

На правах рукописи



Асадуллин Рустэм Рустямович

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОГРАНИЧЕНИЯ
ВОДОПРИТОКОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОБРАТНЫХ
ЭМУЛЬСИЙ С ТВЕРДОЙ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗОЙ**

Специальность 2.8.4. – Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа – 2023

Работа выполнена на кафедре «Разработка и эксплуатация нефтяных и газонефтяных месторождений» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

Научный руководитель:

доктор технических наук
Ленченкова Любовь Евгеньевна

Официальные оппоненты:

Волошин Александр Иосифович
доктор химических наук, старший научный сотрудник
ООО «РН-БашНИПИнефть» / Бюро старших экспертов, старший эксперт

Магадова Любовь Абдуллаевна
доктор технических наук, доцент
ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина» / кафедра технологии химических веществ для нефтяной и газовой промышленности, профессор кафедры

Ведущая организация:

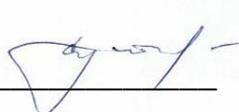
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет (г. Казань)

Защита состоится «18» мая 2023 года в 16:00 на заседании диссертационного совета 24.2.428.03 при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»: 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте www.rusoil.net.

Автореферат диссертации разослан _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сул'tанов Шамиль Ханифович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Роль технологий, применяемых для решения проблем преждевременного обводнения скважин, неуклонно растет, в том числе это обусловлено преимущественно процессами обводнения скважин по наиболее проницаемым пропласткам продуктивного пласта. Наиболее активны процессы обводнения скважин посредством трещин, т.е. в карбонатных коллекторах.

Создавшееся положение определяет необходимость обоснования и применения новых эффективных методов и реагентов, используемых для изоляции обводнившихся высокопроницаемых зон продуктивных пластов.

Требования к указанным технологиям очень жесткие, реагенты, применяемые для блокировки трещин и пор, должны выдерживать значительный гидродинамический напор воды, иметь высокие прочностные характеристики и сохранять длительное время стабильность в агрессивных пластовых условиях (например, при высоких минерализациях пластовых вод). Одним из методов изоляции высокопроницаемой зоны пласта является применение прямых и обратных эмульсий.

Разработка стабильных, агрегативно-устойчивых в пластовой среде обратных эмульсии с включением стабилизирующей твердой фазы (эмульсий Пикеринга) и стабильных прямых битумных эмульсий в последние годы становится актуальной задачей при решении вопросов интенсификации добычи нефти, особенно в карбонатных коллекторах при решении вопросов борьбы с обводнением различной природы.

Степень разработанности темы исследования

Значительный вклад в изучение темы ограничения водопритоков внесли: В. Е. Андреев, А. Ш. Газизов, Ш. А. Гафаров, А. Т. Горбунов, Ю. В. Зейгман, Ю. А. Котенев, Л. Е. Ленченкова, М. К. Рогачев, А. Г. Телин, В. Г. Уметбаев, К. М. Федоров, Р. С. Хисамов, М. А. Силин, Л. А. Магадова, Ю. В. Земцов, В. Н. Глущенко, В. А. Стрижнев, К. В. Стрижнев, Р. Р. Кадыров,

М. Х. Мусабилов, Г. А. Орлов, А. М. Петраков, А.И. Волошин, R. Seright, L. Lake, R. S. Lane, K. Spildo, A. Skauge, P. L. J. Zitha, R. D. Sydansk, K. S. Sorbie, B. R. Reddy, B. Bai, M. Wei и другие.

Несмотря на многочисленные публикации по проблеме ограничения водопритоков, многие ее аспекты требуют дополнительных исследований, теоретических осмыслений и практической реализации, поэтому рассматриваемая тема сохраняет безусловную актуальность.

Соответствие паспорту заявленной специальности

Тема работы и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности, а именно пункту 3 «Научные основы технологии воздействия на межскважинное и околоскважинное пространство и управление притоком пластовых флюидов к скважинам различных конструкций с целью повышения степени извлечения из недр и интенсификации добычи жидких и газообразных углеводородов».

Цель работы – разработка технологических процессов ограничения водопритоков и ликвидации заколонных перетоков для условий послойно-неоднородных карбонатных коллекторов с применением обратных эмульсий, обладающих регулируемой стабильностью.

Для достижения указанной цели поставлены следующие **задачи**:

1 Обобщить результаты теоретических, экспериментальных и промысловых исследований применения обратных эмульсий в процессах интенсификации добычи при формировании изоляционных экранов в высокопроницаемых зонах послойно-неоднородного пласта.

2 Выполнить экспериментальные исследования по обоснованию оптимальных составов агрегативно-устойчивых обратных эмульсий в свободном объеме и на керне, фильтрационные исследования в моделируемых условиях конкретного пласта с определением остаточного фактора сопротивления, градиента сдвига, с оценкой его запирающей способности.

3 Обосновать механизм процесса формирования изоляционного экрана на основе обратной эмульсии, обуславливающей эффект динамического запираения

в высокопроницаемой промытой зоне продуктивного пласта с регулируемой стабильностью, при достижении высоких реологических характеристик в конкретных условиях пласта.

4 Обосновать стабильные прямые битумные эмульсии проявляющие высокие адгезионные свойства на поверхности металла и горных пород для ликвидации заколонных перетоков, устранения негерметичности эксплуатационной колонны.

5 Выполнить фильтрационные исследования с применением ПБЭ, устанавливающие изменение проницаемости на нефтенасыщенной и водонасыщенной насыпных моделях и модели идеальной трещины.

6 Провести опытно-промысловые испытания обратных эмульсий, стабилизированных силикатной составляющей, на трех скважинах карбонатных коллекторов ПАО АНК «Башнефть» и установить технологическую эффективность реализуемого процесса.

Научная новизна

1 Установлена седиментационная и агрегативная устойчивость обратных эмульсий Пикеринга, стабилизированных твердой дисперсной фазой хризотилом 5% или аэросилом 3% при физическом моделировании процесса фильтрации, позволяющей регулировать их стабильность и реологические характеристики в процессах ограничения притока воды по высокопроницаемым пропласткам неоднородного карбонатного пласта при проведении ремонтно-изоляционных работ.

2 Обоснован эффект динамического запираания в моделируемом поровом пространстве, представленном идеальной трещиной при закачке в нее обратной эмульсии, стабилизированной и армированной анизотропными дисперсными наполнителями (аэросилом и хризотилом), приводящей к затуханию фильтрации при формировании изоляционного экрана в высокопроницаемых зонах пласта, используемой в технологических процессах блокирования обводнившихся интервалов продуктивного пласта, при достижении высокой эффективности

реализуемого процесса в реальных пластовых условиях карбонатных коллекторов.

