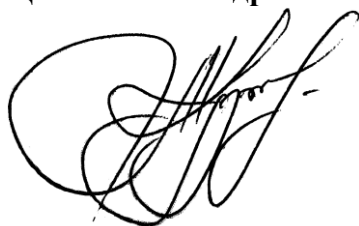


На правах рукописи

КУЗНЕЦОВА Александра Николаевна



**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАВОДНЕНИЯ
НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ ПОЛИМИКТОВЫХ
КОЛЛЕКТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ**

*Специальность 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений*

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

Научный руководитель –

доктор технических наук, профессор

Рогачев Михаил Константинович

Официальные оппоненты:

Зейгман Юрий Вениаминович

доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» кафедра «Разработка и эксплуатация нефтегазовых месторождений», заведующий кафедрой

Андреев Вадим Евгеньевич

доктор технических наук, профессор, Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», лаборатория нефтегазовых исследований, руководитель

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»

Защита состоится 11 апреля 2019г. в 13 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.13 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru

Автореферат разослан 11 февраля 2019 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ТАНАНЫХИН
Дмитрий Сергеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований

В Западно-Сибирском нефтегазоносном бассейне содержится около двух третей отечественных запасов нефти. Важнейшим как по запасам, так и по добыче нефти в регионе является раннемеловой неокомский нефтегазовый комплекс (НГК), включающий более 37% запасов нефти Западной Сибири. Нефтяные залежи здесь характеризуются крупным размером и относительно простым строением, однако степень их выработанности в среднем превышает 60%, обводненность также очень высока – в среднем 94%. Всё большее значение приобретают комплексы средне-верхнеюрского глинисто-песчаного васюганского НГК и подвасюганского нижне-среднеюрского НГК, включающего тюменскую свиту. Совместные запасы юрских отложений тюменской и васюганской свит составляют 27% от запасов Западной Сибири. Однако полимиктовые породы-коллекторы этих свит отличаются высокой глинистостью и низкими фильтрационными характеристиками. Несмотря на это, перспектива прироста запасов нефти в Западной Сибири связана именно с этими коллекторами.

Процесс добычи нефти из низкопроницаемых полимиктовых коллекторов обладает рядом особенностей и сопряжен с целым рядом проблем. Особенно это касается процесса заводнения, потому как при заводнении коллекторов такого типа происходит набухание глинистых минералов, что вызывает закупорку низкопроницаемых поровых каналов.

Нефтепромысловый опыт свидетельствует о том, что на современном этапе развития нефтедобывающей отрасли страны одними из наиболее эффективных и технологичных методов повышения нефтеотдачи пластов являются физико-химические методы, позволяющие направленно регулировать фильтрационные характеристики пород коллекторов путем закачки в них различных химических реагентов и технологических жидкостей.

Вопросами разработки методов и технологий физико-химического воздействия на нефтяной коллектор занимались отечественные и зарубежные ученые: Алтунина Л.К., Амирян В.А., Андреев В.Е., Антипин Ю.В., Ахметов А.А., Бабалян Г.А., Басарыгин Ю.М., Блажевич В.А., Валеев М.Д., Газизов А.А., Газизов А.Ш., Гайворонский И.Н., Девликамов В.В., Дияшев Р.Н., Зейгман Ю.В., Кудинов В.И., Ленченкова Л.Е., Мусабилов М.Х.,

Муслимов Р.Х., Овнатанов Г.Т., Позднышев Г.Н., Рогачев М.К., Ребиндер П.А., Рябоконь С.А., Саркисов Н.М., Сидоровский В.А., Телин А.Г., Уметбаев В.Г., Фахретдинов Р.Н., Хавкин А.Я., Хисамутдинов Н.И., Ali S., Boney K., Economides M., Fogler H.S., Smith C. и др.

При этом Хавкин А.Я. уделил особое внимание процессам добычи нефти из глинизированных коллекторов. Амиян В.А., Бабалян Г.А., Девликамов В.В., Ребиндер П.А., Сидоровский В.А. посвятили множество своих трудов изучению физических процессов в нефтяном пласте при воздействии на него поверхностно-активными веществами (ПАВ). В работах Зейгмана Ю.В., Муслимова Р.Х., Рогачева М.К., Kline W.E., McLeod G. и др. отмечается влияние ПАВ и их растворов не только на нефтяной коллектор, но и на свойства пластовых флюидов.

Но вышеперечисленные авторы не рассматривали особенности заводнения полимиктовых коллекторов с использованием ПАВ с одновременным учетом их влияния и на глинистую составляющую пород коллекторов (с целью ингибирования глинонабухания), и на процесс вытеснения из них нефти (с целью уменьшения межфазного натяжения на границе раздела фаз в системе «нефть-вода-порода»).

