

На правах рукописи

Сандыга Михаил Сергеевич



**ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ
ОТЛОЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ «ПЛАСТ - СКВАЖИНА» НА
ПОЗДНЕЙ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

*Специальность 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2022

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

Научный руководитель –

доктор технических наук, профессор

Рогачев Михаил Константинович

Официальные оппоненты:

Гуськова Ирина Алексеевна

доктор технических наук, доцент, государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт», кафедра разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, профессор;

Турбаков Михаил Сергеевич

кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра «Нефтегазовые технологии», доцент;

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова», г. Грозный.

Защита диссертации состоится 18 июля 2022 г. в 12:00 на заседании диссертационного совета ГУ 2022.6 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, ауд. № 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.
Автореферат разослан 18 мая 2022 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ТАНАНЫХИН
Дмитрий Сергеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена высокой долей месторождений высокопарафинистых высокосмолистых нефтей, находящихся на поздней стадии разработки, в осложненных условиях образования органических отложений в системе «пласт-скважина».

Результаты диссертационных исследований позволят установить зависимости технологических параметров работы скважин на месторождениях высокопарафинистых нефтей от фильтрационно-емкостных характеристик призабойной зоны пласта и реологических свойств нефти при использовании физико-химических методов воздействия на систему «пласт-скважина».

Степень разработанности темы исследования

Весомый вклад в изучение проблемы борьбы с органическими отложениями при добыче нефти внесли такие отечественные учёные, как Р.А. Абдуллин, А.А. Абрамзон, Л.К. Алтунина, Г.А. Бабалян, И.А. Гуськова, В.Н. Глущенко, В.В. Девликамов, М.Ю. Доломатов, Н.Г. Ибрагимов, Я.М. Каган, А.Х. Мирзаджанзаде, И.Т. Мищенко, В.А. Рассказов, Ю.В. Ревизский, М.К. Рогачев, М.А. Силин, Б.М. Сучков, А.Г. Телин, В.П. Тронов, З.А. Хабибуллин, Н.И. Хисамутдинов, Д.М. Шейх-Али, G. Mansoori, K.J. Leontaritis, O.C. Mullins, W. Frenier и др.

Несмотря на то, что число исследований, которые посвящены разработке технологий удаления органических отложений в нефтепромысловом оборудовании, достаточно велико, число исследований по предупреждению образования органических отложений на данный момент все еще незначительное.

В связи с этим встает вопрос об актуальности проведения исследования, посвященного разработке метода предупреждения

дения образования органических отложений в системе «пласт – скважина» на поздней стадии разработки месторождения и его предотвращении.

Объект исследований – система «пласт-скважина» на месторождениях высокопарафинистых нефтей с терригенными коллекторами пашийских отложений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции.

Предмет исследований – физико-химические процессы, протекающие в объекте исследований.

Цель диссертационной работы – повышение степени извлечения остаточной нефти из терригенных коллекторов на поздней стадии разработки месторождений высокопарафинистых нефтей, в условиях, осложненных образованием органических отложений в системе «пласт-скважина».

Идея работы. Поставленная цель достигается путем физико-химического воздействия на систему «пласт–скважина» с использованием при заводнении терригенных коллекторов разработанного состава ПАВ.

Задачи исследований:

1. Провести анализ текущего состояния разработки, геолого-физических характеристик пластов коллекторов и основных видов осложнений в условиях нефтяных месторождений на поздней стадии разработки.

2. Провести анализ особенностей формирования органических отложений и причин их выпадения в поровом пространстве удаленной части и призабойной зоне пласта, а также реагентов и технологий их предотвращения и удаления.

3. Изучить процесс образования органических отложений в системе «пласт-скважина» на месторождениях высокопарафинистых нефтей при изменении термобарических условий.

4. Разработать водный раствор композиции ПАВ для закачки в продуктивный пласт с целью предотвращения образования органических отложений.

5. Разработать технологию физико-химического воздействия на терригенный коллектор с использованием разработанного водного раствора ПАВ, предотвращающую образование органических отложений в поровом пространстве.

