

На правах рукописи



ФРОЛОВ АНДРЕЙ МИХАЙЛОВИЧ

**УЛУЧШЕНИЕ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ И АНТИФРИКЦИОННЫХ  
СВОЙСТВ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН  
СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ**

Специальность 25.00.15 – «Технология бурения и освоения скважин»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Уфа-2016

Работа выполнена на кафедре «Бурение нефтяных и газовых скважин»

Уфимского государственного нефтяного технического университета

**Научный руководитель**

доктор технических наук, профессор

**Конесев Геннадий Васильевич**

**Официальные оппоненты: Овчинников Василий Павлович**

доктор технических наук, профессор

главный научный сотрудник научно-исследовательского сектора «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет» (г. Тюмень)

**Христенко Алексей Витальевич**

кандидат технических наук

заведующий испытательной лабораторией буровых растворов ООО «НПП «БУРИНТЕХ» (г. Уфа)

**Ведущая организация:**

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет»

Защита состоится «31» марта 2016 г. в 14:30 на заседании диссертационного совета Д212.289.04 при ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу:

450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте [www.rusoil.net](http://www.rusoil.net)

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

Учёный секретарь

диссертационного совета



Султанов Шамиль Ханифович

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследований.**

Строительство скважин сложного профиля, многозабойных скважин сопряжено с чрезмерным изнашиванием обсадных труб, значительными энергозатратами на трение бурильной колонны, высокой прихватоопасностью.

Модификация буровых промывочных растворов улучшением их триботехнических свойств является весьма эффективным способом повышения долговечности обсадных труб, элементов бурильных колонн. Модификация может быть осуществлена за счет ввода смазочных добавок, содержащих в своем составе компоненты, проявляющие необходимые, иногда уникальные, поверхностные свойства и обладающие определенной химической активностью.

Современные смазочные добавки являются многофункциональными реагентами и должны обеспечивать снижение сальникообразования на элементах КНБК, улучшать гидрофобизирующую и ингибирующую способности промывочных жидкостей, уменьшать прихватоопасность бурильного инструмента. Поэтому разработка реагента комплексного действия для улучшения показателей триботехнических свойств промывочных растворов применительно к парам «металл – металл», «металл – фильтрационная корка» является весьма актуальной задачей, стоящей перед исследователями в современной буровой технологии.

### **Цель работы.**

Улучшение противоизносных и коркообразующих свойств буровых промывочных жидкостей на водной основе применением реагента комплексного действия.

### **Основные задачи исследований:**

1. Разработка методики исследования триботехнических свойств буровых промывочных растворов применительно к поступательному движению бурильной колонны, находящейся в условиях прижатия к внутренней поверхности обсадных труб.

2. Обоснование выбора компонентов смазочной добавки, обеспечивающих реализацию распространенных в общем машиностроении механизмов защиты металла от изнашивания применительно к трению бурильных и обсадных труб в среде промывочного раствора.
3. Разработка реагента комплексного действия, улучшающего показатели фрикционного взаимодействия в паре «металл – металл», «металл – фильтрационная корка»
4. Проведение опытно-промысловых испытаний.

### **Методы решения поставленных задач.**

Теоретическое и экспериментальное исследование процесса фрикционного взаимодействия бурильных и обсадных колонн. Испытания триботехнических свойств буровых промывочных жидкостей применительно к парам «металл – металл», «металл – фильтрационная корка», «металл – горная порода», «металл – эластомер», а также стандартные методы изучения общетехнологических свойств промывочных растворов.

### **Научная новизна.**

1. Разработана новая методика исследования фрикционного взаимодействия внутренней поверхности обсадных труб с бурильной колонной при ее поступательном движении, позволяющая осуществлять выбор смазочных добавок для улучшения триботехнических свойств промывочных жидкостей.
2. Установлено, что наличие в смазочной добавке одновалентной меди мыл таллового масла позволяет реализовать эффект металлоплакирования, но приводит к ухудшению противоприхватных свойств буровых промывочных жидкостей. Показано, что совместное использование медьсодержащего компонента и хлорированных парафинов в составе смазочного реагента для промывочных систем на водной основе позволяет уменьшить адгезионное взаимодействие в паре «металл – фильтрационная корка» до 2 раз, а скорости

изнашивания стали до 2,5 раз. Хлорированные парафины обеспечивают как улучшение показателей коркообразующих свойств промывочных растворов, так и их противоизносной способности.

#### **Защищаемые положения:**

- методика исследования триботехнических свойств буровых промывочных и технологических жидкостей;
- способ и средства улучшения противоизносных и антифрикционных свойств промывочных растворов на водной основе за счет реализации эффекта металлоплакирования и химического модифицирования;
- обоснование компонентного состава смазочной добавки для улучшения противоизносных и антифрикционных свойств промывочных растворов для бурения нефтяных и газовых скважин.

#### **Практическая ценность.**

По результатам выполненных исследований разработаны:

- смазочная добавка СД-М. Смазочная добавка СД-М успешно выдержала опытно-промышленные испытания;
- разработана методика испытания смазочных и противоизносных свойств промывочных жидкостей. Обоснована и внедрена схема реконструкции модифицированной машины трения УМТ-2168;
- разработанная методика исследования триботехнических свойств промывочных жидкостей и материалы диссертации используются в учебной работе УГНТУ при чтении лекций по дисциплинам «Буровые промывочные жидкости», «Промывочные жидкости и промывка скважин в сложных горно-геологических условиях», при подготовке курсовых и дипломных проектов, выпускных работ и магистерских диссертаций.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- XIII, XIV Международных научных конференциях «Трибология и надежность» ( г. Санкт-Петербург, 2013, 2014 гг. ).

– II научно-практической конференции с международным участием «Науки о земле: современное состояние и приоритеты развития» (г. Дубаи, 2014 г.).

– 63, 65 Научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ (Уфа, 2012, 2014 г.).