Целью диссертационной работы является повышение эффективности извлечения нефти из низкопроницаемых полимиктовых коллекторов при их искусственном заводнении.

Идея работы

Поставленная цель достигается использованием разработанной технологии физико-химического воздействия на нефтяной пласт, основанной на закачке через нагнетательные скважины системы ППД разработанного состава ПАВ.

Задачи исследований:

1. Проанализировать особенности разработки низкопроницаемых полимиктовых коллекторов, а также существующие технологии их разработки.

2. Изучить эффективность применения растворов ПАВ при искусственном заводнении низкопроницаемых полимиктовых коллекторов.

3. Разработать состав ПАВ для заводнения низкопроницаемых полимиктовых коллекторов.

4. Исследовать физико-химические свойства разработанного состава ПАВ.

5. Показать эффективность разработанного состава ПАВ на физической и гидродинамической модели низкопроницаемого

полимиктового пласта.

6. Разработать технологию заводнения низкопроницаемых полимиктовых коллекторов с использованием разработанного состава ПАВ.

Методы решения поставленных задач:

1. Физическое и гидродинамическое моделирование изучаемых процессов.

2. Методы математической статистики.

3. Лабораторные исследования.

Научная новизна работы:

1. Установлена зависимость изменения функциональных свойств водного раствора композиции двух ПАВ: неионогенного (N-алкил-N,N-ди(полиэтиленгликоль) амин на основе кислот кокосового масла оксамин Л-15) и катионного (алкилдиметилбензиламмоний хлорид С12 - С14) – от соотношения компонентов в растворе, а именно таких свойств как: способность снижать межфазное натяжение на границах раздела нефть-вода-порода; способность диффундировать из водного раствора в нефть; способность оказывать диспергирующее действие на основные структурообразующие компоненты пластовой нефти – асфальтены и ингибирующее действие на гидратацию глинистых минералов в составе породы-коллектора.

2. Выявлена способность разработанного состава ПАВ, представляющего собой водный раствор композиции двух ПАВ - неионогенного (N-алкил-N,N-ди(полиэтиленгликоль) амин на основе кислот кокосового масла оксамин Л-15) и катионного (алкилдиметилбензиламмоний хлорид С12 - С14), повышать коэффициент вытеснения нефти из модели низкопроницаемого полимиктового коллектора.

Защищаемые научные положения:

1. Добавление катионного ПАВ (алкилдиметилбензиламмоний хлорид С12 - С14) к водному раствору неионогенного ПАВ (N-алкил-N,N-ди(полиэтиленгликоль) амина на основе кислот кокосового масла оксамин Л-15) улучшает функциональные свойства исходного раствора, что позволяет рекомендовать применение получаемого таким образом химического состава для повышения эффективности использования ПАВ при искусственном заводнении низкопроницаемых полимиктовых коллекторов.

2. Использование разработанной технологии физико-химического воздействия на низкопроницаемые полимиктовые коллекторы, основанной на закачке через нагнетательные скважины

системы ППД разработанного состава ПАВ, позволит повысить коэффициент извлечения нефти из коллекторов данного типа.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена теоретическими и экспериментальными исследованиями с использованием современного высокотехнологичного оборудования, высокой сходимостью расчетных величин с фактическими данными, воспроизводимостью полученных результатов.

Практическое значение работы:

1. Разработан и запатентован состав поверхностно-активных веществ, предназначенный к практическому применению при искусственном заводнении низкопроницаемых полимиктовых коллекторов с целью повышения их нефтеотдачи - «Состав для вытеснения для закачки в глинизированный нефтяной пласт», патент РФ 2655685 С1 (Приложение А).

2. Освоено промышленное производство поверхностно-активных веществ – основных компонентов разработанного состава ПАВ (ООО «Синтез-ТНП, г. Уфа) (Приложение Б).

3. Разработана и рекомендуется к промышленному внедрению на нефтяных месторождениях с низкопроницаемыми полимиктовыми коллекторами технология физико-химического воздействия на нефтяной пласт, основанная на закачке через нагнетательные скважины системы ППД разработанного состава ПАВ.