Научная новизна работы:

1. Реологическими и фильтрационными исследованиями установлено, что для модели парафинистой нефти объекта исследований образование твердых частиц парафина в поровом пространстве терригенных пород-коллекторов происходит при температуре на несколько градусов (до 4°С) выше, чем в открытой измерительной системе.

2. Установлена способность разработанной композиции ПАВ: неионогенного (оксиэтилированного алкилфенола) и катионактивного (диметилбензилкокаминхлорида) – диффундировать из водного раствора в нефть, оказывая депрессорно-диспергирующее действие на структурообразующие компоненты пластовой нефти (асфальтены и парафины), вследствие чего у нефти снижаются температуры застывания и насыщения парафином и улучшаются реологические и фильтрационные свойства.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Обосновано применение водных растворов ПАВ для предупреждения образования органических отложений в породах-коллекторах.

2. Обоснована и рекомендуется к внедрению технология заводнения терригенных коллекторов с использованием разработанной композиции ПАВ.

3. Результаты исследования рекомендованы к промышленному внедрению на основании акта внедрения результатов кандидатской диссертации ООО «Газпром подземремонт

Уренгой» от 11.04.2022.

4. Результаты исследования в соответствии с актом от 06.04.2022 включены в состав учебно-методического комплекса для обучения студентов по направлениям подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» и 21.05.06 «Нефтегазовые техника и технологии» Горного университета.

Методология и методы исследований. При выполнении диссертационной работы использовался комплексный способ исследований, теоретический и экспериментальный, в соответствии со стандартными методами, а также с применением специально разработанных экспериментальных методик. Обработка всех полученных экспериментальных данных проведена с использованием программного обеспечения.

Положения, выносимые на защиту:

1. Учет установленного, для пластовой нефти исследуемого объекта, эффекта более раннего фазового перехода парафина в поровом пространстве, по сравнению со свободным объемом, позволит повысить эффективность эксплуатации нефтяных месторождений с аналогичными геолого-физическими и технологическими условиями разработки, осложненными образованием АСПО в системе «пласт-скважина».

2. Использование депрессорно-диспергирующей способности разработанной композиции ПАВ: неионогенного (оксиэтилированного алкилфенола) и катионного (диметилбензилкокаминхлорида) – по отношению к основным структурообразующим компонентам пластовой нефти (асфальтенам и парафинам), а также способности ПАВ диффундировать из водного раствора в нефть, позволило разработать технологию предотвращения образования органических отложений в системе «пласт-скважина» на поздней стадии разработки нефтяного месторождения, основанную на физико-химическом воздействии на пластовую систему путем площадной закачки

водного раствора композиции ПАВ через нагнетательные скважины системы ППД.

Достоверность полученных результатов.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена теоретическими и экспериментальными исследованиями на комплексах современного лабораторного оборудования компаний Vinci Technologies, Coretest Systems Corporation, Kruss и др., воспроизводимостью полученных результатов экспериментальных исследований.

Апробация результатов. Основные положения, результаты теоретических и экспериментальных исследований, выводы и рекомендации работы докладывались на 5 научно-практических конференциях, симпозиумах, форумах и семинарах, в т.ч. на 59-й Международной научной конференции молодых ученых (Польша, Краков, декабрь 2018), XVIII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов (Санкт-Петербург, Горный университет, 2020), XII Всероссийская конференция молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности» (газ, нефть, энергетика) (Москва, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2020), Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME – 2021 (Санкт-Петербург, Горный университет, 2021), Секция процессов управления дома ученых им. Горького РАН в 2022г.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования; анализе зарубежной и отечественной научной литературы по теме исследования, проведении экспериментальных исследований.

Публикации. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 5 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы ос-

новые научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 3 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получены 2 свидетельства на программы ЭВМ.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 90 наименований, списка. Диссертация изложена на 118 страницах машинописного текста, содержит 53 рисунка, 8 таблиц и 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи работы и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимость исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ опыта разработки нефтяных месторождений, осложненных образованием АСПО. Анализ текущего состояния нефтедобывающей отрасли и особенностей эксплуатации добывающих скважин, осложненных образованием АСПО, показал актуальность диссертационных исследований, посвященных процессам образования органических отложений в поровом пространстве пласта–коллектора.

