

На правах рукописи



ГУМЕРОВА АЛЕКСАНДРА СЕРГЕЕВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВНУТРИПЛАСТОВОЙ
ИЗОЛЯЦИИ СИЛИКАТНО-ПОЛИМЕРНЫМИ СОСТАВАМИ
В УСЛОВИЯХ НЕОДНОРОДНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ**

Специальность 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых
месторождений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Уфа – 2020

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: **Гуськова Ирина Алексеевна**
доктор технических наук, доцент
ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт» / кафедра «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», профессор

Телин Алексей Герольдович
кандидат химических наук,
ООО «Уфимский Научно-Технический Центр» / заместитель директора по научной работе

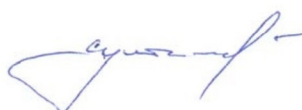
Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» (г. Самара)

Защита диссертации состоится «23» апреля 2020 года в 14-30 ч., на заседании диссертационного совета Д 212.289.04 при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450062, 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 «___» _____ 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Султанов Шамиль Ханифович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В сырьевой базе нефтедобывающей отрасли Российской Федерации из года в год увеличивается доля трудноизвлекаемых запасов. Добыча нефти из залежей, приуроченных к неоднородным коллекторам, приводит к преждевременному прорыву закачиваемых вод по высокопроницаемым зонам пласта и, как следствие, высокой обводненности добываемой продукции скважин и низким дебитам нефти.

В последние десятилетия разработаны и опробованы различные составы и технологии для внутрипластовой водоизоляции: сшитые полимерные системы, вязко-упругие составы, осадкогелеобразующие составы (латексы, нефелин, силикатно-щелочные и т.д.).

Несмотря на положительные результаты применения отдельных составов в промысловых условиях существует ряд недостатков, которые ограничивают их применение, такие как многостадийность процесса, отсутствие удовлетворительных способов регулирования времени загеливания, короткий индукционный период, невысокая стабильность изоляционного барьера, отсутствие достоверных методик расчета параметров технологии и оценки ее эффективности.

В связи с изложенными актуальными проблемами становятся вопросы, связанные с обоснованием и разработкой технологии внутрипластовой изоляции притока вод в добывающих скважинах. Наиболее перспективными являются технологии на основе применения композиций полисиликатных составов и низкомолекулярных полимеров марки гипан, применяющихся для указанных целей. Перспективность данного направления предопределяет поиск новых составов, обладающих синергетическими свойствами, учитывая наличие полимерных и силикатных характеристик, полученных в ходе синтеза гидролизованного полиакрилонитрила (гипан) силикатом натрия. Указанные особенности нового состава и его композиции с соляной кислотой позволяют формировать при их применении в технологиях ограничения водопритокв прочные изоляционные барьеры на пути фильтрации воды, тем самым решая

вопрос снижения обводненности и достижения проектных коэффициентов нефтеизвлечения.

Степень разработанности темы

Большой вклад в изучение процессов ограничения водопритока внесли следующие отечественные и зарубежные учёные: Л.К. Алтунина, Р.Х. Алмаев, В.Е. Андреев, А.И. Волошин, А.Ш. Газизов, А.А. Газизов, Ш.А. Гафаров, А.Т. Горбунов, И.А. Гуськова, Р.Н. Дияшев, С.А. Жданов, Ю.В. Зейгман, Р.Р. Ибатулин, Г.З. Ибрагимов, Ю.А. Котенев, Р.Р. Кадыров, Л.Е. Ленченкова, Е.В. Лозин, В.Д. Лысенко, Л.А. Магадова И.Т. Мищенко, М.Х. Мусабилов, Р.Х. Муслимов, А.М. Петраков, М.К. Рогачев, К.В. Стрижнев, М.А. Токарев, А.Г. Телин, В.Г. Уметбаев, Р.Н. Фахретдинов, К.М. Федоров, А.Я. Хавкин, Р.С. Хисамов, L. Lake, R.S. Lane, R. Seright, R.D. Sydansk, Bjarsvik Magny и другие.

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

Цель работы – обоснование и разработка нового состава и технологии на его основе для ограничения водопритоков неоднородных коллекторов.

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

1 Выполнить анализ технологической эффективности применения современных гелеобразующих композиций на основе органических и неорганических полимеров для ограничения водопритоков и регулирования внутрипластовых перетоков жидкостей в неоднородных коллекторах.