– Международной научно-технической конференции "Современные технологии в нефтегазовом деле – 2015» (г. Октябрьский, 2015г.).

**Публикации.** Основные материалы диссертации опубликованы в 14 печатных работах, в том числе в двух патентах, трех тезисах, 9 статьях, из них четыре в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ.

**Объём и структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, библиографического списка и приложения. Работа изложена на 157 страницах, включает 36 рисунков, 37 таблиц. Список использованных источников состоит из 161 наименования.

*Автор выражает благодарность за помощь научному руководителю д.т.н., профессору Г.В. Конесеву, сотрудникам кафедры БНГС УГНТУ Б.Н. Трушкину, Г.К.Чуктурову, зам. директора по технологии ООО НПП «Бурение» Д.Л.Инчакову.*

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи, научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе выполнен анализ состояния проблемы чрезмерного износа обсадной колонны, обусловленного интенсивным фрикционным взаимодействием с бурильными трубами при строительстве скважин сложной конструкции и профиля. Рассмотрены существующие методы снижения износа материалов бурильных и обсадных труб.

Износ обсадных колонн и бурильных труб незначителен при строительстве скважин с относительно простой конструкцией и профилем. Однако при бурении разведочных, многозабойных, скважин с дальними и сверхдальними отходами, при проведении ремонтных и аварийных работ нельзя не учитывать снижение прочности обсадных колонн, вызванное их изнашиванием бурильными трубами.

Значительные работы в этом направлении ведутся отечественными и зарубежными исследователями, внедряющими новые методики расчета обсадных колонн, учитывающие их износ, улучшающими конструкции элементов бурильных колонн и способствующими обоснованию режимов бурения и профилей скважин. Одним из эффективных способов защиты колонн от интенсивного изнашивания является модификация буровых промывочных жидкостей улучшением их триботехнических свойств.

Большой вклад в исследование проблемы взаимодействия технологических жидкостей и глубинного оборудования при бурении скважин внесли отечественные и зарубежные ученые: Г.В.Виноградов, М.Л. Кисельман, Э.Г. Кистер, Н.А.Колесников, Г.В. Конесев, М.Р. Мавлютов, В.Ф. Пичугин, А.Н. Попов, С.А.Постащ, А.И. Спивак, Г.М. Эрлих, М.Д.Ялунин, M. J. Otto, Jiabin Luo, A.Y. Garkasi, T. Shao, Y. Meng, G. Zhihai.

Исследования путей улучшения антифрикционных и противоизносных свойств промывочных растворов базируются на закономерностях и

фундаментальных положениях, установленных известными учеными Б.И.Костецким, И.В.Крагельским, П.А.Ребиндером, Г.И. Фуксом, Ф.Боуденом, Д. Тэйбором и др.

Современные смазочные добавки представляют собой смесь ПАВ различного строения и содержат в своем составе гидрофобные жидкости – «пленкообразователи». Однако, как показал анализ продуктов износа обсадных и бурильных труб при бурении скважин на месторождениях РФ и Китая, а также результаты лабораторных отечественных и зарубежных исследований, трение бурильных и обсадных труб сопровождается рядом патологических процессов изнашивания, характеризующихся высоким контактным давлением и значительной тепловой эмиссией. Например, металлографические исследования, выполненные в 90-е года прошлого века на кафедре БНГС УГНТУ, показали, что обсадные трубы подвергаются значительному тепловому воздействию, сопровождающемуся отпуском и закалкой приповерхностных слоев металла.

В подобных тяжело нагруженных условиях взаимодействия узлов трения в общем машиностроении нашли применение углеводородные смазочные материалы, реализующие эффекты металлоплакирования, химического модифицирования, поверхностного пластифицирования и др. Попытки реализовать указанные эффекты из водной среды, т.е. из среды промывочных растворов на водной основе, не нашли по ряду причин широкого применения. Выполненные нами исследования показали, что при обработке промывочных жидкостей известными соединениями, реализующими эффекты, например, металлоплакирования и химического модифицирования, как правило, ухудшаются коркообразующие свойства растворов, что в современной буровой технологии недопустимо из-за прихватопасности колонн в бурящихся скважинах.

Интенсивное взаимодействие колонны бурильных труб со стенками скважины происходит как в интервале открытого ствола, так и на обсаженном участке. Существуют различные методы оценки смазочных свойств растворов,



использующие пары «металл – металл», «металл – фильтрационная корка». Последние сводятся к измерению силы трения и адгезии между металлической поверхностью и фильтрационной коркой при различных временных и термобарических условиях контакта. Триботехнические свойства промывочных агентов применительно к паре «металл – металл» исследуются на различных стендах и тестерах, реализующих схему вращения, в определенной степени моделирующую взаимодействие труб при роторном бурении. Однако, как показывает проведенный анализ, доля поступательного движения в суммарном пути трения может быть значительной, особенно в условиях бурения сложных скважин, разведочного бурения и капитального ремонта. Поэтому в диссертационной работе также ставится задача обоснования методики изучения триботехнических свойств промывочных жидкостей применительно к поступательному движению бурильной колонны, находящейся в условиях прижатия к внутренней поверхности обсадных труб.

**Во второй главе** обоснован выбор объектов и методов исследования. Приводится описание методики и конструкции модифицированной машины трения, позволяющей исследовать процесс изнашивания материалов труб в среде промывочных растворов применительно к поступательному движению бурильной колонны.

Расчеты, выполненные с использованием промысловых данных, анализ литературных источников, показали, что интенсивность прижимающего усилия, при которой происходит трение бурильных и обсадных труб, находится в диапазоне 1...30 Н/мм. Величина контактных давлений, как показывает расчет, выполненный по методу Герца, составляет 4...400 Н/см<sup>2</sup>. Скорость взаимодействия может варьироваться в пределах 0,1 – 5 м/с.