Во второй главе рассмотрена исследовательская аппаратура и методики испытаний высокопарафинистой нефти, а также результаты исследований модельных растворов без нарушения их представительности в термобарических условиях, максимально приближенных к скважинным, позволяющие качественно и количественно оценить многофакторное влияние на процесс кристаллизации парафина и направленно подходить к разработке технологии предупреждения образования органических отложений в поровом пространстве пласта–коллектора.

В качестве основных методов испытаний модели нефти выступали: реологический, фильтрационный и томографический. Использование нескольких независимых методов исследования для решения поставленных задач позволило обеспечить достаточную полноту раскрытия проблемы.

Для изучения условий формирования органических отложений были проведены исследования модельных парафиносодержащих растворов с массовым содержанием парафина 20% масс.

С помощью реологических испытаний на автоматизированном реометре в системе «плита-плита» была определена точка начала кристаллизации парафина в модельном растворе, находящемся в свободном объеме. Результаты проведенной работы показали, что начало формирования кристаллической структуры в объеме раствора происходит при 30°C.

Для проведения исследований по определению температуры насыщения нефти парафином в поровом пространстве пласта был проведен фильтрационный эксперимент с модельным раствором при эффективном давлении 4 МПа и снижении температуры на 1°C в час. В результате было выявлено, что при снижении температуры происходит рост градиента давления (рисунок 1).

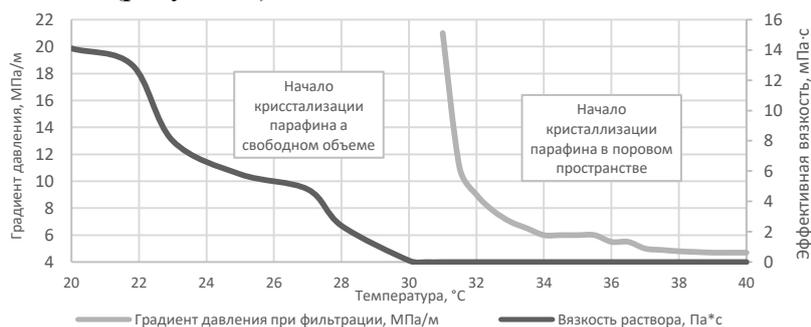


Рисунок 1 – Определение температуры насыщения раствора парафином при эффективном давлении 4 МПа

Незначительный рост градиента давления в диапазоне температур 37-34°C обусловлен ростом вязкости раствора. Резкий рост градиента давления в диапазоне температур 35-32°C свидетельствует о снижении проницаемости керн, что можно объяснить образованием кристаллов парафина в поровом пространстве. Используя данные реологических и фильтрационных испытаний, была определена зависимость снижения проницаемости при снижении температуры пласта (рисунок 2).

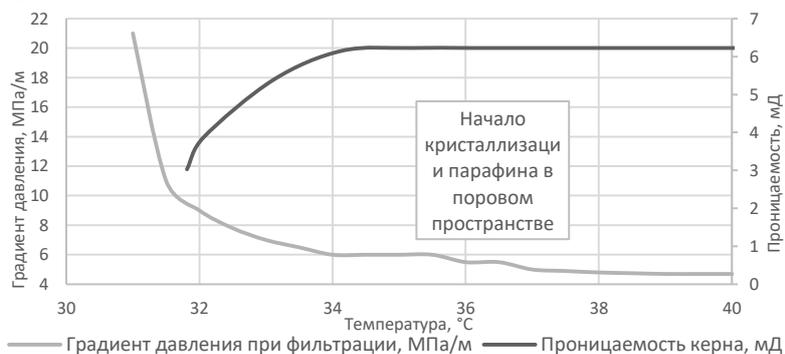


Рисунок 2 – Определение температуры насыщения раствора парафином

При сопоставлении результатов реологических и фильтрационных исследований следует отметить, что для парафинодержащего раствора образование кристаллов парафина в поровом пространстве горной породы зафиксировано при температуре на 3-4°C выше, чем в открытой измерительной системе.