2 Обобщить результаты экспериментальных и промысловых испытаний технологий ограничения водопритоков в добывающие скважины с использованием композиции на основе полиакрилонитрила (ПАН) в различных геолого-физических условиях для уточнения критериев их эффективного применения.

3 Провести экспериментальные исследования с целью разработки полимерного состава на основе модифицированного полиакрилонитрила для ограничения водопритоков к добывающим скважинам и регулирования

коэффициента приемистости нагнетательных скважин. Оценить функциональные возможности нового органогибридного состава для внутрипластовой водоизоляции.

4 Установить величину дополнительной добычи нефти в ходе промысловых испытаний силикатно-полимерной композиции на основе реагента Ком-С для реализации процесса ограничения водопритокков на нефтяном месторождении, характеризующемся высокой послойной неоднородностью и интенсивным обводнением высокопроницаемых пропластков.

5 Обосновать гидродинамическую модель процесса внутрипластовой водоизоляции органогибридным составом (Ком-С) с целью уточнения эффективности процесса и характера распределения геля в поровом пространстве коллектора.

Научная новизна

1 Для блокирования промытых зон нефтяных пропластков обоснован полимерный реагент Ком-С на основе гидролизованного полиакрилонитрила силикатом натрия с образованием сополимера акриламида, акрилата натрия и звеньев имидоэфира кремниевой кислоты. Полимерный реагент при взаимодействии с сильными кислотами способен образовывать органогибридные комплексы с регулируемым временем загеливания с последующим формированием прочного пространственного каркаса.

2 Экспериментально установлен диапазон изменения напряжения сдвига от скорости сдвига для композиции на основе Ком-С, позволяющий определить радиус проникновения геля в коллектор пласта на основе исследования реологических характеристик разработанного гелеобразующего состава на основе реагента Ком-С.

3 Выявлена способность состава Ком-С образовывать межмолекулярные связи между глобулами геля через цепочку димеров, армированных полимерными нитями, влияющих на повышение прочностных характеристик в отличие от традиционного полиакрилонитрила, в котором другой механизм гелеобразования, не способный управлять процессом загеливания.

4 На основе гидродинамического моделирования неоднородных терригенных коллекторов предложены математические зависимости для расчета объемов гелеобразующих оторочек реагента Ком-С, радиуса их проникновения в пласт и изменение нефте- и водонасыщенности после установления изоляционного экрана с целью блокирования обводнившихся высокопроницаемых пропластков.

5 Установлены геолого-физические и технологические критерии применения технологии на основе реагента Ком-С в промысловых условиях, обеспечивающих снижение обводненности, увеличение дебита по нефти и повышение охвата пласта заводнением.

Практическая значимость

1 Впервые разработана методика синтеза нового полимерного реагента для внутрислоевой изоляции пласта путем гидролиза полиакрилонитрильного сырья силикатом натрия в оптимальном соотношении 1 : 15 при условии компенсации анионов полиэлектролита ионами натрия при температуре 95 °С, образующего с кислотами блокирующую массу. Получен патент № 2503702 РФ на способ получения акрилового реагента для внутрислоевой изоляции высокопроницаемых обводнившихся зон пласта. Подготовлен технологический регламент для проведения опытно-промысловых испытаний (ОПИ) гелеобразующей композиции на основе реагента Ком-С.

2 Подтвержден компонентный состав реагента Ком-С методом ИК-спектроскопии. Установлены интервалы поглощения, подтверждающие химический состав, определенные в результате перехода гидролизованного полиакрилонитрила в сополимер акриламида, акрилата натрия с наличием имидоэфира кремниевой кислоты.

3 На основании реологических и физико-химических исследований получен оптимальный гелеобразующий состав композиции, содержащий Ком-С 10 %, соляную кислоту – 3 %, учитывающий влияние минерализации и температуры пласта, с регулируемым временем загеливания от 10 до 14 ч.

4 Предложен алгоритм принятия решения по обоснованию технологии ограничения водопритоков на основе реагента Ком-С.

5 Выполнен анализ технологической эффективности применения технологии гелеобразующей композиции на основе реагента Ком-С на двух скважинах и получены удовлетворительные результаты в виде дополнительной добычи нефти по скважине 1296 – 260,0 т в течение 6 мес. и по скважине 2244 – 429,9 т в течение 7 мес. Подтверждена необходимость достоверных прогнозных расчетов объемов и радиусов проникновения в пласт гелеобразующей композиции на основе гидродинамического моделирования. Отсутствие методических рекомендаций по расчету объема оторочки гелеобразующей композиции с целью установления изоляционного экрана с применением гидродинамического моделирования не позволило достоверно определить оптимальный объем гелеобразующей оторочки для получения высоких технологических показателей.