Апробация работы

Основные положения, результаты экспериментальных исследований, выводы и рекомендации докладывались на: 55 Научной студенческой сессии горняков (Горно-металлургическая академия, г. Краков, Польша, 2014 год); VI International Student Petroleum Congress & Career Expo «East meets West» (AGH, Краков, апрель 2015); Всероссийском молодежном форуме «Нефтегазовое и горное дело» (ПНИПУ, Пермь, ноябрь 2015г.); XVII Международной молодежной научной конференции «Севергеозкотех-2016» (УГТУ, Ухта, март 2016г.); Международной конференции «West Siberian Petroleum Congress 2016» (Тюмень, май, 2016г.); на XIX Международной научно-практической конференции молодых ученых «Актуальные проблемы науки и техники-2016» (Уфа, УГНТУ, ноябрь 2016г.); конференции с международным участием «Неделя науки СПбПУ» (Санкт-Петербург, СПбПУ им. Петра Великого, ноябрь 2016г.); VIII международной конференции «Oil and gas Horizon» (Москва, РГУ нефти и газа им И.М. Губкина,

ноябрь 2016 г.); 71 международной конференции "Нефть и газ - 2017" (РГУ нефти и газа им. Губкина, апрель 2017г.); Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и ученых, посвященной 35-летию филиала ТИУ в г. Нижневартовске, апрель 2017г.; Международном форуме-конкурсе молодых ученых «Проблемы недропользования» (Горный университет, Санкт-Петербург, апрель 2017г.); II Международной научно-практической конференции «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли» (Альметьевск, октябрь, 2017г.).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 27 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.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы, включающего 104 наименования. Материал диссертации изложен на 113 страницах машинописного текста, включает 9 таблиц, 32 рисунка, 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится общая характеристика работы, обосновывается ее актуальность, определяются цель, идея, задачи, излагаются защищаемые положения, научная новизна и практическая значимость.

В первой главе выполнен анализ текущего состояния и особенностей разработки нефтяных месторождений Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Анализ показал актуальность исследований, направленных на повышение эффективности искусственного заводнения низкопроницаемых полимиктовых коллекторов, отличающихся, как известно, высокой глинистостью.

Выполнен анализ основных технологий заводнения низкопроницаемых полимиктовых коллекторов. Из-за ограниченности ресурса пластовых вод традиционным для месторождений Западной Сибири остается закачка в пласт пресной или сеноманской вод для поддержания пластового давления. Но результаты исследований показали, что взаимодействие породообразующих глинистых минералов с менее минерализованными водами, чем пластовая, такими как сеноманская или пресная, приводит к их набуханию и, как следствие, к снижению

проницаемости пород коллекторов. Повысить эффективность искусственного заводнения низкопроницаемых полимиктовых коллекторов можно путем закачки в пласт водных растворов специально подобранных многофункциональных ПАВ, способных помимо улучшения нефтевытесняющих свойств воды и реологических свойств нефти снижать интенсивность набухания глин в составе пород коллекторов.

Вторая глава посвящена разработке состава поверхностно-активных веществ для заводнения низкопроницаемых полимиктовых коллекторов. В главе приводятся результаты подбора компонентов состава и их концентраций, а также определения основных физико-химических свойств разработанного состава ПАВ.

Разработанный состав представляет собой водный раствор композиции двух ПАВ: неионогенного (НПАВ) и катионного (КПАВ). В качестве НПАВ было выбрано азотосодержащее соединение под условным названием НГ-2, представляющее собой оксиэтилированные амины на основе жирных кислот C_{10} – C_{17} , содержащие 6-15 групп (CH_2CH_2O) . В качестве КПАВ был выбран реагент, выпускаемый по ТУ 2482-003-04706205-2004 под товарным знаком КАТАПАВ, представляющий собой алкилдиметилбензиламмоний хлорид.

Выбор данных компонентов в растворе ПАВ обусловлен их основными функциональными свойствами: неионогенные ПАВ, как известно, обладают способностью эффективно снижать межфазное натяжение на границе раздела фаз в системе «нефть – вода» и тем самым повышать нефтеотмывающую способность закачиваемых в пласт вод различной минерализации, а катионные ПАВ обладают способностью предотвращать гидратацию глинистых минералов

Результаты выполненных исследований позволили установить зависимость изменения функциональных свойств водного раствора композиции двух ПАВ: неионогенного (N-алкил-N,N-ди(полиэтиленгликоль) амин на основе кислот кокосового масла оксамин Л-15) и катионного (алкилдиметилбензиламмоний хлорид C_{12} - C_{14}) – от соотношения компонентов в растворе, а именно таких свойств как: способность снижать межфазное натяжение на границах раздела нефть-вода-порода; способность диффундировать из водного раствора в нефть; способность оказывать диспергирующее действие на основные структурообразующие компоненты пластовой нефти – асфальтены и ингибирующее

действие на гидратацию глинистых минералов в составе породы-коллектора.

Кроме того, результаты исследований позволили определить оптимальную концентрацию выбранных поверхностно-активных компонентов в водном растворе ПАВ, предназначенном для закачки в низкопроницаемый полимиктовый коллектор: НПАВ (N-алкил-N,N-ди(полиэтиленгликоль) амин на основе кислот кокосового масла оксамин Л-15) - 0,01% масс. и КПАВ (алкилдиметилбензиламмоний хлорид C12 - C14) - 0,1-0,5% масс.