Для определения влияния объема пор на вероятность их коагуляции парафином был проведен фильтрационный эксперимент при постоянном эффективном давлении 4МПа и температуре 34°C (температура начала кристаллизации в поровом пространстве). После фильтрации 12 поровых объемов модельного раствора производилась прокачка модели пластовой воды, для выноса жидкой фазы из порового пространства.

Томографические исследования, проведенные перед фильтрационным экспериментом и после, показали, что открытая пористость исследуемого образца после фильтрационного эксперимента снизилась с 9% до 2,1%. При этом в большей степени подверглись закупориванию поры с диаметром от 0,02 до 0,05 мм (рисунок 3).

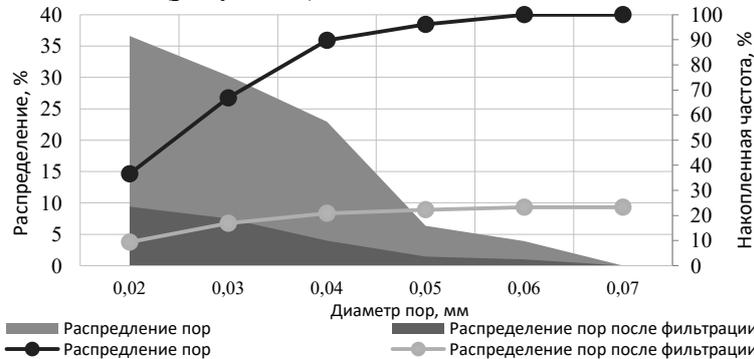


Рисунок 3 – Распределение пор по диаметру в керновом материале до и после фильтрационного эксперимента

Результаты фильтрационного эксперимента при эффективном давлении 5,3 МПа и снижении температуры на 1°С в час показали, что увеличение эффективного давления на скелет породы приводит к росту температуры, при которой начинает возрастать градиент давления (рисунок 4).

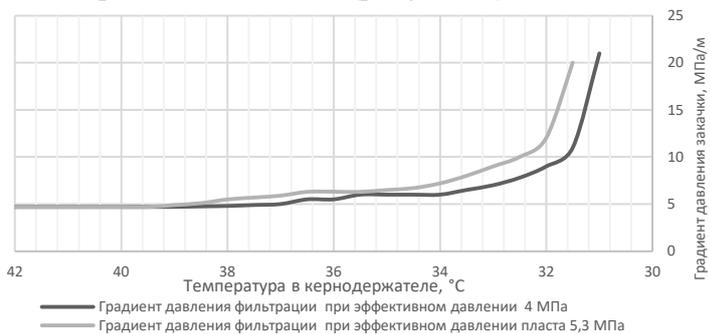


Рисунок 4 – Результаты фильтрационных исследований

В третьей главе отражены результаты исследований по подбору эффективной композиции ПАВ для использования в системах заводнения продуктивных пластов.

Для исследований были отобраны образцы ПАВ восьми марок и с помощью физико-химического анализа был установлен их класс. Образцы МЛ-80Б, Неонол АФ 9-12 и ДДП принадлежат к классу неионогенных ПАВ, а образцы Нефтенол ГФ, Синол КАМ, ЧАС-М, ДОН-А, ГФ-1 принадлежат к классу катионных ПАВ.

В рамках проводимых исследований анионные ПАВ не использовались в связи с тем, что они не отвечают требованию по совместимости с минерализованной пластовой водой объекта исследований (плотностью $1,184 \text{ г/см}^3$ и общей минерализацией на уровне $267,467 \text{ г/л}$).

Для осуществления подбора композиции и определения необходимой химической природы ПАВ для нефтей объекта исследований, была отобрана проба нефти Ромашкинского месторождения для осуществления ЯМР-спектроскопии и масс-хроматографии.