6 Обоснована методология расчета прогнозных показателей разработки на примере опытных скважин 2244 и 1296 месторождения Кумколь с применением элементов гидродинамического моделирования.

Методы исследований

Решения поставленных в работе задач основаны на проведении экспериментальных исследований для уточнения влияния концентрации исходных реагентов на физико-химические и реологические свойства силикатных полимеров с низкой молекулярной массой, а также на опытно-промысловых испытаниях технологии изоляции водопритоков в добывающих скважинах месторождений, приуроченных к неоднородным коллекторам, при наличии проблемы преждевременного обводнения высокопроницаемых пропластков нефтенасыщенного пласта и анализе полученных результатов с целью обоснования критериев выбора скважин воздействия.

Положения, выносимые на защиту

1 Способ получения акрилового реагента путем гидролиза полиакрилонитрила силикатом натрия в водной смеси с рН 12–14.

2 Технология изоляции притока воды в добывающих скважинах композицией на основе силикатных полимерных гелей, в том числе для ликвидации заколонных перетоков жидкости вдоль ствола скважины,

обеспечивающая одностадийность процесса при смешивании с кислотой при реализации процесса.

3 Критерии выбора добывающей скважины для технологии изоляции притока вод гелеобразующими композициями, обладающими свойствами полимеров и полисиликатов на месторождениях со слоисто-неоднородными пластами.

Соответствие паспорту специальности

Тема работы и содержание исследований соответствуют паспорту специальности 25.00.17 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», а именно пункту 2 «Геолого-физические и физико-химические процессы, протекающие в пластовых резервуарах и окружающей геологической среде при извлечении из недр нефти и газа известными и создаваемыми вновь технологиями и техническими средствами для создания научных основ эффективных систем разработки месторождений углеводородов и функционирования подземных хранилищ газа».

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.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались: на Международном форуме-конкурсе молодых ученых «Проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2013); на IV, VI Международных научных симпозиумах «Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов» (г. Москва, 2013, 2017); на II, IV Международных научно-практических конференциях «Нефтепромысловая химия» (г. Москва, 2015, 2017); на IV Международной научно-практической конференции «Нефтепромысловая химия» (г. Москва, 2017); на VI Международном научном симпозиуме «Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов» (г. Москва, 2017); на VII Международной научной конференции «Наукоемкие технологии в решении проблем

нефтегазового комплекса в год экологии в России» (г. Уфа, 2017); на VII Международной научной конференции «Инновации и наукоемкие технологии в образовании и экономике» (г. Уфа, 2018); на Международной научно-методической конференции «Роль математики в становлении специалиста» (г. Уфа, 2018); на Международной научно-практической конференции «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли» (г. Альметьевск, 2018); на VIII Международной научной конференции «Наукоемкие технологии в решении проблем нефтегазового комплекса» (г. Уфа, 2018); на VIII Международной научно-практической конференции «Практические аспекты нефтепромысловой химии» (г. Уфа, 2018).

Публикации

По теме диссертации опубликованы 17 научных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, получен 1 патент.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка использованной литературы, включающего 132 наименования. Работа изложена на 151 странице машинописного текста, содержит 44 рисунка, 35 таблиц.

Автор выражает благодарность доктору технических наук, профессору Ленченковой Л.Е. за идею, постановку цели и задач исследований, неоценимую помощь при написании работы.

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** обобщен опыт применения современных технологий ограничения водопритоков неоднородных коллекторов.

В последние годы эффективными мероприятиями для внутрипластовой водоизоляции является применение полисиликатных составов для различных геологических условий. Перспективность их использования очевидна

вследствие возможности регулирования времени гелеобразования. Однако гели на основе силикатных составов, в свою очередь, обладают низкими прочностными характеристиками, что ограничивает их применение.

Не менее эффективными реагентами для ограничения водопритокков являются различные модификации гидролизованного полиакрилонитрила (гипан, гивпан, геопан), которые также имеют недостатки, ограничивающие широкое применение:

- низкая эффективность в условиях разработки месторождений со слабой минерализацией пластовых вод из-за размыва изоляционного экрана пресной водой, что требует использования значительных объемов растворов солей поливалентных металлов и является экономически нецелесообразным;

- сложность и многостадийность технологических операций, трудность смешивания двух жидкостей в пористой среде из-за узости фронта смешивания и значительного разбавления исходных компонентов;

- получение изоляционного экрана механизмом осадкообразования и заполнение осадками малой доли порового пространства;

- невозможность регулирования времени образования изоляционного экрана.