3 Выявлена селективная способность стабилизированных твердой фазой обратных эмульсий формировать изоляционный экран в высокопроницаемых водонасыщенных пластах при внутрипластовых водоизоляционных работах в трещинах карбонатных коллекторов, обеспечивающий приток нефти из ранее не охваченных заводнением нефтенасыщенных пропластков.

4 Обоснован новый механизм формирования стабильного изоляционного экрана, представленного прямыми битумными эмульсиями, стабилизированными катионоактивными поверхностно-активными веществами с высокими адгезионными свойствами, достигаемыми за счёт адсорбции акриловой дисперсии на поверхности горной породы и металла, учитывающий селективные свойства при реализации технологического процесса, влияющего на порядок размещения реагентов в поровом пространстве с учётом источников обводнения.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость заключается в обосновании эффекта динамического запираания, проявляющегося при фильтрации обратных эмульсий в карбонатных неоднородных пластах, механизм которого заключается в затухании фильтрационных процессов при постоянном перепаде давления на входе и выходе из керна при физическом моделировании процесса.

Практическая значимость заключается в том, что:

1 Разработан селективный водоизоляционный состав на основе стабилизированной обратной водонефтяной эмульсии с эмульгатором Девон 4в марка А, стабилизированной хризотилом для условий карбонатных коллекторов на основе проведения физико-химических и реологических исследований.

2 Подготовлена инструкция на технологический процесс ограничения водопритока с регулируемым временем стабилизационного периода, обеспечивающий седиментационную стабильность, агрегативную устойчивость и высокие прочностные характеристики, позволяющие достигать эффект

динамического запираания, основные положения которой прошли адаптацию в промысловых условиях.

3 Проведены опытно-промысловые работы на трех скважинах месторождений ПАО АНК «Башнефть» (№ 10КНД Копей-Кубовского, № 1782 Петропавловского, № 2638 Югомашевского), приуроченных к карбонатным коллекторам, и получена технологическая эффективность процесса (№ 1782 – 420 т; № 2638 – 120 т).

4 Апробированы техника и технология приготовления стабилизированных обратных эмульсий на устье скважины, обеспечен контроль за реализацией технологического процесса селективной водоизоляции с установлением вязкостных характеристик закачиваемых эмульсий.

Методология и методы исследования

Поставленные в работе задачи решались путем проведения экспериментальных физико-химических, реологических исследований, устанавливающих зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига и вязкостные характеристики состава, стабилизированного твердой фазой (хризотил, аэросил, шелуха риса и просо), и обоснования оптимальных составов обратных эмульсий, а также физического моделирования процесса фильтрации модифицированной обратной эмульсии в образце керна, определяющего фактор остаточного сопротивления и градиент давления. Для установления кинетики эффекта динамического запираания, обеспечивающего селективность процесса и затухание фильтрации, а также рост градиента давления, проводились фильтрационные исследования на микрокапилляре и ячейке Хеле-Шоу (модели трещины). При выполнении опытно-промысловых работ проводился входной контроль вязкостных характеристик модифицированного состава обратной эмульсии. Уточнена его совместимость с пластовыми флюидами (Югомашевского, Копей-Кубовского и Петропавловского месторождений).

Положения, выносимые на защиту:

1 Технология проведения водоизоляционных работ на основе физического и гидродинамического моделирования с учетом адресного воздействия на конкретный высокообводненный карбонатный объект.

2 Методический подход к подбору соотношений углеводородной фазы и воды, а также мелкодисперсного наполнителя, обеспечивающего высокие прочностные свойства эмульсии в поровом пространстве каждого объекта.

3 Методология закачки прямых битумных эмульсий в комплексе с акриловой дисперсией для борьбы с водопроявлениями различной природы в слоисто-неоднородных пластов нефтяных месторождений.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов работы обеспечивалась применением широко апробированных, а также оригинальных методик, экспериментальных исследований, выполненных на оборудовании, прошедшем государственную поверку. Все результаты экспериментальных исследований обрабатывались с применением методов математической статистики.

Результаты и основные положения диссертационной работы докладывались на 71-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных УГНТУ (Уфа, 2020), доклад «Оценка эффективности применения прямых битумных эмульсий для водоизоляции скважин»; Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и направления развития энергоресурсноэффективных технологий органического и неорганического синтеза» (Стерлитамак, 2021), доклад «Разработка водоизоляционного состава на основе эмульсий Пикеринга»; на Международной научно-практической конференции «Практические аспекты нефтепромысловой химии» (Уфа, 2018), доклад «Микродинамика эмульсий с анизотропными и изотропными нанопорошками»; на VIII Международной молодежной научной конференции «Наукоемкие технологии в решении проблем нефтегазового комплекса» (Уфа, 2018), доклад «Разработка водоизоляционного состава на основе инвертных водонефтяных эмульсий, с добавлением твердой фазы».

Публикации

По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 3 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка использованной литературы, включающего 100 наименований. Работа изложена на 147 страницах машинописного текста, содержит 93 рисунка, 15 таблиц.

Автор выражает благодарность научному руководителю д.т.н, проф. Л. Е. Ленченковой; д.т.н., проф. Ю. В. Зейгману; к.ф-м.н. А. Т. Ахметову; к.х.м. А. Г. Телину к.т.н. В. А. Стрижневу; С. А. Вежнину; Д. В. Каразееву

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель и основные задачи, обозначены основные положения, выносимые на защиту, показаны научная новизна и практическая ценность результатов работы.

В **первой главе** приведено обобщение опыта применения технологий на основе прямых и обратных водонефтяных эмульсий в различных геолого-физических условиях пласта. Описаны свойства прямых и обратных эмульсий (ОЭ) различных составов (таких как «Дисин», эмульсии на основе нефтей Мамонтовского и Приобского месторождений) как реагентов для выравнивания профиля приемистости (ВПП), а также методики расчета их вязкостных свойств.

На основании обобщения сделан вывод, что обработка скважин обратными нефтяными эмульсиями является перспективным методом ВПП и ограничения водопритоков.