Сопоставление данных ЯМР-спектроскопии (рисунок 6) и хроматомасс-спектрометрии (рисунок 7) показывает достаточно хорошую сходимость результатов. На их основании можно сделать вывод, что состав нефти пласта D₁ пашийских отложений Ромашкинского месторождения представлен в основном насыщенными углеводородами, с небольшим содержанием циклических алканов (циклопентанов и циклогексанов) и их алкилпроизводных со следами ароматических соединений.

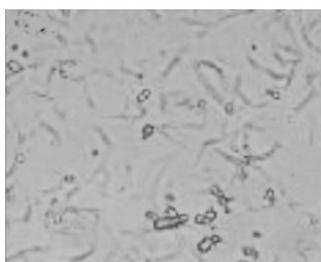
ЯМР-спектроскопия разного рода ПАВ (неионогенного – ОП-12; катионного – Нефтенол ГФ) показала, что Нефтенол ГФ в большей степени соответствует алифатическим компонентам образца нефти Ромашкинского месторождения, и априори Нефтенол ГФ должен в большей степени совмещаться с ней и

ляющий увеличивать отмывающую способность водных растворов (межфазное натяжение – 0,8 мН/м).

Учитывая полученные результаты, на основе данных ПАВ производили подбор их эффективной композиции. Результаты замера межфазного натяжения на границе керосин – водный раствор ПАВ показали, что наибольшей эффективностью обладает водный раствор ПАВ с концентрацией Нефте-нола ГФ – 0,05 % масс. и Неонола АФ 9-12 – 0,1% масс. Подобранный таким образом состав ПАВ сохранял поверхностную активность в течение 5 суток со значением межфазного натяжения 0,8 мН/м.

Выбранная композиция ПАВ оказывает влияние на температуру застывания нефти, при концентрации от 0 до 1% масс. депрессорный эффект достигает 10°C. Также выявлено, что при данных концентрациях наблюдается снижение температуры насыщения нефти парафином с 25 до 19°C. Оптимальная концентрация ПАВ при этом составила 0,25%.

Полученные результаты подтверждены микроскопическими (рисунок 8) и реологическими (рисунок 9) исследованиями образцов нефти с массовой концентрацией парафина 4%.



(1)



(2)

Рисунок 8 – Микроснимки проб нефти при температуре 25°C: 1) проба нефти (4% масс. парафина); 2) проба нефти с добавлением композиции ПАВ (0,25% масс.)

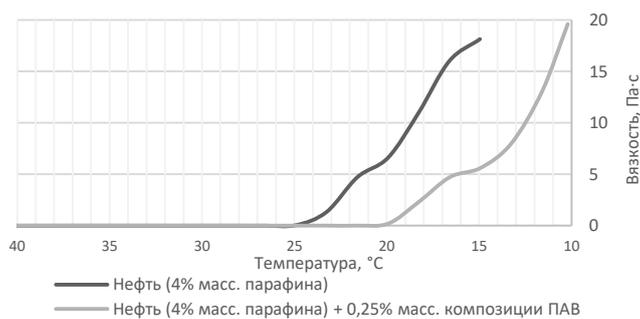


Рисунок 9 – Зависимость эффективной вязкости нефти без добавления и с добавлением ПАВ

Важным при подборе композиции ПАВ является определение ее диффузионных свойств по отношению к нефти. Оценка диффузии нефтерастворимых компонентов из разработанной композиции ПАВ в нефть производилась косвенным методом, путем измерения межфазного натяжения на границе нефти с водным раствором ПАВ. Количество ПАВ, перешедших в нефть, оценивалось по их остаточной концентрации в воде (рисунок 10).

Из полученных результатов видно, что разработанная композиция ПАВ, в отличие от отдельных ее компонентов, с большей интенсивностью диффундирует в нефть. Для оценки влияния данной композиции ПАВ на основные структурообразующие компоненты пластовой нефти – асфальтены были проведены исследования по определению коэффициента их флокуляции с помощью «капиллярного» метода (рисунок 11).