Для воспроизведения указанных режимных параметров, а также физического моделирования условий трения бурильных и обсадных труб выполнен анализ существующих машин трения по рассчитанным в соответствии с  $\pi$ -теоремой критериями подобия. После реконструкции для триботехнических испытаний использована универсальная машина трения

УМТ-2168. Образцы пары трения изготавливались из материалов бурильных и обсадных труб термообработанных до твердости  $HV = 2550 \dots 3210 \text{ Н/мм}^2$ .

Для получения информация о составе и структуре поверхности трения использованы методы растровой электронной микроскопии (РЭМ) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭРС).

Улучшение триботехнических свойств промывочных растворов в современной технологии бурения недостаточно рассматривать только с позиции трения пары «металл – металл», поэтому нами также применялся разработанный на кафедре БНГС УГНТУ прибор ФАСК, позволяющий производить измерение как статического и динамического коэффициентов трения пары «металл – фильтрационная корка», так и удельной силы адгезии.

С учетом того, что современный смазочный реагент должен быть добавкой комплексного действия, нами также были проведены исследования гидрофобизирующих и ингибирующих свойств промывочных жидкостей. Для этого использовались приборы Г.Н. Каменского и Жигача-Ярова.

**В третьей главе** приводятся результаты изучения влияния различных составов смазочных добавок на триботехнические свойства промывочных жидкостей применительно к фрикционному взаимодействию бурильных и обсадных труб. Обоснован выбор компонентного состава реагента комплексного действия. Исследовано влияние реагента на противоположные, гидрофобизирующие и ингибирующие свойства промывочных жидкостей.

Реализация известного эффекта металлоплакирования, по нашему мнению, является эффективным способом улучшения смазочных свойств промывочных жидкостей. Применительно к буровой технологии реализовать данный механизм защиты металла от изнашивания нам удалось за счет введения в состав смазочной добавки органических соединений меди. Защитное действие реагентов, содержащих металлоплакирующие компоненты, заключается в образовании на поверхности трения сервовитной пленки. Эта пленка обладает высокой, по сравнению с материалом труб, пластичностью,

позволяя, тем самым, увеличить фактическую площадь контакта между телами, локализует сдвиговые напряжения в тонких поверхностных слоях.

Исследования рабочей поверхности стальных образцов методами РЭМ и ЭРС показали, что восстановление меди происходит только на участках с высокой контактной температурой и энергетической загрузкой. Образующаяся на этих участках медная пленка обладает повышенной пластичностью и под действием энергии трения плакирует рабочую поверхность металла. Это хорошо согласуется с наблюдениями З.П.Мельника, проводившего исследования смазочных материалов применительно к общему машиностроению.

Исследования различных медьсодержащих веществ показали, что время образования медной пленки снижается с ростом содержания меди в смазочном реагенте. Также установлено, что органические соединения одновалентной меди, по сравнению с соединениями двухвалентной меди, быстрее вступают в трибохимическое взаимодействие с рабочей поверхностью металла. Поэтому в качестве медьсодержащего компонента в составе смазочной добавки нами были выбраны одновалентной меди мыла таллового масла (МТМ). Также установлено, что ввод медных органических мыл в состав реагента отрицательно сказывается на противоприхватных свойствах промывочных жидкостей, поэтому использование плакирующих веществ целесообразно только в качестве противозадирного компонента.

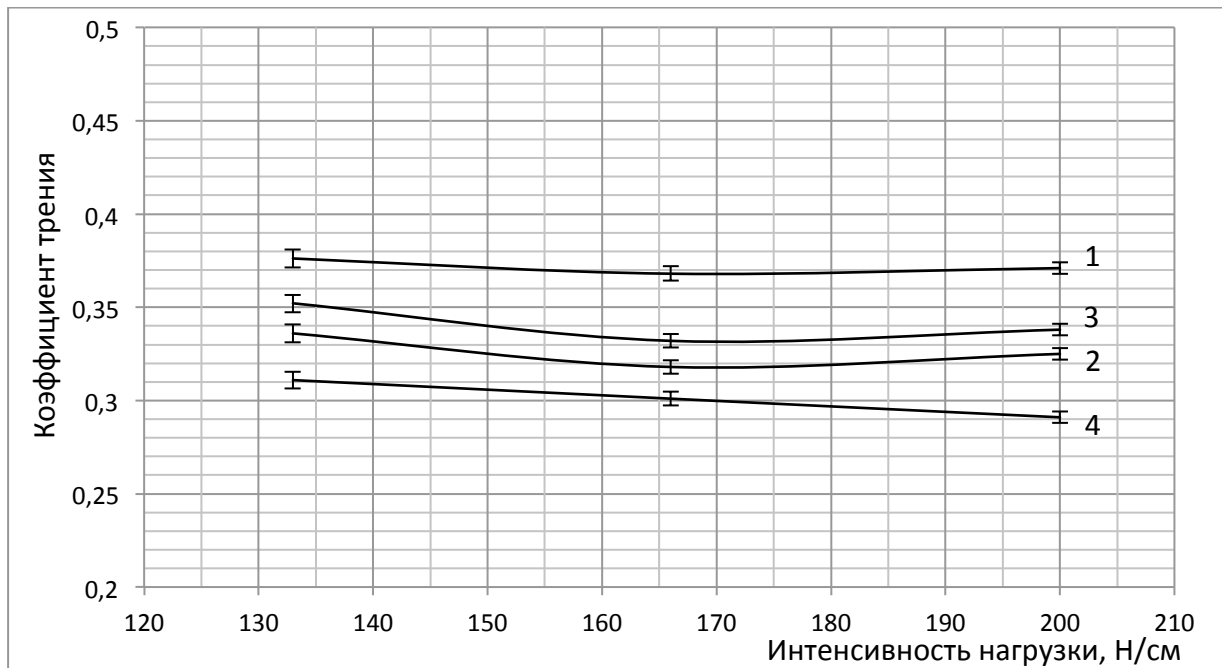
Эффект от использования металлоплакирующего компонента в составе смазочной добавки может быть усилен за счет ввода серо-, фосфор-, хлорорганических и др. веществ. В условиях высокой энергетической загрузки они способны модифицировать поверхность трения. В качестве такого компонента нами обоснован выбор хлорированных парафинов (ХП). ХП нашли широкое применение в составах для жирования кож как пластификаторов при производстве пластмасс. Они используются в составе водных СОЖ для обработки металлов резанием, ранее в качестве присадок вводились в масла гипоидных передач и топлива двигателей внутреннего сгорания.