Определение оптимальной концентрации ПАВ проводилось согласно ГОСТ 29232-91 «Определение критической концентрации мицеллообразования». При этом межфазное натяжение на границе «нефть-вода» измеряли на приборе EasyDrop DSA 20 (KRÜSS). Коэффициент глинонабухания определяли согласно СТО Газпром 2-3.2-020-2005. Полученные данные показывают, что добавка в дистиллированную воду разработанной композиции ПАВ приводит к снижению поверхностного натяжения на границе «нефть – вода» в 17 раз, а также более чем на 90% подавляет гидратацию глин.

С помощью лазерного гранулометра LA-950 (по ISO 13320-1) определялся диаметр частиц каолинита после взаимодействия с различными водами. После контакта с пресной водой произошла активная гидратация глин, которая привела к увеличению среднего диаметра частиц с 12,1 до 22,3 мкм, т.е. на 80%, в то время как после взаимодействия с разработанным составом ПАВ наблюдается незначительное (менее 1%) увеличение размера частиц.

Оценку влияния разработанной композиции ПАВ на глинистые минералы, находящиеся непосредственно в пласте, и составляющие неотъемлемую часть пористой среды породы-коллектора, производили с помощью специального прибора - анализатора сорбции газов NOVA 1000e (фирмы Quantachrome), путем определения среднего размера пор и их удельной поверхности в трех образцах полимиктового песчаника: проэкстрагированном; предварительно насыщенном пресной водой и предварительно насыщенном разработанным составом ПАВ. Результаты этих исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты определения пористости и удельной поверхности образцов породы

Средний показатель	Сухой образец	Насыщенный пресной водой	Насыщенный раствором ПАВ
Удельная поверхность, м ² /г	9,881	7,682	9,562
Объем пор, см ³ /г	0,010	0,008	0,010
Радиус пор, нм	1,5	1,3	1,5
Расчетный коэффициент проницаемости, мкм ²	0,006	0,003	0,006

Из таблицы 1 видно, что у образца породы, насыщенного пресной водой, удельная поверхность имеет минимальное значение, а это значит, что именно в этих условиях породообразующие минералы имеют больший размер. А у образца породы, насыщенного разработанным составом ПАВ, размер пор больше, чем у образца, насыщенного пресной водой. Последнее можно объяснить тем, что поверхностно-активные вещества, адсорбируясь из водного раствора ПАВ на поверхность глинистых минералов, подавляют их гидратации и, как следствие, повышается поровый объем по сравнению с образцом, насыщенным пресной водой.

Исследования по определению растворимости разработанного состава ПАВ в водах различного типа (пресной, подтоварной, пластовой) показали, что разработанный состав стабилен как при комнатной, так и при пластовой температурах.

Оценка диффузии нефтерастворимых поверхностно-активных компонентов из водного раствора ПАВ в нефть, проводилась косвенным методом, путем измерения межфазного натяжения на границе нефти с водным раствором ПАВ. Количество ПАВ, диффундирующих из водного раствора в нефть, определялось путем анализа их остаточной концентрации в воде. В результате проведенных экспериментов установлено, что при контакте растворов ПАВ с нефтью из всех исследованных ПАВ часть активных компонентов переходит в нефть. Для разработанного состава этот показатель оказался наименьшим. Следовательно,

разработанная композиция ПАВ может сохранять свою активность в пластовых условиях более длительное по сравнению с другими ПАВ время.

Как известно, переход поверхностно-активных компонентов из водных растворов ПАВ в нефть может приводить к изменению ее реологических свойств в результате диспергирующего действия на основные структурообразующие компоненты пластовой нефти – асфальтены. Для оценки такого действия разработанной композиции ПАВ на асфальтены в нефти применялся так называемый «капиллярный метод», с помощью которого определялся коэффициент флокуляции асфальтенов K_f в исходной нефти и в нефти с добавлением ПАВ. Как видно из графиков на рисунке 1, коэффициент флокуляции асфальтенов K_f снижается при добавлении к нефти исследуемых ПАВ, что свидетельствует о диспергирующем действии этих веществ на асфальтены.

Кроме того, проводились коррозионные испытания с помощью метода поляризационного сопротивления по ГОСТ 2789-73, результаты которых показали, что предлагаемая композиция ПАВ способна оказывать защитное антикоррозионное действие по отношению к металлу внутрискважинного оборудования.