Таким образом, актуальным направлением для повышения эффективности разработки неоднородных коллекторов является создание и внедрение реагентов, которые обладали бы синергетическими свойствами как полимеров, так и силикатов и могли бы применяться в пресных и низкоминерализованных водах с образованием прочного изоляционного экрана с регулируемыми сроками гелеобразования.

Во **второй главе** приведен опыт применения полимер-кислотного воздействия на месторождениях ОАО «Башнефть».

С 1989 г. на Абдулловском, Копей-Кубовском и Стахановском месторождениях ОАО «Башнефть» проводились опытно-промысловые испытания полимер-кислотного воздействия по ограничению притока воды с использованием полимера гипан и коагулянта солей (хлоридов) двух- и трехвалентных металлов.

Для проведения анализа было отобрано 15 показателей из исходных данных (геолого-физические и технологические параметры), наиболее полно характеризующих технологию на основе гипано-кислотного воздействия (ГКВ).

В результате пошаговой процедуры отбора наиболее значимых факторных переменных, в большей степени влияющих на изменение уровня дополнительной добычи нефти, было получено следующее уравнение:

$$Q = -2,3m - 0,22K_{п} + 3,68h + 6,33K_{р} + 7,9V_{з.гип} + 4,4V_{з.hcl} + 0,5k - 9,1\eta + 1,45, \quad (1)$$

где Q – зависимая переменная – дополнительная добыча нефти, т; m – пористость, д. ед.; k – проницаемость, мкм²; $V_{з.гип}$ – объем закачки реагента гипан, м³; $V_{з.hcl}$ – объем закачки соляной кислоты, м³; h – эффективная толщина, м; η – обводненность до обработки, %.

В третьей главе приведен комплекс экспериментальных исследований по обоснованию нового полимер-силикатного реагента Ком-С, который включает в себя следующие положения:

- разработка методики гидролиза полиакрилонитрила для получения полимера на силикатной основе;
- схематизация синтеза нового полимер-силикатного реагента Ком-С;
- выполнение элементного анализа полученных продуктов гидролиза;
- получение спектров поглощения инфракрасного излучения (ИК-спектроскопия) Ком-С;
- обоснование оптимальной гелеобразующей композиции на основе реагента Ком-С и определение ее реологических характеристик для ограничения водопритокков.

Для получения нового реагента был использован гидролиз полиакрилонитрильного волокна силикатом натрия. Основными условиями гидролиза в одностадийном процессе продукта (силикатного гидролизата) являются:

- массовое соотношение жидкого стекла к полимеру не менее 15 : 1 при процентном соотношении загрузки реагентов ЖНС : ПАН : вода = 59,4 : 3,8 : 36,8;
- температура синтеза ≥ 95 °С; продолжительность процесса 24 ч.

Схематически синтез нового реагента представлен на Рисунке 1. Продуктами гидролиза полиакрилонитрила силикатом натрия являются акрилат натрия, акриламид, кроме того присутствуют эфиры кремниевой кислоты, которые образуются в результате присоединения анионов кремниевой кислоты, возникающих при гидролизе силикатом натрия по нафтиридиновому циклу.

Для реагента Ком-С проведена ИК-спектроскопия с получением спектров поглощения инфракрасного излучения. Выявлено наличие поглощающих интервалов в диапазоне $900\text{--}1100\text{ см}^{-1}$, характеризующих колебания группы Si–O.

Проведен элементный анализ реагента Ком-С, подтверждающий содержание некоторого количества неорганического компонента, о чем свидетельствует высокое содержание в нем золы (более 60 % масс.). Это может означать, что в процессе гидролиза в полимере образуются звенья имидокремнекислого эфира, часть которых не подвергается дальнейшему гидролизу и остается в сополимере. Таким образом, получен новый полимерный реагент, представляющий собой сополимер акриламида и акрилата натрия, содержащий некоторое количество звеньев имидоэфира кремниевой кислоты.