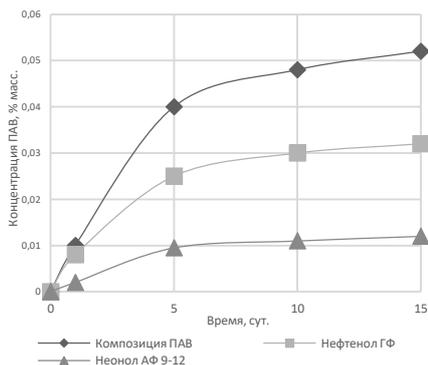


Рисунок 10 – Изменение концентрации ПАВ в нефти в процессе диффузии из водного раствора

В результате добавления к нефти ПАВ с ростом его концентрации (от 0 до 4% масс.) коэффициент флокуляции асфальтенов в нефти уменьшается, что свидетельствует об уменьшении размеров их частиц в результате диспергирующего действия этого реагента. Это подтверждается также и реологическими исследованиями.

Реологические исследования, выполненные при пластовой температуре объекта исследования (37°C), превышающей температуру насыщения нефти парафином, показали улучшение реологических свойств нефти (снижение вязкости и интенсивности проявления неньютоновских свойств) при добавлении к ней разработанной композиции ПАВ (0,01% масс), что свидетельствует о разрушении под воздействием ПАВ связей между основными структурообразующими компонентами пластовой нефти – асфальтенами.

Таким образом, разработана композиция ПАВ, способная диффундировать из водного раствора в нефть, оказывая депрессорно-диспергирующее действие на структурообразующие компоненты пластовой нефти (асфальтены и парафины),

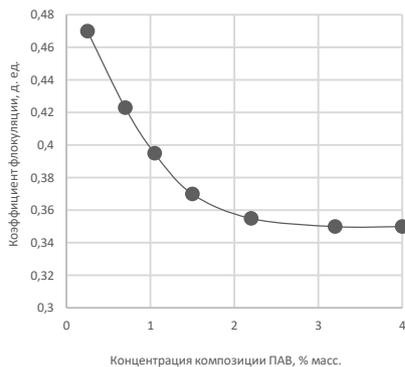


Рисунок 11 – Зависимость коэффициента флокуляции асфальтенов от содержания композиции ПАВ в нефти

вследствие чего снижаются температура застывания нефти и температура насыщения ее парафином, а также улучшаются ее реологические и фильтрационные свойства.

В четвертой главе описана разработанная технология по предотвращению образования органических отложений в системе «пласт-скважина». Технология основана на площадной закачке водного раствора разработанной композиции ПАВ.

Закачку предлагается осуществлять одним из двух методов:

1) через КНС - методом непрерывной закачки слабоконцентрированного водного раствора ПАВ (0,1%-ной концентрации);

2) через отдельные нагнетательные скважины - методом циклической закачки малообъемных оторочек водного раствора ПАВ высокой концентрации (5-10%-ной концентрации).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации предлагается новое решение актуальной научной задачи предотвращения образования органических отложений в системе «пласт - скважина» на поздней стадии разработки нефтяного месторождения путем физико-химического воздействия на систему «пласт – скважина» с использованием при заводнении терригенных коллекторов разработанного состава ПАВ.

1. Анализ текущего состояния и особенностей разработки нефтяных месторождений Волго-Уральской газоносной провинции, а конкретно Ромашкинского месторождения, показал актуальность диссертационных исследований, направленных на предотвращение образования органических отложений в системе «пласт-скважина» на поздней стадии разработки нефтяного месторождения.

2. Анализ существующих методов и технологий удаления и предупреждения образования АСПО показывает, что более эффективными и одновременно технологичными на сего-

дняшний день являются химические методы, включающие в себя применение растворителей и ингибиторов АСПО. Однако все эти методы не закрывают весь спектр проблем, вызванных образованием органических отложений. Наиболее эффективным считается предупреждение образования органических отложений в пластовых условиях, поскольку это позволяет не решать уже образовавшуюся проблему, а предотвращать образование органических отложений еще в пластовых условиях.