Использование эмульсионных систем позволяет объединить в одной технологии комплексное воздействие на пласт, отмыв пленочной нефти за счет поверхностно-активных свойств и выравнивание фронта вытеснения, исключаящее быстрый прорыв нагнетаемой воды к забою добывающей

скважины, за счет повышенных вязкостных характеристик эмульсионной системы путем изолирования высокопроницаемых пропластков и зон с заколонными и межпластовыми перетоками.

Одним из видов таких эмульсий являются высококонцентрированные эмульсии с твердой фазой («Дисин»). В отличие от разбавленных или простых концентрированных эмульсий, в которых микроскопические (либо субмикроскопические) капли жидкой дисперсной фазы участвуют в броуновском движении, в высококонцентрированных эмульсиях жидкие капельки иммобилизованы и образуют микроскопические эмульсионные пленки в области контактов, добавление коллоидов приводит к уменьшению размера капли эмульсии. При уменьшении соотношения углеводородная фаза: твердая фаза время, с которым частицы адсорбируются на границе раздела углеводород – вода, сокращается, предотвращая повторную коалесценцию, возникающую во время эмульгирования.

В связи с увеличением доли извлекаемых запасов из карбонатных коллекторов перспектива разработки стабилизированных прямых и обратных эмульсий с регулируемыми свойствами для борьбы с обводнением различной природы становится особенно актуальной.

Во **второй главе** рассмотрены основные особенности геолого-физических характеристик карбонатных коллекторов некоторых месторождений Башкортостана, являющихся перспективными для проведения опытно-промысловых испытаний (ОПИ) по ограничению водопритоков с применением обратных эмульсий Пикеринга (турнейского яруса для Копей-Кубовского и Петропавловского месторождений и башкирского яруса для Югомашевского месторождения). Коллекторы турнейского и башкирского ярусов представлены преимущественно известняками. В подошве ярусов наблюдаются сильная глинистость и прослои известковистых аргиллитов. В кровле известняки становятся пористо-кавернозными. Исследуемые эксплуатационные объекты характеризуются высокой степенью неоднородности, средними значениями

эффективных толщин пластов (6,7 м для турнейского, 3,4 м для башкирского ярусов), средней пластовой температурой до 30 °С.

В третьей главе приведен анализ показателей разработки ранее рассмотренных месторождений Башкортостана, на которых были проведены ОПИ с применением обратных эмульсий Пикеринга для селективной водоизоляции обводнившихся пропластков. В отложениях турнейского яруса Копей-Кубовского месторождения выявлены четыре залежи нефти. Залежи 1, 2, 4 введены в разработку в период 1958–1968 гг. На залежах сформирована система разработки с треугольным размещением скважин с расстоянием 300-400 м, плотность сетки скважин (ПСС) составляет в среднем по объекту 22,9 га/скв.

На всех разрабатываемых залежах объекта, сформирована система заводнения: на Залежи 1 – очагового внутриконтурного, на Залежи 2 – сочетание законтурного и приконтурного, на Залежи 4 – законтурного. Закачка воды в законтурные и приконтурные скважины на Залежи 2 позволила увеличить отборы нефти и жидкости, увеличить и стабилизировать пластовое давление (Рисунок 1). При этом имеются локальные участки пониженного давления (до 9–10 МПа). Организация внутриконтурных очагов заводнения позволяет обеспечить более эффективную разработку залежи.

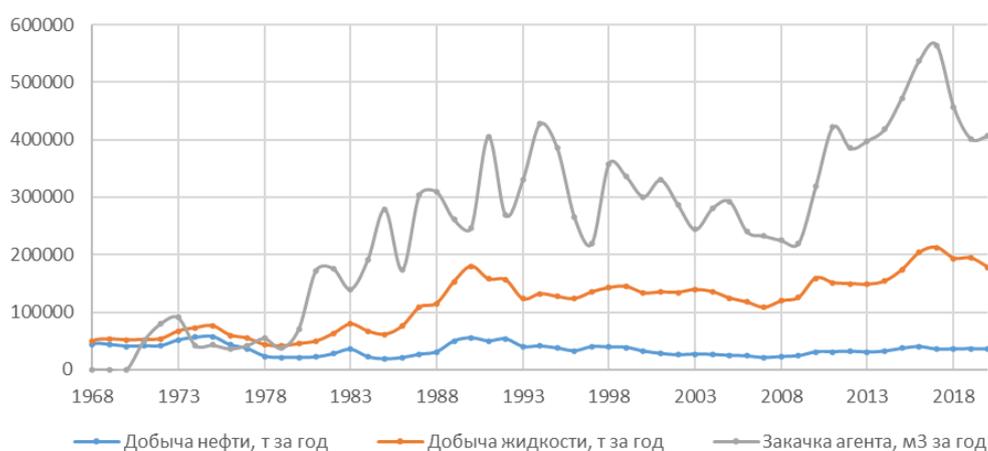


Рисунок 1 – Динамика показателей разработки залежи турнейского яруса Копей-Кубовского месторождения

Разработка башкирского яруса Югомашевского месторождения осуществляется с применением очагово-избирательной системы заводнения. В основном объект разбурен по треугольной сетке 300×300 и 400×400 м. Текущая ПСС составляет 18,2 га.

Динамика основных технологических показателей разработки объекта $C_{\text{бш}}$ приведена на Рисунке 2. Следует отметить, что до 1996 г. в эксплуатации находились только наклонно-направленные скважины. В последующие годы были пробурены горизонтальных скважин (ГС), по которым выявлен высокий приток нефти. Пробурено 128 добывающих ГС, и одна 1 нагнетательная. Накопленная добыча нефти по ГС составила 1589,5 тыс. т.

