Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

***На правах рукописи***

**ХУСАИНОВА Дина Анасовна**

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ**

**СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ И КОРРОЗИИ ОБОРУДОВАНИЯ В НЕФТЯНЫХ**

**СКВАЖИНАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНГИБИТОРОВ**

**КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ**

Специальность 25.00.17 - Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых

месторождений

**ДИССЕРТАЦИЯ на соискание ученой степени кандидата технических наук**

**Научный руководитель:**

**к.т.н., доцент**

**Мардашов Д.В.**

Санкт-Петербург – 2018 г.

2

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

[ВВЕДЕНИЕ 6](#bookmark0)

[ГЛАВА 1 ОБОБЩЕНИЕ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И  
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ С ЦЕЛЬЮ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ  
ВЫПАДЕНИЯ СОЛЕЙ И КОРРОЗИОННЫХ РАЗРУШЕНИЙ  
НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ 11](#bookmark1)

[1.1 Анализ осложнений, возникающих при разработке нефтяных  
месторождений 11](#bookmark2)

[1.1.1 Анализ причин образования неорганических солей 13](#bookmark3)

[1.1.2 Анализ причин протекания углекислотной коррозии в скважинах на  
нефтяных месторождениях Западной Сибири 17](#bookmark4)

[1.2 Анализ и перспективы применения современных методов предотвращения  
образования солеотложений и коррозионного разрушения нефтепромыслового  
оборудования 20](#bookmark5)

[1.2.1 Методы предотвращения солеотложений в нефтяных скважинах 20](#bookmark6)

[1.2.2 Методы предотвращения коррозионных процессов в нефтяных  
скважинах 24](#bookmark7)

[1.3 Опыт применения ингибиторов для предотвращения отложений солей и  
коррозии нефтепромыслового оборудования 27](#bookmark8)

[1.4 Оценка эффективности существующих технологий предотвращения  
осложнений с применением химических реагентов 30](#bookmark9)

[1.4.1 Периодическое дозирование ингибитора в затрубное пространство 31](#bookmark10)

1. [Постоянное дозирование ингибитора в затрубное пространство с помощью поверхностных дозирующих устройств 31](#bookmark11)
2. [Установка погружных скважинных контейнеров с ингибитором в составе скважинного оборудования 32](#bookmark12)
3. [Использование капсулированных ингибиторов 32](#bookmark13)
4. [Задавка ингибиторов в пласт 32](#bookmark14)

[1.5 Оценка взаимовлияния различных химических реагентов на их  
эффективность 35](#bookmark15)

3

[Выводы к главе 1 36](#bookmark16)

[ГЛАВА 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ ИНГИБИТОРА СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ И  
КОРРОЗИИ КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ 38](#bookmark17)

[2.1 Методики определения физико-химических свойств 41](#bookmark18)

1. [Методика определения внешнего вида 41](#bookmark19)
2. [Методика определения плотности 41](#bookmark20)
3. [Методика определения кинематической вязкости 41](#bookmark21)
4. [Методика определения термостабильности 42](#bookmark22)
5. [Методика определения температуры застывания 42](#bookmark23)
6. Методика определения водородного показателя 43
7. [Методика определения массовой доли сухого остатка 43](#bookmark24)
8. [Методика определения аминного числа несвязанных аминов 44](#bookmark25)

[2.2 Методики определения технологических свойств 44](#bookmark26)

1. [Методика оценки совместимости с моделью пластовой воды 44](#bookmark27)
2. [Методика оценки совместимости с жидкостями глушения 45](#bookmark28)

[2.3 Методики определения защитных свойств 45](#bookmark29)

[2.3.1 Методика определения эффективности ингибирования солевых  
отложений 45](#bookmark30)

[2.3.2 Методика определения эффективности ингибирования ускоренной  
коррозии 48](#bookmark31)

1. [Методика исследования межфазного натяжения водных и солевых растворов ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия на границе с углеводородной жидкостью 52](#bookmark32)
2. [Методика исследования влияния растворов ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия на набухание глинистых частиц 54](#bookmark33)
3. [Методика исследования гидрофобизирующих свойств ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия 55](#bookmark34)
4. [Методика исследования диффузионных свойств ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия 57](#bookmark35)

