В. Крагельский, , М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – Машиностроение,1977.

Приложение А

Таблица А1 – Влияние режимов термической обработки на микротвёрдость и механические свойства образцов после азотирования

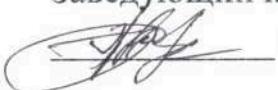
Способ	Параметры способа			Механические свойства								
	Скорость нагрева, °C/час	Температура и время длительности ступеньки	Режим азотирования	Микротвёрдость по глубине азотированного слоя и H_μ (Мпа)				Механические свойства после азотирования				
		Температура и время выдержки в печи после термического улучшения	Температура и время выдержки в печи при азотировании	Расстояние от поверхности азотированного слоя				σ_B МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ_5 %	Ψ %	$\sigma_B - \sigma_{0,2}$
				0,05 мм	0,4 мм	0,6 мм	0,8 мм					
Предлагаемый	30	450 ± 10 °C 2 час	I ступень: 500 – 520 °C 20 час	8200	4000	4000	4000	1193	1051	14,3	59,2	142
	40	450 ± 10 °C 3 час	II ступень: 520 – 540 °C 40 час	8000	4500	4400	4400	1195	1050	14,9	58,4	143
	50	450 ± 10 °C 5 час		8450	4600	3900	3900	1189	1048	14,5	58,5	141
Известный		-	I ступень: 500 – 520 °C 20 час II ступень: 520 – 540 °C 40 час	8370	4000	3750	3750	1165	1036	15	61	129
	Примечание: Исходное состояние – двойная закалка + отпуск; Результаты испытаний усреднены по 3-м образцам на точку; Измерение микротвёрдости проводилось на микротвердометре ДМ-8 фирмы AFFRI при нагрузке 100 гс.											

Приложение Б

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

Институт нефти и газа

Кафедра технологических машин и оборудования
нефтегазового комплекса

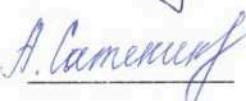
УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 Э.А. Петровский
« 06 » июня 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Повышение надёжности зубчатых передач

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

Руководитель к.т.н, доцент

С.Г. Докшанин

Выпускник ГБ13-04 081314301

С.К. Апресян

Красноярск 2017