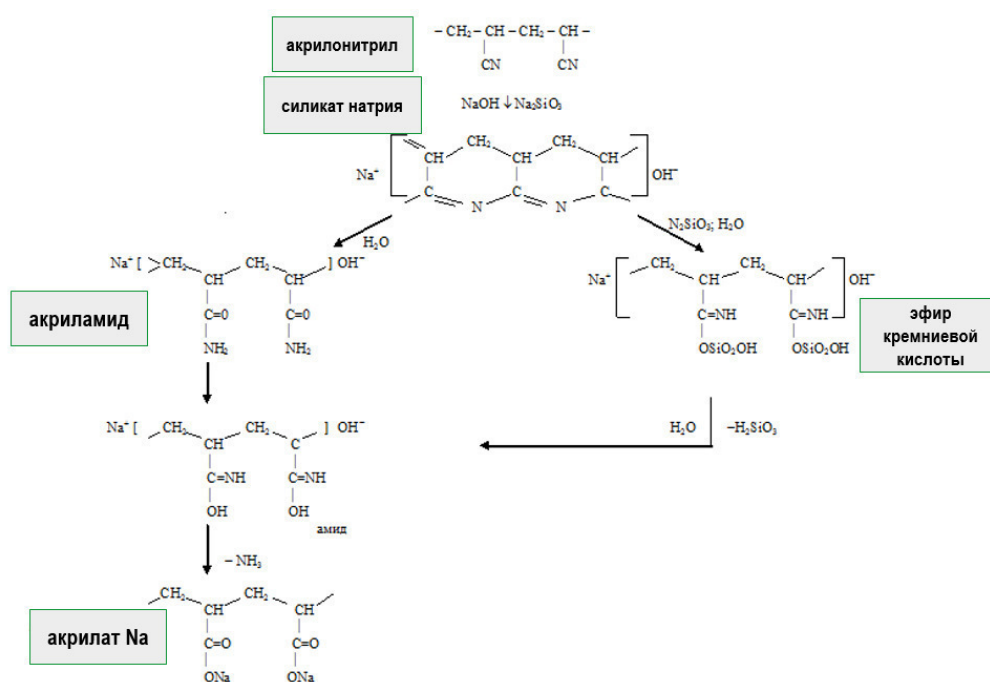


Рисунок 1 – Схема синтеза полимер-силикатного реагента Ком-С

Предложен возможный механизм образования макромолекул «ПАН – силикат натрия» при их гидролизе. Согласно рассмотренному механизму, гидролизованный ПАН является полианионным полимером, в котором отрицательный заряд функциональных групп компенсируется ионами натрия. При снижении рН путем смешения с кислотой в присутствии силиката натрия происходит замещение ионов натрия на положительно заряженные функциональные группы глобул Si-O-H^+ , приводящее к формированию структурно связанных глобул силиката (Рисунок 2, б). Непосредственно результатом замещения является образование прочного и эластичного геля.

В щелочном силикатном геле только часть димеров играет роль связующих мостиков между глобулами, а другая часть димеров располагается на поверхности глобулы, находясь внутри пор геля (Рисунок 2, а).

Реологические свойства геля на основе Ком-С должны проявляться в более высокой прочности относительно силикатного геля при тех же значениях рН и появлении вязко-упругих свойств. Низкая прочность макроструктуры щелочных гелей объясняется малым количеством точек контакта между глобулами.

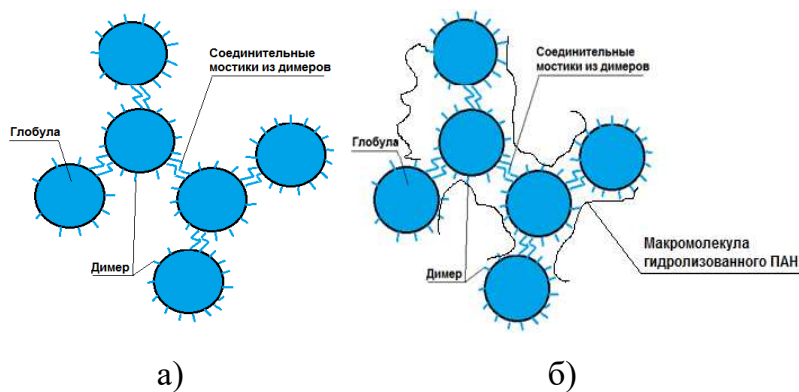


Рисунок 2 – Макромодели щелочного силикатного геля (а), геля Ком-С (силикат-гидролизванный ПАН) (б)

Для обоснования оптимального состава гелеобразующей композиции на основе нового реагента и соляной кислоты выполнен цикл экспериментальных исследований: определение времени гелеобразования, прочности геля, влияния температуры на характеристики геля и реологические исследования.