3. Проведен комплекс исследований, который показал, что температура насыщения нефти парафином в поровом объеме коллектора, для объекта исследований, может превышать температуру насыщения в свободном объеме на 3-4°C. Также выявлено, что при увеличении эффективного давления существует риск увеличения температуры насыщения нефти парафином. Полученные данные подтверждаются проведенными фильтрационными, реологическими и томографическими исследованиями.

4. Разработана композиция ПАВ для закачки в нефтяной пласт в виде водных растворов, состоящая из катионного ПАВ (алкилпроизводных диметилбензилкокаминохлорида) и неионогенного ПАВ (оксиэтилированных алкилфенолов со степенью оксиэтилирования 12) в соотношении 1 : 2. Данные компоненты по химической природе соответствуют нефти объекта исследований, эффективно снижают поверхностное натяжение на границе «нефть-вода», способны диффундировать из водного раствора в нефть, оказывая депрессорно-диспергирующее действие на основные структурообразующие компоненты пластовой нефти (асфальтены и парафины), вследствие чего снижаются температуры застывания и насыщения парафином нефти, а также улучшаются ее реологические и фильтрационные свойства.

5. Обоснована и рекомендуется к внедрению технология заводнения терригенных коллекторов с использованием раз-

работанной композиции ПАВ для предотвращения образования органических отложений в системе «пласт-скважина». Предложены две схемы закачки водных растворов разработанной композиции ПАВ: 1) через КНС - методом непрерывной закачки слабоконцентрированного водного раствора ПАВ (0,1%-ной концентрации); 2) через отдельные нагнетательные скважины - методом циклической закачки малообъемных оторочек водного раствора ПАВ высокой концентрации (5-10 %-ной концентрации).

6. Перспективы дальнейшей разработки темы диссертационного исследования связаны с расширением области эффективного применения технологии физико-химического воздействия на систему «пласт – скважина» с использованием разработанной композиции ПАВ, что имеет важное научно-практическое значение для нефтедобывающей промышленности.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Сандыга, М.С. ПАВ для заводнения пластов нефтяных месторождений на поздней стадии разработки / М.С. Сандыга, М.К. Рогачев, Е.Ю. Камбулов, В.К. Василин, М.Е. Ламосов // *Neftegaz.RU*. – 2022. – №4. – С. 30–36.

2. Сандыга, М.С. Исследование температурных условий образования органических отложений в продуктивном пласте при скважинной добыче парафинистой нефти / М.С. Сандыга, И.А. Стручков, М.К. Рогачев // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология, нефтегазовое и горное дело*. – 2021. – Т. 21. – №. 2. – С. 84-93.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. Sandyga, M.S. Formation damage induced by wax deposition: laboratory investigations and modeling / M.S. Sandyga, I.A. Struchkov, M.K. Rogachev // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. – 2020. – Т. 10. – №. 6. – С. 2541-2558.

4. Khaibullina, K.S. Substantiation and selection of an inhibitor for preventing the formation of asphalt-resin-paraffin deposits. / K.S. Khaibullina, M.S. Sandyga, L.R. Sagirova, // *Periódico Tchê Química*. Vol. 17 (n 34). PP. 541-551.

5. Belsky, A.A. Wind turbine electrical energy supply system for oil well heating. / A.A. Belsky, V.A. Morenov, K.S. Kupavykh, M.S. Sandyga // *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* – 2019. – V. 62, No 2 (2019), pp. 146–154.

Патенты:

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020616220 Российская Федерация. Программа для моделирования теплофизических свойств высокопарафинистой нефти: № 2020614467: заявл. 18.05.2020: опубл. 15.06.2020 / Ю.В. Ильюшин, М.С. Сандыга; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020616220. Российская федерация, Программа для моделирования теплофизических свойств высокопарафинистой нефти: № 2020614467: заявл. 18.05.2020: опубл. 15.06.2020 / Ильюшин Ю.В., Сандыга М.С.; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».