ХП представляют собой смесь насыщенных углеводородов с числом атомов углерода от десяти до тридцати, в которых часть атомов водорода заменена на атом хлора. Защитное действие хлорсодержащих соединений заключается в образовании на трущейся поверхности хлоридов железа или сложных хлорорганических солей железа. ХП имеют достаточно низкую стоимость и высокую доступность. Использование ХП в составе смазочного реагента совместно с ПАВ может быть весьма перспективным способом улучшения смазочных свойств промывочных жидкостей.

Для изучения влияния ХП и ПАВ на параметры фрикционного взаимодействия пары «металл – металл» были проведены сравнительные триботехнические испытания промывочной жидкости, обработанной распространенной смазочной добавкой Лубриол, а также тестовой (ТК) и сравнительной композициями (СК). Состав ТК: КТМ (калиевые мыла жирных кислот) – 41%, СВС (смесь полигликолей и флотореагента оксаля в соотношении 45:55) – 41%, НП АВ (Неонол АФ 9-12) – 3%, ХП – 15%. СК отличается от ТК только отсутствием ХП. Ее состав: НП АВ – 3%, КТМ – 49%, СВС – 48%.

В качестве базовых промывочных растворов использовались безглинистый биополимерный (ББР) и полимер-глинистый (ПГР) растворы. Состав ББР: вода + 0,3% ксантановая смола + 0,3% ПАЦ НВ + 0,2% ПАЦ НВ + 0,01% NaOH + 0,01% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 20% мел + 5% KCl + 1% смазочная добавка. Его параметры: плотность=1,18 г/см<sup>3</sup>, ПФ=5,5 см<sup>3</sup>/30 мин, УВ=56с, ПВ=17 мПа\*с. Состав ПГР: вода + 5% бентонит + 0,3% ЧГПАА + 0,3% ПАН + 0,07% NaOH. Параметры: плотность=1,06 г/см<sup>3</sup>, ПФ=7,9 см<sup>3</sup>/30 мин, УВ=61с, ПВ=13 мПа\*с.

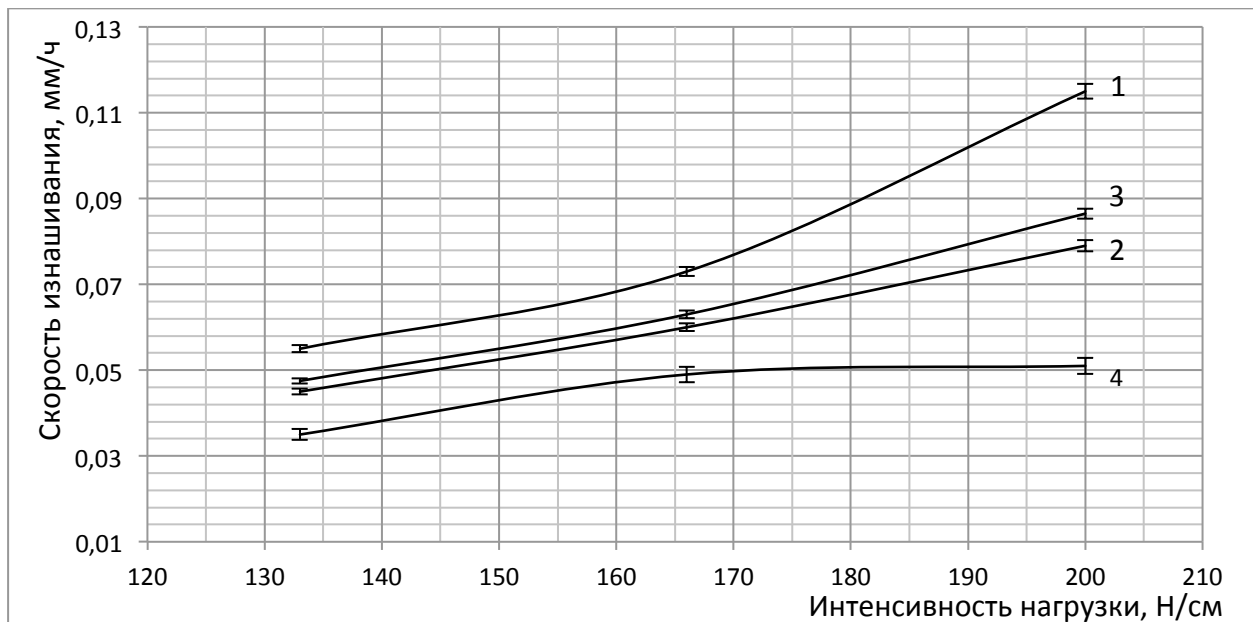
На рисунке 1 показано влияние различных смазочных добавок на коэффициент трения пары «металл – металл» в диапазоне интенсивности нагрузки, характерном для взаимодействия колон бурильных и обсадных труб на участках набора зенитного угла, локального изменения параметров кривизны при бурении скважин сложного профиля.



1 – ББР; 2 – 1+1% Лубриол; 3 – 1+1% СК; 4 – 1+1% ТК;

Рисунок 1 – Коэффициент трения пары «металл – металл» в различных средах

На рисунке 2 показано влияние смазочных добавок на скорость изнашивания образца, изготовленного из термообработанной стали 45. Испытания проводились на модифицированной машине трения УМТ-2168.