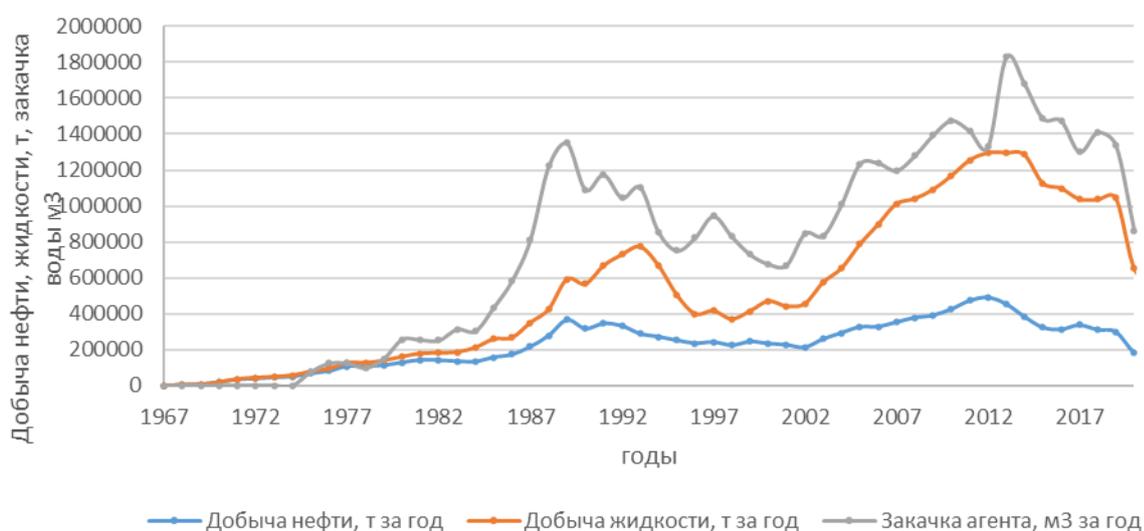


Рисунок 2 – Изменение годовых показателей добычи, закачки и обводненности объекта $C_{\text{бш}}$ Югомашевского месторождения

Максимальная добыча нефти 490,9 тыс. т достигнута в 2012 г. Действующий фонд скважин составил 476 добывающих (из них 348 вертикальных), 117 нагнетательных (из них 116 вертикальных), соотношение добывающих скважин к нагнетательным 4 : 1.

Дальнейший период разработки по всем указанным месторождениям характеризуется снижением добычи по нефти и ростом обводненности добываемой продукции скважин.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований, позволяющие обосновать перспективные составы на основе прямых битумных эмульсий и обратных эмульсий Пикеринга для применения водоизоляционных работ в неоднородных карбонатных коллекторах. Для повышения эффективности водоизоляционных работ в неоднородных карбонатных коллекторах предпочтение отдается селективным изоляционным составам, которые предусматривают избирательное блокирование поровых каналов водонасыщенной части коллектора, при соблюдении условия сохранения проницаемости нефтенасыщенных интервалов. В неоднородных пластах вода поступает в высокопроницаемую зону, в эту зону закачивается изоляционный состав, в рассматриваемом случае стабильные эмульсии. Для решения поставленных задач определялись реологические свойства обратных эмульсий, с целью уточнения их коагуляционной способности при введении в нее дисперсной фазы, в качестве которой использован анизотропный наполнитель – хризотил и изотропный – аэросил, концентрация которых подбиралась в зависимости от вязкостных характеристик нефти и содержания асфальтенов, влияющих на процесс коалиценции с горной породой.

Выполнены исследования, уточняющие дисперсность ОЭ с целью установления степени седиментационной устойчивости эмульсий после добавления в них дисперсных наполнителей (хризотил, аэросил); контроль за изменением структуры ОЭ с наполнителями осуществлялся с применением микроскопа. Распределение капель ОЭ по размерам осуществлялось с помощью программы Axio Vision. На гистограмме распределения числа капель ОЭ в зависимости от их диаметра показано, что исследуемая эмульсия содержит капли размерами от 2 до 8 мкм (Рисунок 3).

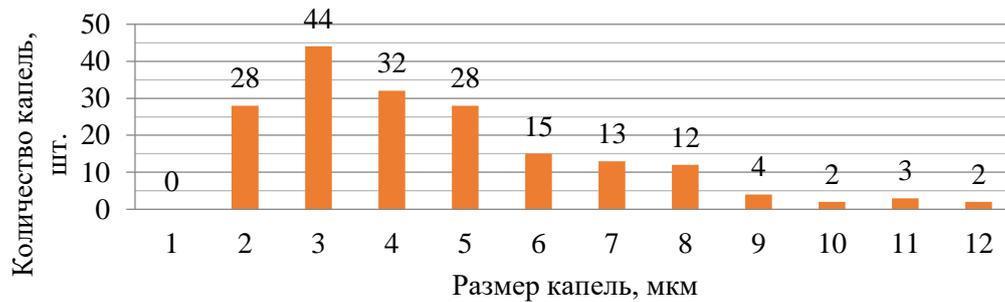


Рисунок 3 – Гистограмма распределения капель по размерам

Реологические характеристики обратных эмульсий, т.е. зависимости кажущейся вязкости и напряжения сдвига от скорости сдвига были определены с применением прибора Haake Mars III, используя метод двойного конуса.

Реологические кривые (зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига) ОЭ, стабилизированных дисперсным наполнителем – хризотилом, приведены на Рисунке 4.

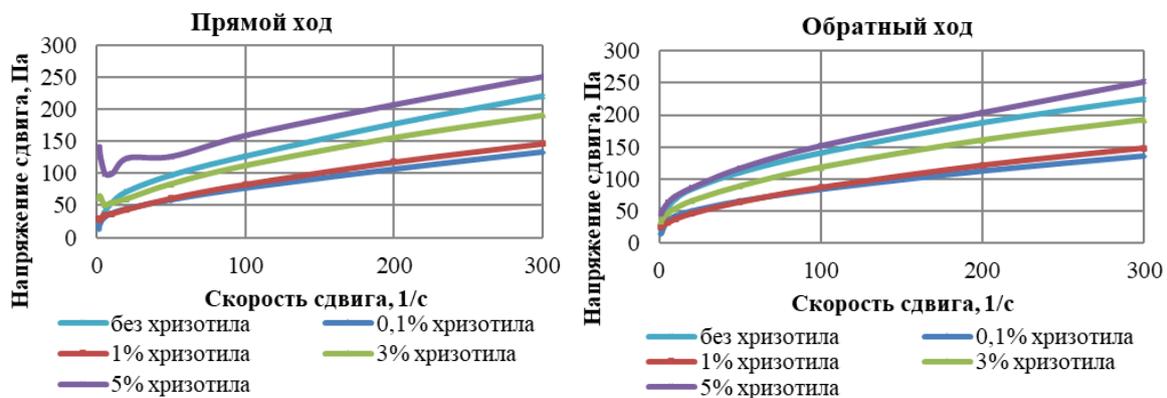


Рисунок 4 – Зависимости напряжения сдвига ОЭ от скорости сдвига при различных концентрациях хризотила

Отмечено, что с ростом концентрации хризотила (5 %) в ОЭ наблюдается увеличение напряжения сдвига по сравнению с ОЭ при его отсутствии. Причём установлено наличие изменения свойств ОЭ с добавлением хризотила при фильтрации в каналах переменного сечения. По-видимому, нитевидные

включения хризотила в зоне ускорения (перед сужением капилляра) ориентируются вдоль линии тока, а в зоне торможения – после сужения.