4

1. [Методика фильтрационных исследований ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия 57](#bookmark36)
2. [Методика обработки экспериментальных данных 64](#bookmark37)

[Выводы к главе 2 66](#bookmark38)

[ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ И КОРРОЗИИ  
ОБОРУДОВАНИЯ В НЕФТЯНЫХ СКВАЖИНАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ИНГИБИТОРА КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ 67](#bookmark39)

1. [Разработка композиции ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия 67](#bookmark40)
2. [Результаты исследований физико-химических и технологических свойств ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия 70](#bookmark41)
3. [Результаты исследований эффективности ингибирования солевых отложений и углекислотной коррозии 71](#bookmark42)
4. [Результаты исследований влияния ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия на межфазное натяжение 75](#bookmark43)
5. [Результаты исследований влияния ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия на степень набухания глинистых частиц 78](#bookmark44)
6. [Результаты исследований гидрофобизирующих свойств ингибитора комплексного действия 81](#bookmark45)
7. [Результаты исследований диффузионных свойств ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия 83](#bookmark46)
8. [Результаты фильтрационных исследований ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия 86](#bookmark47)

[3.9 Результаты исследований адсорбционно-десорбционных характеристик  
ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия 89](#bookmark48)

[Выводы к главе 3 91](#bookmark49)

[ГЛАВА 4 ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ  
СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ И КОРРОЗИИ В НЕФТЯНЫХ СКВАЖИНАХ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНГИБИТОРА КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ 93](#bookmark50)

5

1. [Описание технологии предупреждения образования солеотложений и коррозии в нефтяных скважинах 93](#bookmark51)
2. [Сравнительный анализ стоимости защиты внутрискважинного оборудования от солеотложений и коррозии 96](#bookmark52)
3. [Основные требования к правилам безопасности и защите окружающей среды 99](#bookmark53)

[Выводы к главе 4 100](#bookmark54)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 102](#bookmark55)

[СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 104](#bookmark56)

[СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 106](#bookmark57)

6

**ВВЕДЕНИЕ**

***Актуальность темы исследований***

На современном этапе развития нефтегазовой промышленности России проблема солеотложений в системе «призабойная зона пласта (ПЗП) – скважина» и коррозии внутрискважинного оборудования (ВСО) является актуальной при разработке нефтяных месторождений. Следует отметить, что для условий Западной Сибири отложения солей и углекислотная коррозия являются одними из основных факторов, осложняющих эксплуатацию нефтяных скважин установками электроцентробежных насосов (УЭЦН).

Основной причиной отложения солей и коррозии оборудования является  
попутная вода, добываемая совместно с нефтью. Одновременное присутствие в  
водной фазе продукции скважин бикарбонат- и карбонат-ионов обуславливает  
возможность протекания углекислотной коррозии внутрискважинного

оборудования и образования труднорастворимых осадков карбоната кальция на рабочих органах насосов. С целью профилактики возникающих осложнений наиболее часто применяются химические реагенты различного назначения, совместимость которых между собой играет важную роль для обеспечения эффективной защиты оборудования. Однако взаимовлияние друг на друга различных реагентов, применяющихся при разработке нефтяных месторождений, зачастую не учитывается, так как оценка совместимости требует проведения комплекса дополнительных лабораторных и полевых испытаний.

Одним из решений задач по снижению рисков негативного взаимного влияния реагентов может являться применение ингибиторов комплексного действия, использование которых направлено на предотвращение одновременно нескольких видов осложнений эксплуатации скважин.

Вопросами изучения проблем отложения неорганических солей и  
протекания коррозионных процессов, а также разработкой методов борьбы с  
данными осложнениями занимались отечественные и зарубежные ученые:  
Бабалян Г.А., Волошин А.И., Габдрахманов А.Г., Гатенбергер Ю.В.,

Глущенко В.Н., Гуськова И.А., Дембровский М.А., Ибрагимов Л.Х.,

7

Кащавцев В.Е., Люшин С.Ф., Лялина Л.Б., Малухин В.В., Маркин А.Н.,

Мищенко И.Т., Низамов Р.Э., Розенфельд И.Л., Суховерхов С.В.,

Торопчинов А.Н., Тихонов Г.М., Schaschl E., Litter R.L., Stiff H.A., Tomson M.B. и многие другие.