1 – ББР; 2 – 1+1% Лубриол; 3 – 1+1% СК; 4 – 1+1% ТК;

Рисунок 2 – Скорость изнашивания образца стали в различных средах

Как видно из рисунков 1 и 2, ввод ХП в состав смазочной добавки позволил снизить скорость изнашивания образца стали до 2 раз, а коэффициент трения – до 30%.

Способность ХП улучшать противоприхватную способность промывочных жидкостей оценивалась на приборе ФСК-2М, в качестве базового раствора был выбран ББР (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние реагента, содержащего ХП, на коэффициент трения «металл – фильтрационная корка»

№	Тип раствора	Коэффициент трения	
		статический	динамический
1	ББР	0,255	0,225
2	1+1% Лубриол	0,215	0,198
3	1+1%СК	0,210	0,192
4	1+1%ТК	0,190	0,181

Из таблицы 2 видно, что реагент ТК, содержащий ХП, обеспечивает снижение динамического и статического коэффициентов трения пары «металл – фильтрационная корка» на 10 – 20 % по сравнению с СК и Лубриол.

Триботехнические испытания показали также способность ХП усилить защитное действие МТМ. Для обоснования состава смазочной добавки, содержащей СВС, КТМ, ХП и МТМ, был построен симлекс-центроидный план эксперимента. Обработка его результатов позволила получить уравнение регрессии (обобщенный коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9852$ ):

$$a = 1,890 \cdot A + 0,602 \cdot B + 0,089 \cdot C + 0,094 \cdot D - 5,077 \cdot A \cdot B - 2,364 \cdot A \cdot C - 2,299 \cdot A \cdot D - 0,933 \cdot B \cdot C + 4,143 \cdot A \cdot B \cdot C, \quad (1)$$

где  $a$  – скорость изнашивания эталонного образца стали, мм/ч;

$A$  – содержание МТМ;

$B$  – содержание ХП;

$C$  – содержание КТМ;

$D$  – содержание СВС.

Проведенный анализ уравнения позволил уточнить состав смазочной добавки: СВС – 25%, КТМ – 42%, ОТМ–12%, ХП–21%. Разработанный реагент назван СД-М.

В таблицах 2 и 3 представлены результаты испытания триботехнических свойств соответственно безглинистого и глинистого растворов (в числителе – скорость изнашивания, в знаменателе – коэффициент трения), обработанных современными смазочными добавками, в т.ч. и реагентом СД-М.

Таблица 2 – Влияние различных смазочных реагентов на показатели триботехнических свойств ББР

№	Среда	Скорость изнашивания образца стали, мм/ч Коэффициент трения пары «металл – металл» при различных интенсивностях нагрузки, Н/см		
		133	166	200
1	ББР	<u>0,0552</u> 0,376	<u>0,0734</u> 0,368	<u>0,1151</u> 0,371
2	№1+1% Лубриол	<u>0,0452</u> 0,336	<u>0,0600</u> 0,318	<u>0,0791</u> 0,325
3	№1+1% Verlead	<u>0,0471</u> 0,342	<u>0,0653</u> 0,324	<u>0,0881</u> 0,341
5	№1+1% АКС 303	<u>0,0415</u> 0,329	<u>0,0515</u> 0,319	<u>0,0716</u> 0,329
7	№1+1% БКР-5	<u>0,0423</u> 0,326	<u>0,0514</u> 0,311	<u>0,0734</u> 0,331
8	№1+1% СД-М	<u>0,0183</u> 0,305	<u>0,0296</u> 0,287	<u>0,0316</u> 0,296

Как видно из таблицы 2, лучшие показатели из смазочных добавок, взятых для сравнения, показали реагенты АКС-303 и БКР-5 (разработан на кафедре БНГС УГНТУ). По сравнению с ними композиция СД-М снизила скорость изнашивания во всем диапазоне интенсивности нагрузок в 1,5-2,5 раза, а коэффициент трения до 1,5 раз.

Проведенный с помощью методов РЭМ и ЭРС анализ рабочей поверхности образцов показал, что в средах, обработанных смазочными добавками без ХП, на относительно ровных участках поверхности трения четко прослеживаются зоны пластического течения металла. При триботехнических испытаниях в растворе, обработанном реагентом СД-М, таких зон не обнаружено, а поверхностные дефекты были заполнены графитизированным углеродом. Также на металлической поверхности наблюдаются кластеры меди, покрывающие участки неровностей и шероховатостей.

Таблица 3 – Влияние различных смазочных реагентов на показатели триботехнических свойств ПГР

№	Среда	Скорость изнашивания образца стали, мм/ч Коэффициент трения пары «металл – металл» при различных интенсивностях нагрузки, Н/см		
		133	166	200
1	ПГР	<u>0,0420</u> 0,365	<u>0,0560</u> 0,324	<u>0,0675</u> 0,346
2	№1+1% Лубриол	<u>0,0340</u> 0,316	<u>0,0502</u> 0,288	<u>0,0620</u> 0,322
3	№1+1% Verlead	<u>0,0336</u> 0,280	<u>0,0482</u> 0,291	<u>0,0603</u> 0,346
5	№1+1% АКС 303	<u>0,0315</u> 0,293	<u>0,0460</u> 0,285	<u>0,0591</u> 0,331
7	№1+1% БКР-5	<u>0,0280</u> 0,286	<u>0,0412</u> 0,290	<u>0,0541</u> 0,302
8	№1+1% СД-М	<u>0,0163</u> 0,279	<u>0,0217</u> 0,267	<u>0,0380</u> 0,283

Из таблицы 3 видно, что разработанный реагент улучшает смазочные свойства и глинистых растворов. По сравнению с добавкой БКР-5 (лучшая из сравнительного ряда) реагент СД-М позволил снизить скорость изнашивания металлической поверхности до 2 раз, а коэффициент трения в паре «металл – металл» на 15 – 20%.