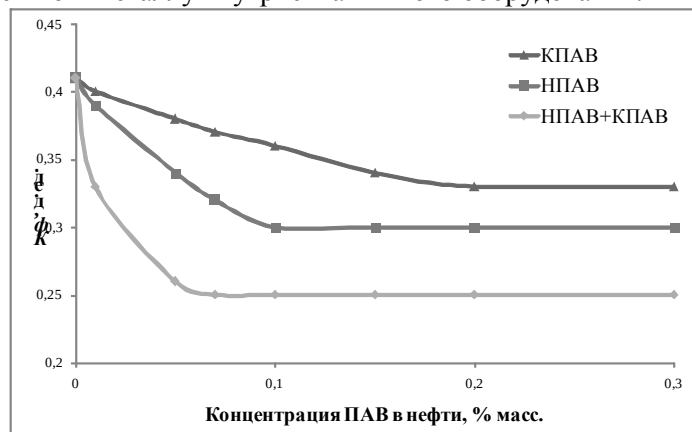


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента флокуляции K_f асфальтенов в нефти от содержания в ней ПАВ

Известно, что полимиктовые коллекторы обладают значительно большей адсорбционной активностью по сравнению с

карбонатными породами и кварцевыми песчаниками. По имеющимся сведениям, для неионогенных ПАВ адсорбция на поверхности пор породы в среднем составляет $(2-3) \cdot 10^{-6}$ кг/м². Очень важно, чтобы состав ПАВ, закачиваемый в пласт, обладал минимальной адсорбцией.

Для оценки адсорбционных свойств разработанного состава ПАВ проводились исследования на специально собранной фильтрационной установке, позволяющей моделировать термобарические условия пласта. В ходе фильтрационного эксперимента, через каждые 2 поровых объема прокаченной жидкости отбирался фильтрат водного раствора разработанной композиции ПАВ. На основании тарировочной кривой для выбранных концентраций реагентов (КПАВ 0,1% и НПАВ от 0% до 0,1% масс.) определялась средняя концентрация ПАВ в фильтрате, которая пересчитывалась в адсорбцию ПАВ на породе. Пересчет производился на основе данных о геометрических и емкостных свойствах образца породы, а также объема прокаченной жидкости и величин исходной и конечной концентрации ПАВ в растворе.

Графические результаты расчетов адсорбции разработанной композиции ПАВ отображены на рисунке 2. Как видно из графиков на этом рисунке, адсорбция ПАВ на поверхности пор образца породы составляет в среднем $1,88 \cdot 10^{-6}$ кг/м², что ниже средней величины адсорбции для полимиктовых глинистых песчаников.

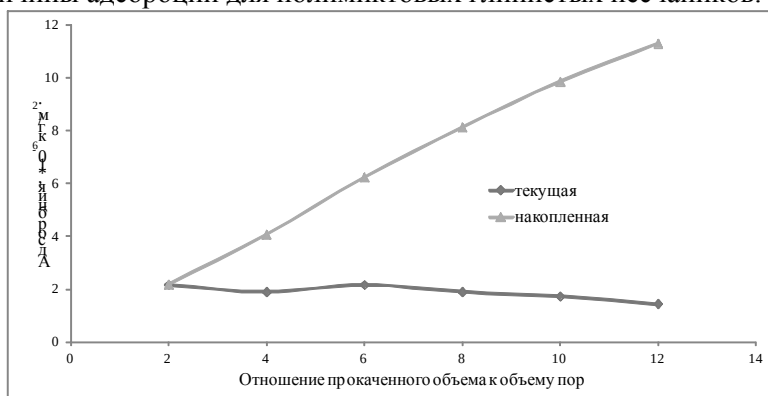


Рисунок 2 – Зависимость величины адсорбции ПАВ от объема прокаченного раствора

Таким образом, разработанный состав ПАВ обладает минимальной адсорбцией в пласте, следовательно, свойства раствора смогут дольше и эффективнее влиять на снижение межфазного натяжения на границе «нефть - водный раствор ПАВ», а также снижать гидратацию глинистых минералов.

Результаты исследований влияния разработанного состава ПАВ на геомеханические свойства породы, проводимых с помощью метода одноосного сжатия плоскими плитами на установке статических испытаний MTS Insight 50 (MTS Systems Corporation), показали, что вытеснение нефти из глинизированной породы не водой, а раствором ПАВ (0,01% НПАВ + 0,1% КПАВ) приводит к разупрочнению горных пород, а также к их существенному пластифицированию.

В третьей главе представлены результаты физического и гидродинамического моделирования процесса вытеснения нефти из низкопроницаемых глинизированных коллекторов с использованием водных растворов ПАВ.

В результате физического моделирования на фильтрационной установке, описанной выше, выявлена способность разработанного состава ПАВ повышать коэффициент вытеснения нефти из модели низкопроницаемого полимиктового коллектора, а также снижать давление закачки воды в такой пласт (рисунок 3).