На время начала гелеобразования системы и прочность геля оказывают существенное влияние концентрации основных реагентов. На Рисунке 3, а

показана зависимость времени гелеобразования и прочности геля от концентрации соляной кислоты при постоянной концентрации реагента Ком-С 10 % при 20 °С. При увеличении содержания кислоты в растворе прочность геля увеличивается, но при этом время гелеобразования уменьшается. При концентрации соляной кислоты в растворе более 5 % масс. гель образуется почти сразу же после приготовления, менее 2 % масс. – время гелеобразования составляет несколько суток и гель получается недостаточно прочным. Поэтому для получения прочных гелей с заданным временем гелеобразования необходимо выбирать оптимальную концентрацию соляной кислоты в гелеобразующей композиции (3–5 % масс.).

На Рисунке 3, б представлены зависимости времени гелеобразования и прочности геля от концентрации реагента Ком-С в гелеобразующем составе, содержащем 3 % масс. соляной кислоты при температуре 20 °С. Из анализа Рисунка 3, б видно, что в исследуемом интервале концентраций реагента Ком-С в композиции требуемое время гелеобразования и прочность геля наблюдаются при концентрации реагента более 7 % масс. Повышение концентрации реагента более 15 % масс. является экономически нецелесообразным, поэтому оптимальной концентрацией реагента в гелеобразующем составе считаем 7–15 % масс. Очевидно, что для получения геля с заданным временем гелеобразования при высокой пластовой температуре следует уменьшить концентрацию соляной кислоты в гелеобразующей композиции. Обоснован оптимальный гелеобразующий состав, % масс.: соляная кислота – 3, Ком-С – 10, вода – остальное.

Все полученные гели на основе реагента Ком-С устойчивы к размыву пресной водой и 12 %-ой соляной кислотой. После смешения геля с равным объемом размывочной жидкости, интенсивного перемешивания и отстаивания уменьшения объема геля не происходило. В то же время полное разрушение геля любого состава происходит при размыве 15 %-ым раствором щелочи (NaOH). Гель в этом случае разрушается до прозрачного раствора уже в процессе перемешивания.

Исследование процесса гелеобразования при различных температурах показало, что температура оказывает существенное влияние на скорость гелеобразования. Повышение температуры значительно ускоряет время гелеобразования.

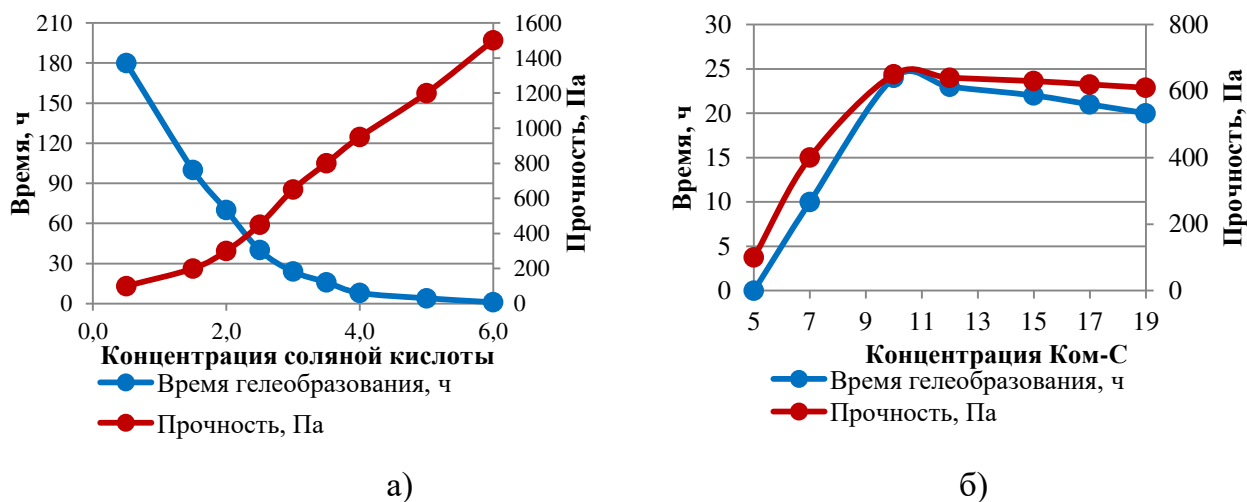


Рисунок 3 – Зависимости времени гелеобразования и прочности геля от концентрации соляной кислоты (10 %-ый раствор реагента Ком-С) (а), реагента Ком-С (3 %-ый раствор соляной кислоты) (б) при 20 °С

На Рисунке 4 представлены зависимости времени гелеобразования от концентрации соляной кислоты в 10 %-ом растворе реагента Ком-С при различных температурах.