Помимо влияния добавки СД-М на показатели взаимодействия пары «металл – металл», изучена ее способность улучшать смазочные и противоизносные свойства промывочных растворов в парах «металл – фильтрационная корка», «металл – горная порода» и «металл – эластомер». Последняя пара трения представляет интерес с точки зрения повышения долговечности винтовых забойных двигателей.

В таблице 4 представлены результаты измерения на приборе ФСК-2М статического и динамического коэффициентов трения, а в таблице 5 – удельной силы адгезии между металлическим пуансоном и фильтрационной коркой промывочных жидкостей, обработанных различными смазочными реагентами.

Таблица 4 – Влияние различных смазочных добавок на коэффициент трения пары «металл – фильтрационная корка»

№	Промывочная жидкость	Коэффициент трения		(fs-fd)/fd
		статический (fs)	динамический (fd)	
1	ББР*	0,255	0,225	0,13
2	№1+1% Лубриол	0,215	0,198	0,09
3	№1+1% БКР-5	0,210	0,192	0,09
4	№1+1% Verlead	0,232	0,201	0,15
5	№1+1% СД-М	0,183	0,179	0,02
6	ПГР*	0,424	0,365	0,16
7	№6+1% Лубриол	0,381	0,350	0,09
8	№6+1% БКР-5	0,372	0,346	0,08
9	№6+1% Verlead	0,383	0,362	0,06
10	№6+1% СД-М	0,355	0,348	0,04

\*состав и параметры ББР и ПГР соответствуют параметрам безглинистой и глинистой промывочным системам при триботехнических испытаниях

Из таблицы 4 видно, что обработка как глинистого, так и безглинистого раствора добавкой СД-М позволила снизить динамический коэффициент трения до 15% относительно распространенных реагентов.

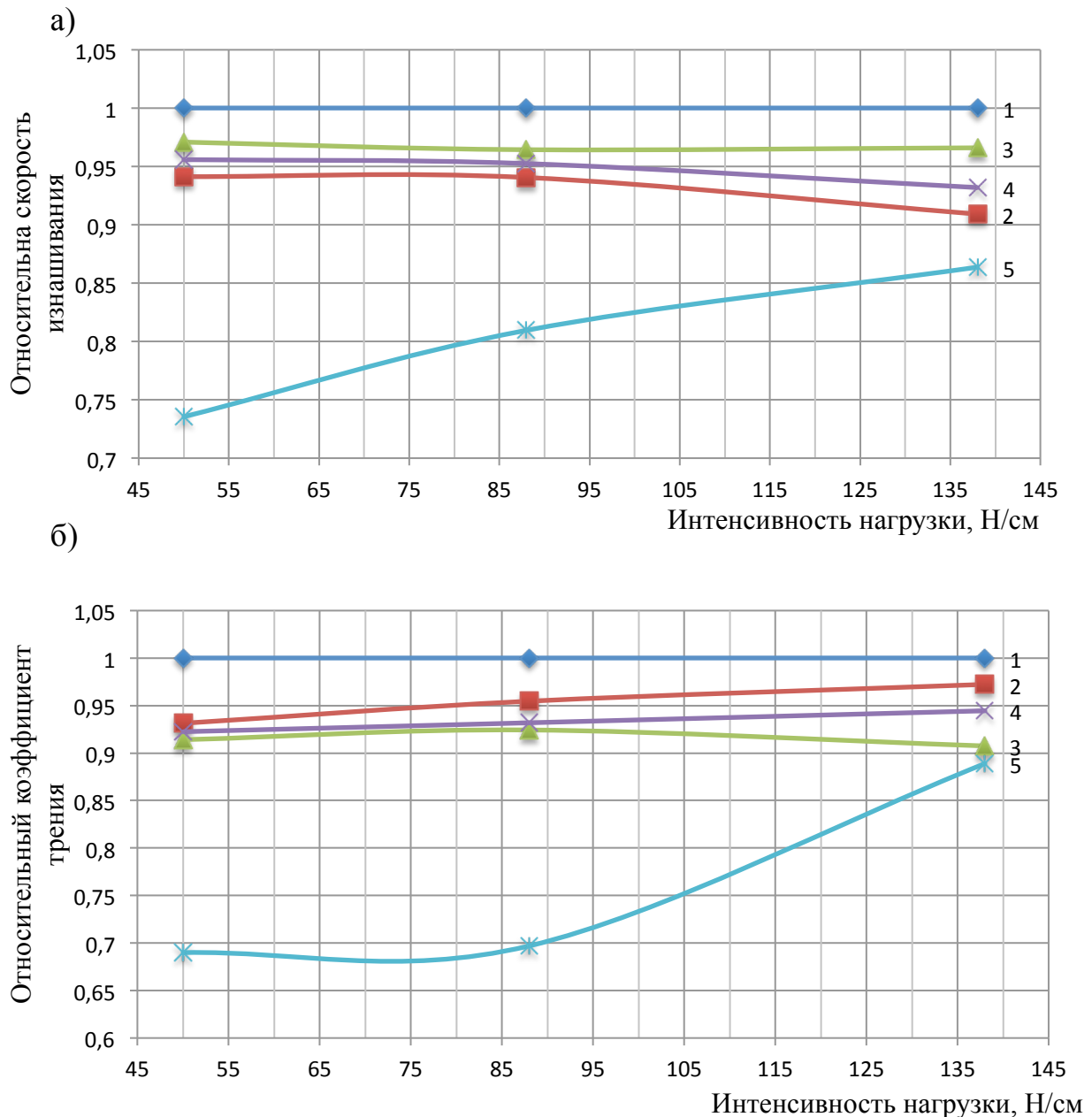
Таблица 5 – Влияние различных смазочных добавок на удельную силу адгезии в паре «металл – фильтрационная корка»

№	Промывочная жидкость	Удельная сила адгезии, Н/см <sup>2</sup> при времени контакта, мин		
		5	10	20
1	ББР*	0,256	0,398	0,444
2	№1+1% Лубриол	0,135	0,189	0,251
3	№1+1% БКР-5	0,124	0,176	0,203
4	№1+1% Verlead	0,225	0,336	0,413
5	№1+1% СД-М	0,063	0,119	0,154
6	ПГР*	0,101	0,165	0,183
7	№6+1% Лубриол	0,081	0,141	0,158
8	№6+1% БКР-5	0,088	0,134	0,156
9	№6+1% Verlead	0,121	0,145	0,148
10	№6+1% СД-М	0,078	0,111	0,134

Из таблицы 5 видно, что обработка промывочного раствора добавкой СД-М позволяет уменьшить адгезионное взаимодействие в паре «металл – фильтрационная корка» до 2 раз по сравнению с распространенными смазочными добавками.