В ходе фильтрационных экспериментов, выполненных для обратных эмульсий установлен эффект динамического запираия. Эксперименты по запираию проводились на стеклянных капиллярах диаметром 100 мкм, длиной 2 см. Течение создавалось за счет давления в 200 кПа на входе, а на выходе из капилляра давление устанавливалось равное атмосферному. Измерение расходных характеристик потока, контролирующих процесс затухания фильтрации (т.е. проявление эффекта динамического запираия), осуществлялось электронными весами. Структура движения потока обратных эмульсий в капилляре изучалась с применением микроскопа. Результаты замеров получались следующим образом: через каждую секунду с электронных весов считывались значения и заносились в электронную таблицу. В ходе анализа результатов зафиксировано почти полное прекращение фильтрации ОЭ, т.е. проявление эффекта динамического запираия. На Рисунке 5 представлена визуализация рассматриваемого процесса. Так, структура течения со временем существенно преобразуется: в стационарном гидродинамическом потоке структура ОЭ однородна (35 мин).

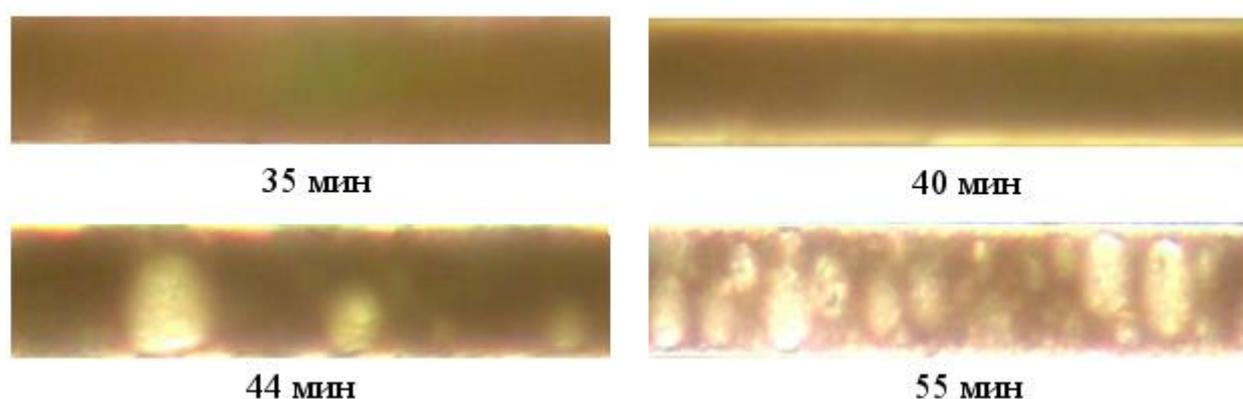


Рисунок 5 – Микровидеоизображения структуры течения эмульсии в цилиндрическом микроканале (диаметр 100 мкм) при перепаде давления 200 кПа

В состоянии, характеризующем закипание (через 55 мин), отображена перемещающаяся структура. Можно выделить потоки, состоящие из углеводородной фазы (темные фрагменты), воды (прозрачные участки) и эмульсии (светлые фрагменты), ограниченные менисками.

На Рисунке 6 представлены кривые, характеризующие эффект динамического закипания без дисперсной фазы, но с эмульгатором различной концентрации.

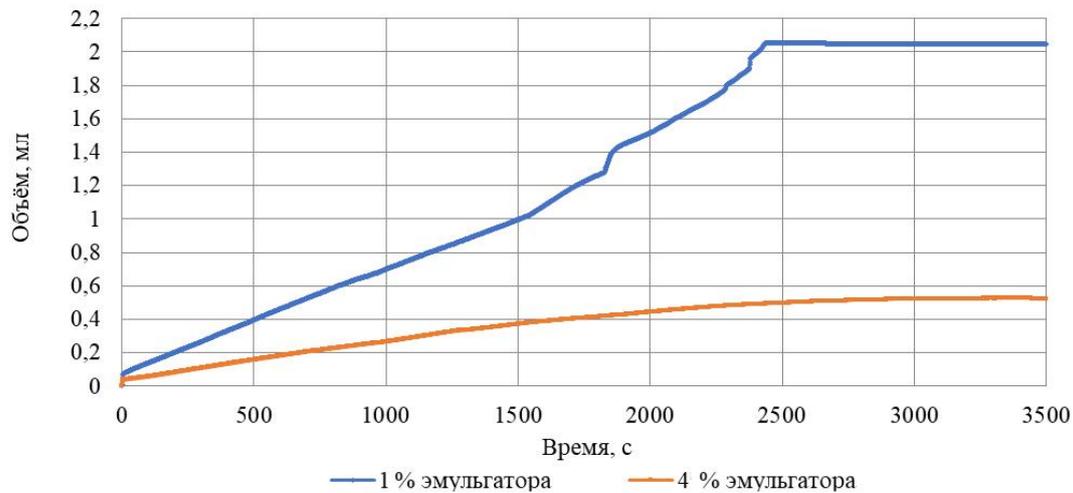


Рисунок 6 – Зависимость времени закипания эмульсий с разной концентрацией эмульгатора

Установлено, что с ростом концентрации эмульгатора уменьшается объем вытесненной воды. По-видимому, основной причиной такого положения является высокая вязкость эмульсии с 4% эмульгатора по сравнению с более низким значением последнего. На время закипания ОЭ рост концентрации эмульгатора не влияет. С ростом концентрации хризотила снижается время закипания и, как следствие, объем вытесненной воды. Далее выполнены исследования запирающей способности ОЭ на модели ячейки Хеле-Шоу. Результат представлен на Рисунке 7.

Эмульсия с добавкой хризотила запирается быстрее, чем ОЭ с меньшей концентрацией.

Детальное изучение течения ОЭ с добавками под микроскопом показало, что в состоянии запираания фильтрация ОЭ не прекращается, а приобретает свойства ползучего состояния, что подтверждается контролем за объемом течения ОЭ.