Несмотря на наличие большого числа проведенных исследований по разработке технологий предотвращения отложений в нефтяных скважинах, недостаточно изучен вопрос одновременного образования солей карбоната кальция и протекания процессов углекислотной коррозии внутрискважинного оборудования, предусматривающий необходимость применения реагентов комплексного действия.

***Целью диссертационной работы*** является повышение эффективности  
эксплуатации нефтяных скважин, оборудованных установками

электроцентробежных насосов, в условиях одновременного образования отложений карбоната кальция в системе «ПЗП – скважина» и углекислотной коррозии внутрискважинного оборудования.

***Идея работы***

Поставленная цель достигается использованием технологии

предупреждения образования солеотложений в системе «ПЗП – скважина» и коррозии ВСО, основанной на закачке разработанного ингибитора комплексного действия в призабойную зону пласта.

***Задачи исследований***

1. Проанализировать современные методы защиты нефтяного внутрискважинного оборудования, эксплуатируемого в условиях интенсивного образования солевых отложений и ускоренной коррозии.
2. Разработать ингибитор комплексного действия для предотвращения образования отложений карбоната кальция в системе «ПЗП – скважина» и углекислотной коррозии внутрискважинного оборудования.
3. Исследовать физико-химические, технологические и защитные свойства разработанного ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия.

8

1. Исследовать влияние разработанного ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия на фильтрационные характеристики полимиктовой породы-коллектора.
2. Обосновать технологию предупреждения образования солеотложений и коррозии оборудования в нефтяных скважинах с использованием ингибитора комплексного действия.

***Методы решения поставленных задач***

Комплекс теоретических и экспериментальных лабораторных исследований по разработке и обоснованию технологии защиты внутрискважинного оборудования от солеотложений и коррозии с использованием разработанного ингибитора комплексного действия.

***Научная новизна исследований***

1. Установлена и экспериментально подтверждена способность разработанного ингибитора комплексного действия на основе водно-спиртовых растворов фосфоновых производных и жирных аминов предотвращать образование неорганических отложений карбоната кальция и электрохимическую локальную и общую углекислотную коррозию углеродистой стали.
2. Выявлена способность разработанного ингибитора солеотложений и коррозии оказывать гидрофобизирующее действие на полимиктовую породу-коллектор, приводя к снижению интенсивности гидратации глинистых минералов в составе породы-коллектора, повышению эффективной проницаемости по углеводородной фазе и росту фильтрационных сопротивлений по воде.
3. Получены зависимости, описывающие кинетику адсорбции и десорбции разработанного ингибитора комплексного действия (водно-спиртовый раствор фосфоновых производных и жирных аминов) на стенках пор при его фильтрации через образцы полимиктовых пород-коллекторов.

***Защищаемые положения***

1. Разработанный ингибитор солеотложений и коррозии комплексного

действия на основе водно-спиртовых растворов фосфоновых производных и жирных аминов предотвращает образование отложений карбоната кальция в

9

системе «ПЗП – скважина» и обеспечивает снижение интенсивности углекислотной коррозии внутрискважинного оборудования.

1. Использование установленной кинетики адсорбции и десорбции разработанного ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия позволило разработать технологию предупреждения образования отложений карбоната кальция в системе «ПЗП – скважина» и углекислотной коррозии внутрискважинного оборудования, основанную на закачке ингибитора в призабойную зону пласта.
2. Применение разработанной технологии предупреждения образования солеотложений и коррозии, основанной на закачке в ПЗП разработанного ингибитора комплексного действия, позволяет сохранять и улучшать фильтрационные характеристики пород-коллекторов призабойной зоны пласта.

***Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций***

подтверждена теоретическими и экспериментальными исследованиями с использованием современного высокоточного лабораторного оборудования, высокой сходимостью расчётных величин с экспериментальными данными, воспроизводимостью полученных результатов.

***Практическое значение работы***

1. Разработан ингибитор солеотложений и коррозии комплексного действия, предназначенный для предотвращения образования отложений карбоната кальция в системе «ПЗП – скважина» и углекислотной коррозии внутрискважинного оборудования (заявка на патент РФ № 2018126725 «Состав для предотвращения образования отложений солей и коррозии оборудования при добыче нефти»).
2. Разработана и рекомендуется к промышленному внедрению на нефтяных месторождениях с полимиктовыми коллекторами технология предупреждения образования отложений карбоната кальция в системе «ПЗП – скважина» и углекислотной коррозии внутрискважинного оборудования, основанная на закачке в призабойную зону пласта разработанного ингибитора комплексного действия.