Помимо взаимодействия с фильтрационной коркой и с внутренней поверхностью обсадной колонны бурильные трубы подвергаются абразивному изнашиванию о горные породы.

Совместно с А.Р. Яхиным были изучены триботехнические свойства промывочной среды, обработанной различными смазочными добавками, применительно к трению бурильной колонны о горные породы открытого ствола скважины. Испытания проводились на реконструированной машине трения АИ-3М по схеме «диск – горная порода». Диск изготавливался из стали 40ХН, в качестве горной породы был выбран керн девонского песчаника ( $P_{ш}=1300 \text{ Н/мм}^2$ ). Промывка осуществлялась безглинистым раствором (ББР), состав и его параметры приведены выше.



1 – ББР; 2 – ББР+1% АКС 303; 3 – ББР+1% БКР-5; 4 – ББР+1% Лубриол; 5 – ББР+1% СД-М;

Рисунок 3 – Значения относительной скорости изнашивания диска а) и относительного коэффициента трения б) пары «металл – горная порода» в различных средах

Из рисунка 3 видно, что обработка буровой промывочной жидкости реагентом СД-М позволяет снизить скорость абразивного изнашивания элементов бурильных труб до 25%, а коэффициент трения в паре «металл – горная порода» до 30 %.

Долговечность работы забойного двигателя определяется как его конструкцией, режимом работы, так и триботехническими свойствами промывочного раствора. Исследования, проведенные совместно с М. Аль-Сушили на реконструированной машине ИИ-5018, показали, что относительно распространенных смазочных реагентов композиция СД-М увеличивает износостойкость резинового статора до 3 раз и снижает коэффициент трения в паре «металл – эластомер» на 10-20%.

Исследование влияния содержания солей кальция в растворе на эффективность действия смазочных реагентов показало, что разработанный реагент СД-М не теряет свою эффективность в условиях сильной минерализации. Его устойчивость к агрессии солей жесткости до 2 раз выше, чем у добавок БКР-5 и Verlead.

Современные буровые смазочные добавки являются реагентами комплексного действия, которые наряду с улучшением триботехнических свойств должны оказывать положительное воздействие на качество вскрытия продуктивного пласта, в частности за счет гидрофобизации поверхности его порового пространства.

Лабораторные исследования показали, что ввод реагента СД-М в состав промывочной жидкости позволяет снизить капиллярное давление на 25 – 30% относительно распространенных добавок, что указывает на его способность оказывать положительное влияние на качество первичного вскрытия.

**В четвертой главе** приводятся результаты опытно-промысловых испытаний реагента СД-М. Промысловые испытания проводились при строительстве скважины №3 Александровского лицензионного участка недр во время бурения интервала под эксплуатационную колонну. В качестве базы сравнения взяты результаты бурения скважины №2 на этой же площади, имеющей аналогичную конструкцию. Промывка осуществлялась малоглинистым хлоркалийевым раствором (МХКР), обработанным добавкой Torq-Trim. Состав МХКР: бентонит – 3,5%, каустическая сода – 0,2%, кальцинированная сода – 0,2%, хлористый калий – 3,5%, карбонат кальция –

3,5%, полианионная целлюлоза (низковязкая модификация) – 0,5%, полианионная целлюлоза (высоковязкая модификация) – 0,4%, смазочная добавка – 1%. Параметры раствора: плотность– 1,12 г/см<sup>3</sup>, УВ – 42 сек, ПФ – 6 см<sup>3</sup>/30мин, СНС (1мин/10мин) – 27/52 дПа, ДНС – 18 дПа.

При бурении интервала под эксплуатационную колонну на скважине №3 Александровской площади перед наращиваем каждые 100 м проводился замер веса бурильной колонны при движении вверх и вниз. Данные о значениях веса бурильной колонны при бурении скважины №2 были взяты из бурового вахтенного журнала и диаграмм станции ГТИ.

Полученные данные использовались для расчета коэффициента трения между колонной бурильных труб в открытом и обсаженном стволе скважины. Расчёт производился на программе Well Plan Landmark. Полученные расчетные значения коэффициента трения (таблица 7) использовались в качестве критерия оценки эффективности разработанного реагента. Кроме того учитывался также расход добавки.

Таблица 7 – Коэффициент трения пары «бурильная колонна–стенка скважины» в обсаженном и открытом стволе скважины

Скважина	Коэффициент трения	
	обсаженный участок	открытый ствол
№2 Александровской площади	0,36-0,38	0,38-0,42
№3 Александровской площади	0,31-0,33	0,35-0,38

Как видно из таблицы 7, реагент СД-М позволяет снизить коэффициент трения между бурильной колонной и стенками скважины в обсаженном интервале на 10 – 15%, а в интервале открытого ствола на 9 – 12%. Отмечен меньший, по сравнению с широко используемой добавкой, расход реагента (СД-М – 1,19 л/м, Torq-Trim – 1,21 л/м).

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана методика исследования триботехнических свойств промывочных растворов при трении пары «металл – металл» применительно к фрикционному взаимодействию обсадных труб и бурильной колонны при поступательном движении. Выполнено конструктивное изменение системы крепления образцов машины трения УМТ-2168, произведено ее оснащение измерительным узлом, позволяющим регистрировать силу трения между образцами в исследуемом растворе в режиме реального времени. Конструкция и способ размещения измерительного узла защищены патентом 149153РФ.