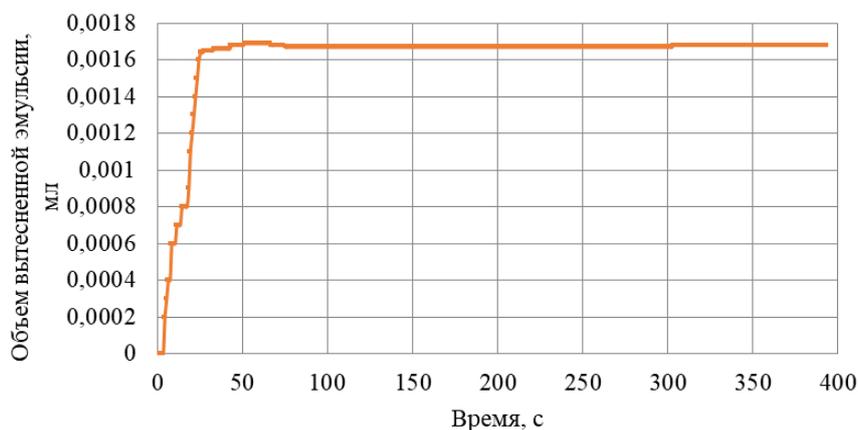


Рисунок 7 – Зависимость объема вытесненной эмульсии с 5 % хризотила во времени в ячейке Хеле-Шоу

Фильтрационные исследования обратных эмульсий проводились на системе моделирования пласта «СМП-ФЕС2Р», предназначенной для получения информации об основных фильтрационно-ёмкостных, электрических и акустических параметрах пород-коллекторов при моделируемых термобарических условиях объекта разработки.

Эксперименты проводились в модели идеальной трещины на обратных эмульсиях без твердой фазы (4 % эмульгатора), а также с 3 % аэросила и 5 % хризотила. Модель заполнялась исследуемым образцом и помещалась в моделируемые условия пласта. Расход жидкости ступенчато увеличивался с 1 до 10 см³/мин.

По полученным перепадам давлений на заданных расходах оценивалась удерживающая способность эмульсии. Эмульсия без твердой фазы способна удерживаться в трещине при перепаде давления до 0,035 МПа/м при расходе жидкости 10 см³/мин (Рисунок 8).

Второй опыт проводился на эмульсии, содержащей 3 % аэросила. Данная эмульсия способна удерживаться в трещине при перепаде давления до 0,3 МПа/м при расходе жидкости 10 см³/мин, что в 10 раз выше, чем у эмульсии без твердой фазы (Рисунок 9).

Третий опыт ставился на эмульсии, содержащей 5 % хризотила. Эмульсия удерживалась в трещине при перепадах давления до 0,57 МПа/м при расходе жидкости 10 см³/мин (Рисунок 10).

Далее продолжены исследования применения прямых битумных эмульсий в роли селективных блокирующих составов для изоляции водопритоков в нефтяных скважинах, приуроченных к неоднородным карбонатным коллекторам, впоследствии растворимые в нефти и нерастворимые в воде.

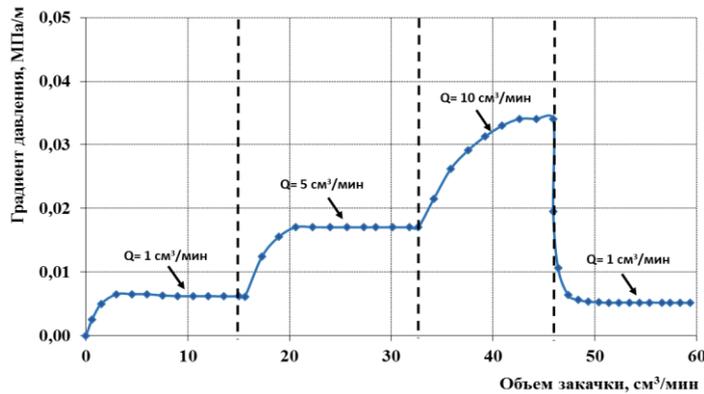


Рисунок 8 – Динамика градиента давления в опыте с эмульсией без твердой фазы

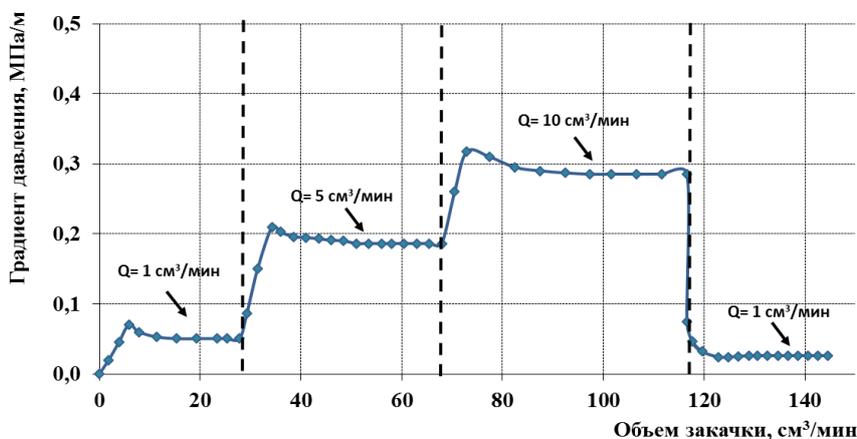


Рисунок 9 – Динамика градиента давления в опыте с эмульсией с 3 % аэросила

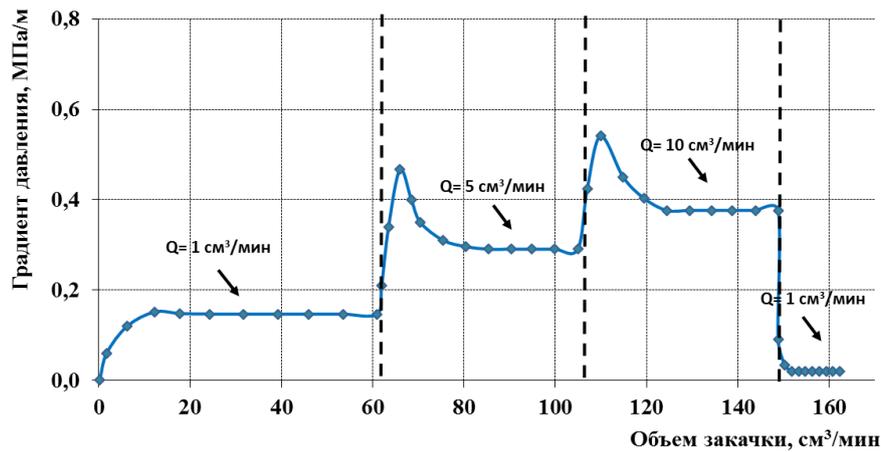


Рисунок 10 – Динамика градиента давления в опыте с эмульсией с 5 % хризотила

Изучена возможность применения промышленно выпускающихся дорожных битумных эмульсий. Использование последних в качестве водоизоляционных составов имеет ряд преимуществ. Так, за счёт невысокой вязкости прямой битумной эмульсии, она легко фильтруется в пористой среде; обладает высокой термостабильностью. Образующаяся плёнка битума непроницаема для воды, устойчива к воздействию кислот и щелочей.