10

***Апробация работы***

Основные положения работы докладывались на Международном форуме-  
конкурсе молодых ученых «Проблемы недропользования» (Санкт-Петербург,  
2013 г.), Всероссийской конференции-конкурсе студентов выпускного курса  
(Санкт-Петербург, 2014 г.), Международной конференции «Ингибиторы коррозии  
и накипеобразования. Мемориал И.Л. Розенфельда» (Москва, 2014 г.),

XIX Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых  
им. Академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск,  
2015 г.), XIX Международной научно-практической конференции «Современные  
тенденции развития науки и технологии» (Белгород, 2016 г.),

XXI Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых им. Академика М.А. Усова (Томск, 2018 г.).

***Публикации***

По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 2 статьи в изданиях, входящих в базу данных Scopus, 1 патент РФ; подана 1 заявка на патент РФ.

***Личный вклад автора в работу*** заключается в постановке целей и задач  
теоретических и экспериментальных исследований, формулировке научных  
положений, непосредственном участии в проведении экспериментов,

интерпретации полученных результатов, разработке ингибитора солеотложений и коррозии комплексного действия и технологии предупреждения образования солеотложений и коррозии.

***Структура и объём диссертационной работы***

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, основных выводов и рекомендаций, библиографического списка, включающего 108 наименований. Материал диссертации изложен на 118 страницах машинописного текста, включает 14 таблиц, 36 рисунков.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Анализ опыта разработки нефтяных месторождений Западной Сибири  
показал, что эксплуатация добывающих скважин, оборудованных установками  
электроцентробежных насосов, осложняется отложениями карбонатных солей в  
системе «ПЗП – скважина» и углекислотной коррозией внутрискважинного  
оборудования. Промысловый опыт свидетельствуют также об одновременном  
протекании данных видов осложнений, что снижает эффективность применения  
«традиционных» технологий предупреждения солеотложений и коррозии.

2. Анализ основных методов защиты внутрискважинного оборудования при  
образовании отложений солей и возникновении коррозии позволил установить  
перспективность применения ингибиторов комплексного действия, направленных  
на предупреждение возникновения данных осложнений.

1. Разработан ингибитор солеотложений и коррозии комплексного действия (условное название ИКДСК 79/1), представляющий собой водно-спиртовый раствор фосфоновых производных и жирных аминов. Ингибитор обладает способностью предотвращать образование неорганических отложений карбоната кальция и снижать электрохимическую общую и локальную углекислотную коррозию углеродистой стали. На разработанный ингибитор подана заявка на патент РФ.
2. Разработанный ингибитор солеотложений и коррозии ИКДСК 79/1 обладает: высоким защитным эффектом; способствует снижению межфазного натяжения на границе «вода – керосин»; приводит к снижению интенсивности гидратации глинистых минералов в составе породы-коллектора; имеет низкую склонность к диффузии в нефтяную фазу.
3. Результаты проведенных фильтрационных исследований позволили установить, что разработанный реагент ИКДСК 79/1 оказывает гидрофобизирующее действие на пористую среду полимиктовой породы-коллектора, что в итоге может способствовать сохранению и улучшению фильтрационных характеристик ПЗП.

103

1. Разработанный ингибитор солеотложений и коррозии ИКДСК 79/1 показал высокую адсорбционную и низкую десорбционную способности по отношению к породе, что позволяет рекомендовать его для закачки в ПЗП с целью предотвращения образования карбоната кальция в системе «ПЗП – скважина» и углекислотной коррозии внутрискважинного оборудования.
2. Разработана и предлагается к промышленному внедрению технология предупреждения отложений карбоната кальция в системе «ПЗП – скважина» и углекислотной коррозии ВСО, основанная на закачке в ПЗП разработанного ингибитора солеотложений и коррозии ИКДСК 79/1. Анализ экономической эффективности разработанной технологии показал перспективность ее применения на нефтяных месторождениях Западной Сибири.