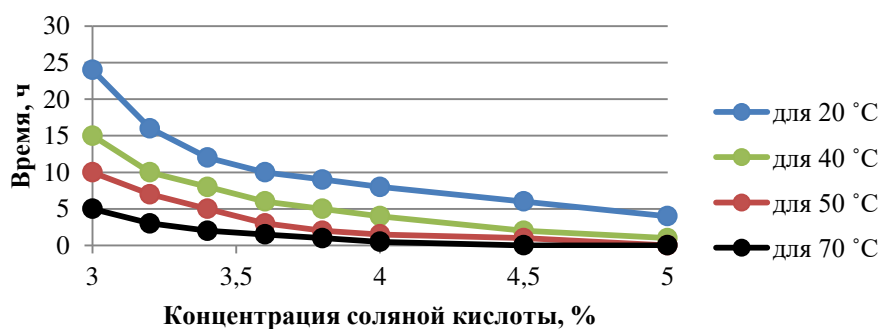


Рисунок 4 – Зависимость времени гелеобразования 10 %-го раствора реагента Ком-С от концентрации соляной кислоты при различных температурах

Для указанного гелеобразующего состава определены реологические характеристики – зависимости напряжения сдвига (τ) от скорости сдвига (GP) и вязкости (η) от скорости сдвига (GP) (Рисунок 5, а). Для базы сравнения реологических характеристик выбрана композиция на основе гипана (Рисунок 5, б).

Из анализа представленных зависимостей видно, что от момента приложения нагрузки наблюдается некоторый рост величины напряжения сдвига, обусловленный сопротивлением структуры образца разрушению при

увеличивающейся нагрузке (скорости сдвига) до некоторого максимального значения. После точки максимума начинается уменьшение напряжения сдвига, связанное с разрушением структуры сплошной пространственной сетки геля. К этому же моменту происходит уменьшение значения кажущейся вязкости до некоторого постоянного значения. О прочности геля судили по величине напряжения сдвига, соответствующей точке максимума, т.е. моменту разрушения непрерывной структуры геля. Оказалось, что композиция с реагентом Ком-С характеризуется бóльшим напряжением сдвига, чем композиция с реагентом гипан (190 Па против 85 Па).