2. Установлено, что ввод в состав смазочной добавки металлоплакирующего компонента отрицательно сказывается на противоприхватной способности промывочной жидкости и целесообразен только для улучшения противозадирных свойств. В качестве металлоплакирующего компонента обосновано применение одновалентной меди мыла таллового масла. Использование в составе реагента хлорированных парафинов позволяет улучшить показатели противоизносных и коркообразующих свойств промывочных растворов.

3. Разработан реагент СД-М, содержащий хлорпарафины и одновалентной меди мыла таллового масла. Реагент СД-М улучшает общетехнологические свойства промывочных растворов, позволяет снизить скорость изнашивания образца стали в 2..2,5 раза, коэффициент трения в паре «металл – металл» до 1,5 раз, удельную силу адгезии в паре «металл – фильтрационная корка» до 2 раз.

4. Проведены успешные опытно-промышленные испытания. При промывке буровым раствором, содержащим реагент СД-М, осложнений, связанных с потерей устойчивости стенок скважины, затяжками и прихватами, не наблюдалось. При бурении скважины №3 Александровской площади обработка промывочного раствора добавкой СД-М позволила снизить коэффициент трения между бурильной колонной и стенками скважины в среднем на 15 – 20%.

**Основные положения и результаты работы опубликованы в  
следующих научных трудах:**

**в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:**

1. Матюшин В.П. и др. Исследование и разработка средств улучшения показателей триботехнических свойств буровых промывочных жидкостей / Матюшин В.П., Фролов А.М., Салихов И.Ф., Конесев Г.В. // Нефтегазовое дело. – 11, №2. – 2013. – С. 40 – 43.

2. Фролов А.М. и др. Взаимодействие колонны бурильных труб со стенкой скважины / Фролов А.М., Матюшин В.П., Дихтярь Т.Д., Конесев В.Г. // Территория нефтегаз. – №2. – 2014. – С. 14 – 17.

3. Яхин А.Р., Янгиров Ф.Н., Фролов А.М. Исследование износостойкости замков бурильных труб при трении о горную породу в различных средах // Территория нефтегаз. – №6. – 2014. – С. 28 – 32.

4. Фролов А.М. и др. Разработка методики изучения триботехнических свойств буровых промывочных жидкостей / Фролов А.М., Попов А.Н., Конесев В.Г., Нуриев Т.Р. // Нефтегазовое дело. – 13. – №2. – 2015. – С. 53 – 58.

**в других изданиях:**

5. Пат. 149153 РФ Прибор для изучения триботехнических свойств буровых промывочных жидкостей / А.М. Фролов, Г.В. Конесев, В.П. Матюшин // Открытия. Полезная модель. – 2014. – №35

6. Пат. 2554972 РФ Смазочная добавка к буровым промывочным жидкостям / Фролов А.М., Конесев В.Г., Исмаков Р.А., Матюшин В.П. / Открытия. Изобретения. – 2015. – №19

7. Фролов А.М., Конесев Г.В. Разработка противоизносной добавки к реагенту комплексного действия // 63-я Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ: сб. матер. конф. – г.Уфа: УГНТУ, 2012. – С. 322.

8. Яхин А.Р. и др. Снижение теплонапряженности трения в парах «металл – горная порода» и «металл – металл» применительно к бурению глубоких скважин / А.Р. Яхин, В.Г. Конесев, В.П. Матюшин, И.Ф. Салихов, А.М. Фролов // Трибология и надежность: труды XIII Международной конференции. Под общ. ред. проф. Войнова К.Н., Санкт-Петербург, 2013. – С. 144 – 151.

9. Фролов А.М. и др. Исследование и разработка средств снижения износа обсадных колонн при бурении глубоких скважин / А.М.Фролов, Г.В. Конесев, Р.А. Исмаков, О.Б. Трушкин // Трибология и надежность: труды XIII

Международной конференции. Под общ. ред. проф. Войнова К.Н., Санкт-Петербург, 2013. – С. 151 – 158.

10. Яруллин А.А и др. Разработка смазочной добавки к буровым промывочным жидкостям / А.А. Яруллин, А.Д.Хамматов, А.М. Фролов, Г.К. Чуктуров // 65-я Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ: сб. матер. конф. – г.Уфа: УГНТУ, 2014 – С. 101 – 102.

11. Фролов А.М. и др. Разработка средств улучшения показателей трибологических свойств промывочных жидкостей для бурения глубоких скважин / А.М.Фролов, В.Г.Конесев, Г.К.Чуктуров, А.А.Яруллин // Трибология и надежность: труды XIV Международной научной конференции. Под общ. ред. проф. Войнова К.Н., Санкт-Петербург, 2014. – С. 215 – 223.

12. Фролов А.М., Конесев Г.В., Матюшин В.П. Разработка методики изучения процесса трения и изнашивания материалов обсадных и бурильных труб применительно к спуско-подъемным операциям // Трибология и надежность: труды XIV Международной научной конференции. Под общ. ред. проф. Войнова К.Н., Санкт-Петербург, 2014. – С. 208 – 215.

13. Фролов А.М., Яруллин А.А. Разработка смазочной добавки к буровым промывочным жидкостям // Материалы II научно-практической конференции с международным участием «Науки о Земле: современное состояние и приоритеты развития» №2 (51) т.10, 2014. – С. 56 – 57

14. Фролов А.М., Дихтярь Т.Д., Пурин В.П., Нуриев Т.Р.. Исследование и разработка средств улучшения показателей триботехнических свойств буровых промывочных жидкостей // Материалы международной НТК "Современные технологии в нефтегазовом деле – 2015" т.1. С. – 378-382 URL: <http://www.of.ugntu.ru/files/mntk2015/1.pdf>