По результатам исследования были получены зависимости коэффициента вытеснения нефти от типа прокачиваемой жидкости, которые представлены на рисунке 4. Из гистограммы видно, что при прокачке разработанного состава ПАВ получены более высокие значения коэффициента вытеснения, чем при прокачке пластовой воды.

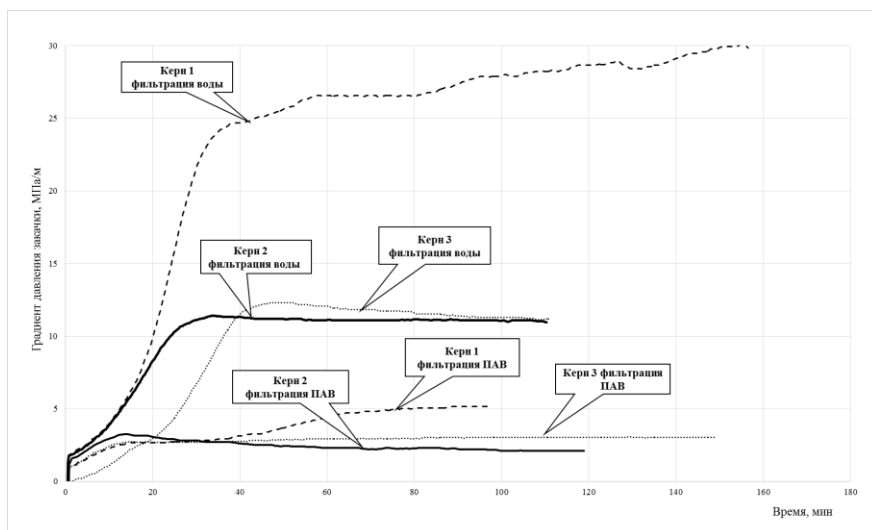


Рисунок 3 – Зависимость градиента давления закачки пластовой воды или разработанного состава ПАВ от времени

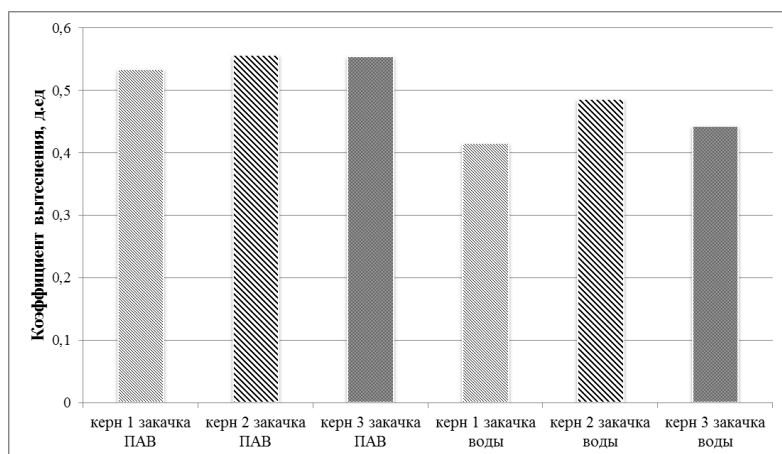


Рисунок 4 – Величина коэффициента вытеснения нефти при закачке пластовой воды или разработанного состава ПАВ

Кроме того, были проведены фильтрационные эксперименты по моделированию обработки призабойной зоны нагнетательных

скважин разработанным составом ПАВ. При этом помимо раствора ПАВ базовой концентрации (рекомендованного для заводнения) – 1, использовались растворы повышенной концентрации – 2 и 3:

1. НПАВ 0,25-0,5% масс., КПАВ 0,5-1% масс.;
2. НПАВ 1-5% масс., КПАВ 5-10% масс.;
3. НПАВ 0,5-1% масс., КПАВ 3-5% масс.

Эти фильтрационные эксперименты проводились в три этапа. При закачке на каждом этапе фиксировались значения установившегося градиента давления. На первом этапе через керн прокачивалась модель пластовой воды до полного его насыщения. Далее в этот же керн закачивался раствор ПАВ, полностью замещающий воду, и выдерживался в нём 60 минут. На третьем этапе через этот же керн фильтровалась пластовая вода до полного замещения раствора ПАВ. Закачка жидкостей проводилась с постоянной скоростью 0,5 см³/мин.