В качестве прямых эмульсий были использованы битумные дорожные эмульсии катионные, марки ЭБДК Б-52. Для повышения её адгезионных свойств по отношению к металлу и горной породе, использованы акриловые дисперсии Лакротэн Э-081, Э-31, Э-082, Э-43, а также Lacryl 4443.

Выполненные исследования с битумными эмульсиями с предварительной обработкой как поверхности металла, так и поверхности карбонатной и терригенной горных пород акриловыми дисперсиями с низким рН (3–3,6) показали рост адгезионных свойств битумных эмульсий.

Последующие фильтрационные исследования, выполненные на насыпной модели и модели идеальной трещины, подтвердили наличие селективных свойств стабилизированной битумной эмульсии. Так, при закачке в модель порового пространства прямой битумной эмульсии ЭБДК Б-52 наблюдалась тенденция к снижению проницаемости по воде: 32,8 % для насыпной модели и

33,6 % для модели идеальной трещины. В фильтрационном эксперименте с предварительной закачкой в модель акриловой дисперсии и последующей битумной эмульсии отмечено затухание фильтрации как в водонасыщенной, так и нефтенасыщенной моделях парового пространства.

По результатам лабораторного эксперимента обоснованы предложения для промысловых испытаний прямых битумных эмульсий, обладающий высокими адгезионными свойствами. Предлагается проведение работ по «схеме селективной изоляции» с использованием только стабилизированной катионактивными ПАВ битумной эмульсии ЭБДК Б-52, а при ликвидации заколонных перетоков, устранению негерметичности эксплуатационных колонн и муфтовых соединений – последовательная закачка акриловой дисперсии и битумной эмульсии.

В пятой главе представлены результаты проведённых опытно-промысловых испытаний (ОПИ) рекомендованных стабильных обратных эмульсий на трёх скважинах ПАО АНК «Башнефть» (№ 10КНД Копей-Кубовского, № 1782 Петропавловского и № 2638 Югомашевского месторождений), представленных неоднородными карбонатными коллекторами, находящимися в эксплуатации с высокой степенью обводненности. На технологический процесс разработана инструкция, содержащая основные положения, которым следует придерживаться для повышения успешности реализации процесса селективной изоляции высокопроницаемых интервалов пласта. Обоснован дизайн технологического процесса, приведена методика расчёта объемов ОЭ и радиуса ее проникновения в пласт. Для каждой скважины было подготовлено технологическое задание, предусматривающее порядок приготовления ОЭ Пикеринга и последовательность ее закачки в пласт.

В ходе проведения ОПИ 18.02.2020 в обводнившийся пропласток скважины № 2638 Югомашевского месторождения закачано 15 м³ эмульсии (10,5 м³ пластовой воды плотностью 1180 кг/м³, 3,3 м³ нефти, 1,2 м³ эмульгатора и 750 кг хризотила). В скважину № 1782 Петропавловского месторождения закачано 15 м³ эмульсии (10,5 м³ пластовой воды плотностью 1180 кг/м³, 3,7 м³

нефти, 0,5 м³ эмульгатора и 700 кг хризотила. В скважину № 10КНД Копей-Кубовского месторождения закачано 15 м³ эмульсии (10,5 м³ пластовой воды плотностью 1180 кг/м³, 3,3 м³ нефти, 1,15 м³ эмульгатора и 750 кг хризотила.

После закачки ОЭ Пикеринга и вывода скважин на режим была получена технологическая эффективность. Так, по скважине № 1782 Петропавловского месторождения дебит нефти увеличился на 1,95 т/сут, обводненность снизилась на 17,5 % в течение 7 мес. По скважине № 2638 Югомашевского месторождения дебит нефти увеличился на 0,6 т/сут, обводненность снизилась на 15 % в течение 6 мес. По скважине № 10КНД Копей-Кубовского месторождения планируемый технологический эффект не достигнут.

В ходе промыслового эксперимента осуществлялся контроль за вязкостными характеристиками модифицированных ОЭ. Для этого отбирались пробы из ёмкости, в которой смешивали компоненты обратной эмульсии, и в лаборатории уточняли показатель стабильности во времени с определением вязкости на приборе Haake Viscotester. Так, вязкость пробы обратной эмульсии, отобранной со скважины № 2638 Югомашевского месторождения, составила 45,8 мПа·с при скорости сдвига 0,15 1/с, что коррелируется со значением, полученным в лабораторном эксперименте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Обобщены результаты применения теоретических, экспериментальных и промысловых исследований обратных эмульсий (ОЭ), применяемых в процессах ограничения водопритоков в различных геолого-физических условиях послойно-неоднородных пластов.

2 Выполнены физико-химические и реологические исследования, в результате которых определены зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига обратных эмульсий с включением стабилизирующей твердой фазы (аэросил, хризотил). Установлены зависимости роста напряжения сдвига от концентрации твердой фазы и оптимальные составы обратных эмульсий,

состоящие из 22 % нефти, 8 % эмульгатора, 70 % пластовой воды и 50 кг/м³ хризотила для дальнейших реологических и фильтрационных исследований.

3 Выполнены фильтрационные исследования с применением ОЭ в моделируемых условиях турнейских и башкирских пластов указанных месторождений Республики Башкортостан. Установлен и подтвержден эффект динамического запираания при использовании ОЭ с включением твердой дисперсной фазы, позволяющий обеспечить затухание фильтрационных процессов и обеспечить рост градиента давления, придавая высокие изолирующие свойства модифицированным ОЭ.

4 Установлены преимущества применения прямых битумных эмульсий (ПБЭ) в различных процессах борьбы с текущим и преждевременным обводнением нефтяных скважин: низкая начальная вязкость указанных эмульсий; высокая проникающая способность в поровое пространство коллектора; наличие гидрофобной плёнки битума, непроницаемой для воды; устойчивость к воздействию агрессивных сред (щёлочей и кислот); термостабильность.