Таблица 2 – Результаты фильтрационных экспериментов по обработке керна растворами ПАВ

Концентрация компонентов ПАВ в растворе, % масс.	Установившийся градиент давления при фильтрации воды до обработки раствором ПАВ, МПа/м	Установившийся градиент давления при фильтрации воды после обработки раствором ПАВ, МПа/м	Кратность изменения градиента давления
НПАВ 0,25-0,5; КПАВ 0,5-1	20,5	21	1,02
НПАВ 0,5-1; КПАВ 3-5	20,5	9,5	0,46
НПАВ 1-5; КПАВ 5-10	20,5	42	2,05

Из данных, представленных в таблице 2, видно, что после обработки водонасыщенного керна раствором повышенной концентрации поверхностно-активных компонентов (НПАВ 0,5-1% масс. и КПАВ 3-5% масс.) градиент давления последующей за этой обработкой закачки воды снижается более, чем в 2 раза, что свидетельствует о восстановлении проницаемости керна более, чем на 50%.

Таким образом, результаты фильтрационных экспериментов позволяют рекомендовать состав ПАВ повышенной концентрации для обработки призабойной зоны нагнетательных скважин с целью восстановления и повышения их приемистости.

Для определения эффективности разработанного состава ПАВ в условиях низкопроницаемого полимиктового пласта, а также для выбора оптимальных условий его закачки было проведено гидродинамическое моделирование процесса заводнения участка нефтяной залежи. В программном комплексе RoxarRMS была построена литолого-фациальная модель элемента обратной девятиточечной системы заводнения. Ремасштабированное распределение ФЕС было использовано при создании гидродинамической модели в программном комплексе tNavigator. Концентрация ПАВ в нагнетаемой воде составляла: для КПАВ – 0,1% масс., для НПАВ - от 0,01% масс.

Были рассмотрены 5 вариантов разработки нефтяной залежи.

1. Закачка пресной воды (базовый вариант).
2. Первые 10 лет в качестве агента заводнения использовали пресную воду, а далее раствор ПАВ.
3. Закачка пластовой воды.
4. Первые 10 лет в качестве агента заводнения использовали пластовую воду, а далее раствор ПАВ.
5. С самого начала и до конца закачивали раствор ПАВ.

При моделировании закачки пресной воды учитывали то, что вследствие гидратации глинистых минералов снижается пористость и, соответственно, уменьшается проницаемость пород-коллекторов. Кроме того, для варианта 2 был учтен эффект обратимости гидратации глинистых минералов при заводнении с использованием состава ПАВ. Результаты моделирования представлены на рисунке 5.

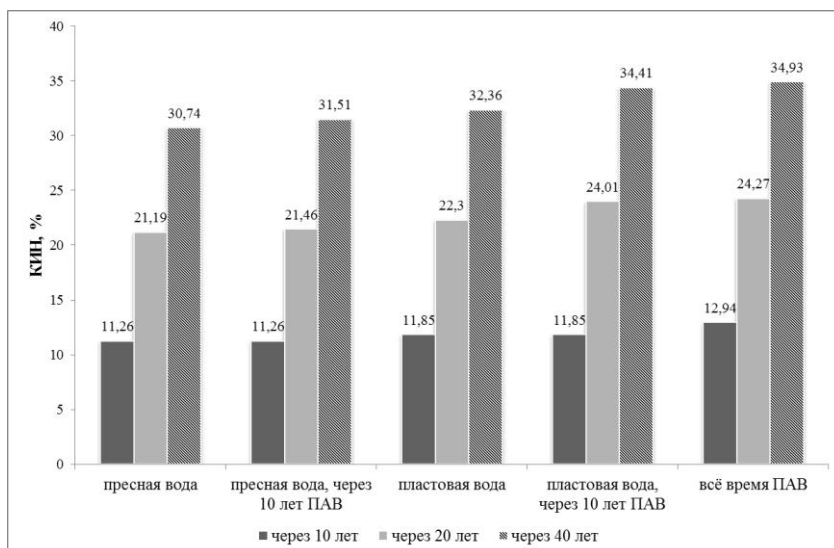


Рисунок 5 – Величина КИН для рассмотренных вариантов заводнения построенной гидродинамической модели участка залежи

В результате гидродинамического моделирования выявлено, что при реализации заводнения низкопроницаемого глинистого коллектора с применением разработанного состава ПАВ снижается остаточная нефтенасыщенность по сравнению со стандартным заводнением, а коэффициент извлечения нефти по всему участку увеличивается на 4,2%. Следовательно, можно рекомендовать данный состав для заводнения низкопроницаемых полимиктовых коллекторов.

В четвертой главе приводится обоснование технологии закачки разработанного состава ПАВ в низкопроницаемый полимиктовый пласт.

Разработана и предложена к промышленному внедрению комплексная технология заводнения низкопроницаемых полимиктовых коллекторов, включающая в себя технологию закачки разработанного состава ПАВ через нагнетательные скважины системы ППД, а также технологию обработки призабойной зоны отдельных нагнетательных скважин с использованием раствора ПАВ повышенной концентрации. Положительный эффект от применения технологии заключается в

увеличении коэффициента вытеснения нефти водным раствором ПАВ и увеличении приемистости нагнетательных скважин за счет уменьшения межфазного натяжения на границе «нефть-вода» и подавления гидратации глинистых минералов в составе пород коллекторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Анализ текущего состояния и особенностей разработки нефтяных месторождений Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна показал актуальность исследований, направленных на повышение эффективности искусственного заводнения низкопроницаемых полимиктовых коллекторов, отличающихся, как известно, высокой глинистостью.

2) Повысить эффективность искусственного заводнения низкопроницаемых полимиктовых коллекторов можно путем закачки в пласт водных растворов специально подобранных многофункциональных ПАВ, способных помимо улучшения нефтевытесняющих свойств воды снижать интенсивность набухания глин в составе пород коллекторов. Результаты анализа позволили выделить основные недостатки традиционно используемых при заводнении нефтяных месторождений типов вод и растворов ПАВ и сформулировать основные требования к разрабатываемому составу ПАВ для заводнения низкопроницаемых полимиктовых коллекторов.

3) Разработан состав ПАВ для закачки в низкопроницаемый глинизированный пласт, представляющий собой водный раствор композиции двух ПАВ - неионогенного (N-алкил-N,N-ди(полиэтиленгликоль) амин на основе кислот кокосового масла оксамин Л-15) и катионного (алкилдиметилбензиламмоний хлорид С12 - С14).

4) Результаты проведенных исследований показали, что по сравнению с известными ПАВ, традиционно используемыми при искусственном заводнении нефтяных месторождений, разработанный состав ПАВ отличается меньшей величиной адсорбции на поверхности пор пород-коллекторов, способностью более эффективно снижать межфазное натяжение на границе «нефть-вода» и гидратацию глинистых минералов, снижать давление закачки в модель низкопроницаемого полимиктового пласта и повышать коэффициент вытеснения из него нефти.

5) Выявлена способность разработанного состава ПАВ диффундировать из водного раствора в нефть, оказывать диспергирующее действие на основные структурообразующие

компоненты пластовой нефти – асфальтены, снижать интенсивность коррозии металла, а также оказывать влияние на геомеханические свойства пород коллекторов (снижать их прочность и повышать пластичность).

6) Результаты гидродинамического моделирования процесса заводнения низкопроницаемого полимиктового коллектора с применением разработанного состава ПАВ показали снижение остаточной нефтенасыщенности по сравнению со стандартным заводнением и увеличение коэффициента извлечения нефти на 4,2%.

7) Разработана и предложена к промышленному внедрению комплексная технология заводнения низкопроницаемых полимиктовых коллекторов, включающая в себя технологию закачки в пласт разработанного состава ПАВ через нагнетательные скважины системы ППД, а также технологию обработки призабойной зоны отдельных нагнетательных скважин с использованием высококонцентрированного раствора ПАВ.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Кузнецова А. Н. Состав поверхностно-активных веществ для заводнения низкопроницаемых полимиктовых коллекторов / А.Н. Кузнецова, М.К. Рогачев, А.С. Сухих // Научно-технический журнал «Нефть. Газ. Новации»- №4, 2018г. С. 10-16 (ВАК).

2. Кузнецова А.Н. Исследование и разработка растворов поверхностно-активных веществ для заводнения низкопроницаемых полимиктовых коллекторов / М.К. Рогачев, А.Н. Кузнецова // Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник» - №1, 2016г. С. 49-53 (ВАК).

3. Кузнецова А.Н. Регулирование фильтрационных характеристик нефтяных коллекторов с использованием поверхностно-активных веществ / М.К. Рогачев, А.Н. Кузнецова // Международный Научно-исследовательский журнал International research journal – №10 (41), Часть 4, 2015. С. 98-99 (ВАК).

4. Кузнецова А. Н. Состав поверхностно-активных веществ для заводнения низкопроницаемых полимиктовых коллекторов / А.Н. Кузнецова, М.К. Рогачев, А.С. Сухих // Научно-технический журнал «Нефть. Газ. Новации» – № 4, 2018г. С. 10-16 (ВАК).

5. Кузнецова А.Н. Dynamic modeling of surfactant flooding in low permeable argillaceous reservoirs / А.Н. Кузнецова, М.К. Рогачев,

А.С. Гунькин // IOP: Earth and Environmental Science (EES), 2017. (SCOPUS).

6. Пат. 2655685 Российская Федерация, Состав для вытеснения для закачки в глинизированный нефтяной пласт / А.Н. Кузнецова, М.К. Рогачев, Нелькенбаум С.Я., Нелькенбаум К.С.; заявл. 29.05.2017, опубл. 29.05.2018, Бюл. №16.