5 В ходе выполнения фильтрационных экспериментов на насыпной модели и модели идеальной трещины с ПБЭ была доказана их селективная способность, проявляющаяся в снижении проницаемости по воде на 32,8 % в насыпных моделях и 33,6 % – на модели идеальной трещины и отмечено затухание фильтрации ПБЭ как на нефтенасыщенной модели пласта, так и водонасыщенной, проявляющая разную степень снижения проницаемости.

6 Предложен и обоснован технологический прием, повышающий эффективность реализации промысловых испытаний технологии проведения РИР, учитывающий процесс селективности при закачке ПБЭ в неоднородный пласт и проблему водоограничения, связанную с уточнением источников обводнения скважины. Для изоляции водонасыщенных пропластков рекомендована «схема селективной изоляции», то есть закачка ПБЭ катионного типа для ликвидации заколонных перетоков, устранения негерметичности эксплуатационной колонны и муфтовых соединений – закачка ПБЭ катионного

типа с предварительной закачкой акриловой дисперсии, обеспечивающей достижение высоких адгезионных свойств битума с поверхностью горной породы и металлом, реализуя механизм, основанный на способности анионоактивного полимера адсорбироваться на указанных поверхностях, обеспечивая стабилизацию свойств ПБЭ, повышая эффективность применения технологического процесса.

7 Предложена методика оценки технологических параметров процесса (объемов ОЭ, радиуса проникновения). Обоснован алгоритм технологического процесса, включающий обоснование технологии приготовления, реагента, его доставки и размещения в поровой среде. Проведены опытно-промысловые испытания обратных эмульсий, стабилизированных твердой дисперсной фазой, на трех скважинах карбонатных коллекторов ПАО АНК «Башнефть» (№ 1782 Петропавловского, № 10КНД Копей-Кубовского, № 2638 Югомашевского месторождений) и установлена технологическая эффективность процесса (по скважине № 1782 – 420 т, по скважине № 2638 – 120 т дополнительно добытой нефти).

Основные результаты диссертационной работы опубликованы:

- в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ:

1. Телин, А. Г. Разработка водоизолирующих реагентов на основе инвертных водонефтяных эмульсий, содержащих мелкодисперсную твердую фазу / А. Г. Телин, А. Т. Ахметов, Р. Р. Асадуллин, Н. В. Савицкий, Л. Е. Ленченкова // Нефть. Газ. Новации. – 2018. – № 6. – С. 79–84.

2. Стрижнев, В. А. Разработка селективных тампонажных составов на основе битумных эмульсий для проведения водоизоляционных работ / В. А. Стрижнев, Р. Р. Асадуллин, И. Р. Арсланов, Д. В. Каразеев, Л. Е. Ленченкова, Ю. А. Кутьин, Э. Г. Теляшев, А. Г. Телин // Нефтегазовое дело. – 2021. – Т. 19. – № 4. – С. 71–80.

3. Асадуллин, Р. Р. Обоснование методических подходов для повышения эффективности водоизоляционных работ с применением стабилизированных обратных эмульсий типа Пикеринга / Р. Р. Асадуллин, Л. Е. Ленченкова, Р. Н. Якубов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2022. – № 6 (140). – С. 112–121.

- в других изданиях:

4. Рахимов, А. А. Исследование эффекта динамического запираания эмульсий, содержащих твердые включения / А. А. Рахимов, А. Т. Ахметов,

А. А. Валиев, Р. Р. Асадуллин // Многофазные системы. – 2018. – Т. 13. – № 4. – С. 118–126.

5. Асадуллин, Р. Р. Микродинамика эмульсий с анизотропными и изотропными нанопорошками / Р. Р. Асадуллин, А. Т. Ахметов, Л. Е. Ленченкова, А. А. Валиев, А. Г. Телин // Практические аспекты нефтепромышленной химии : сб. тез. докл. VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 2018. – С. 93–97.

6. Асадуллин, Р. Р. Применение битумной эмульсии с акриловой дисперсией для ремонтно-изоляционных работ / Р. Р. Асадуллин, А. Т. Ахметов, Л. Е. Ленченкова, А. А. Валиев, А. Г. Телин // Практические аспекты нефтепромышленной химии : сб. тез. докл. IX Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 2019. – С. 96–99.

7. Асадуллин, Р. Р. Разработка водоизоляционного состава на основе инвертных водонефтяных эмульсий, с добавлением твердой фазы / Р. Р. Асадуллин, А. Г. Телин, Н. С. Ленченков, Л. Е. Ленченкова // Научные технологии в решении проблем нефтегазового комплекса : матер. VIII Междунар. молодежн. науч. конф. / Отв. ред. К. Ш. Ямалетдинова. – 2018. – С. 22–27.

8. Асадуллин, Р. Р. Разработка новых водоизоляционных составов на основе обратных водонефтяных эмульсий / Р. Р. Асадуллин, А. Г. Телин, Л. Е. Ленченкова // 75 лет нефтяному образованию в Республике Башкортостан : матер. Всеросс. науч.-техн. конф. – Уфа, 2018. – С. 78.

9. Рахимов, А. А. Эффект динамического запыления эмульсий, содержащих твердые включения / А. А. Рахимов, А. А. Валиев, Р. Р. Асадуллин // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики : сб. тр. : в 4 т. – Уфа, 2019. – Т. 2. – С. 1094–1096.

10. Бакиров, И. Д. Оценка эффективности применения прямых битумных эмульсий для водоизоляции скважин / И. Д. Бакиров, Р. Р. Асадуллин, Л. Е. Ленченкова // Матер. 71-й науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ : в 2 т. – Уфа, 2020. – Т. 1. – С. 139.

11. Асадуллин, Р. Р. Разработка водоизоляционного состава на основе эмульсий Пикеринга / Р. Р. Асадуллин, Л. Е. Ленченкова, Р. Н. Якубов, Д. Ф. Ситдикова // Актуальные проблемы и направления развития энергоресурсноэффективных технологий органического и неорганического синтеза : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. – Стерлитамак, 2021. – С. 522–527.

12. Ленченкова, Л. Е. Лабораторные исследования обратных эмульсий типа Пикеринга для внутрипластовой водоизоляции неоднородных коллекторов / Л. Е. Ленченкова, Р. Р. Асадуллин, И. М. Хажи-Алиев // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2022. – № 5. – С. 84–101.