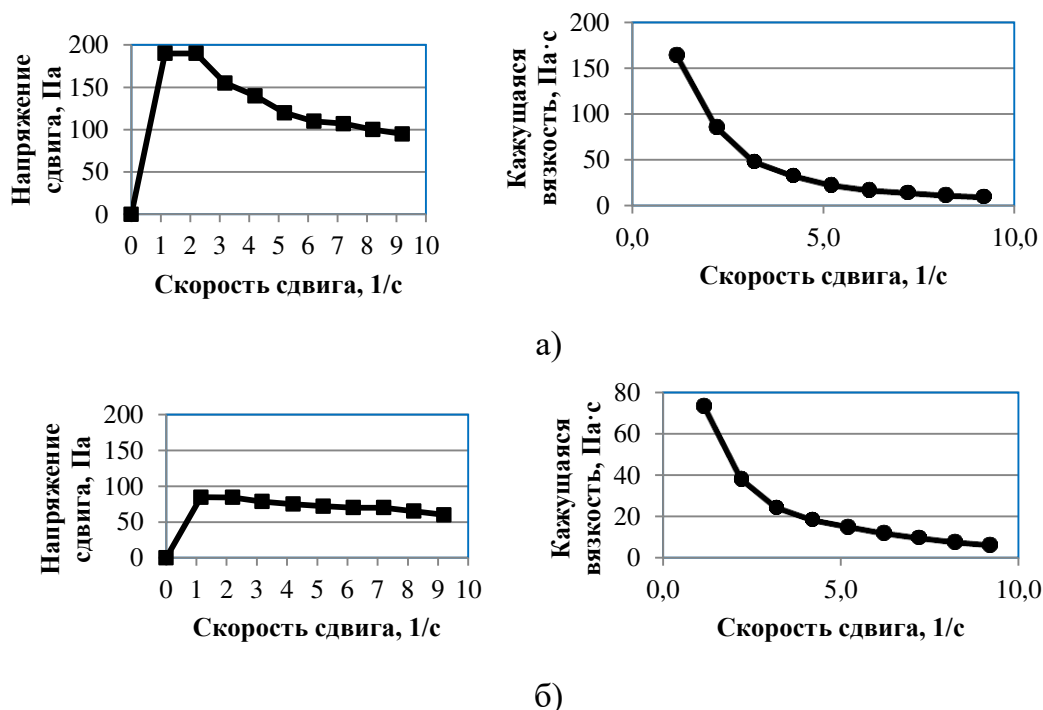


Рисунок 5 – Зависимости напряжения сдвига и кажущейся вязкости от скорости сдвига при 20 °С для композиции на основе реагента Ком-С (а), для композиции на основе реагента гипан (б)

В четвертой главе приведены геолого-физические характеристики продуктивных пластов и анализ системы разработки месторождения Кумколь, являющегося объектом проведения опытно-промысловых испытаний композиции на основе нового реагента Ком-С.

На месторождении Кумколь установлена промышленная нефтегазоносность нижнеюжурского и верхнеюрского подкомплексов. Месторождение многопластовое и содержит шесть залежей. Залежи в меловых отложениях являются нефтяными, в юрских – газонефтяными и нефтяными. По

типу резервуара они относятся к пластовым, сводовым, с элементами тектонического и литологического экранирования. Особенностью геологического строения месторождения является зональная и послойная неоднородность по проницаемости. Проницаемость пласта М-I-II составляет $2,78 \text{ мкм}^2$, вязкость нефти в пластовых условиях – $3,0 \text{ мПа}\cdot\text{с}$.

В относительно однородных коллекторах расположено менее 9 % всех геологических запасов нефти. Более 40 % запасов сосредоточено в коллекторах с высокой послойной неоднородностью по проницаемости, а более 28 % – в коллекторах, в которых одновременно присутствуют слои, отличающиеся по величине проницаемости в тысячи раз.

По характеристике пласта видно, что первый объект месторождения Кумколь пригоден для опытно-промысловых испытаний.

Одной из важнейших проблем в процессе разработки месторождения является преждевременное обводнение добывающих скважин, связанное с прорывом в скважины воды, закачиваемой по высокопроницаемым пропласткам. Это приводит к уменьшению конечной нефтеотдачи, к большим затратам на добычу попутной воды и подготовку товарной нефти.

В период с 01.01.2009 по 01.07.2011 на месторождении проводились различные мероприятия, связанные с ограничением объемов попутно добываемой воды. В главе приведен анализ по 55 добывающим скважинам, охваченным опытно-промысловыми испытаниями. В качестве реагентов для изоляции водопритоков были использованы цементные растворы на углеводородной основе БТРУО-Микро (ЗАО «Химико-Сервис»), ПДС (ТОО «Ориент-Терра») и АКОР-БН (ООО «Нитпо»). По результатам проведенных ремонтно-изоляционных работ (РИР) успешность составила 53 %. На эффективность РИР могли оказать влияние нарушение технологического режима реализуемого мероприятия, отсутствие обоснованного расчета объема оторочки реагента, но, в первую очередь, – вид изоляционного состава.

Учитывая, что высокообводненный фонд скважин в дальнейшем будет увеличиваться, необходимо продолжить мероприятия, направленные на снижение обводнённости нефти.

В **пятой главе** изложены результаты прогнозирования технологического применения водоизоляционных составов на основе гидродинамического

моделирования и результаты опытно-промышленных испытаний композиции на основе реагента Ком-С.

Последовательность реализуемой технологии сводится к закачке предоторочки пресной воды, приготовлению гелеобразующей композиции требуемого объема, закачки ее в пласт с последующей продавкой пресной водой и остановкой скважины на гелеобразование.

Выбор скважин-кандидатов для проведения ОПИ осуществлялся по критериям применения технологии.

Как показывает промысловая практика применения подобных составов, очень важным является обоснование объема оторочки и радиуса проникновения композиции, поэтому данные показатели рассчитывались по трем методиками. Для реализации технологии рекомендовано среднеарифметическое значение объема закачки по трем методикам. Результаты приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов объема закачки гелеобразующей композиции на основе Ком-С

№ скважины	Объем закачки гелеобразующей композиции, м ³	
	Расчет	Факт
1296	69,2	56,0
2244	66,9	46,0

Для оценки результатов ОПИ и подтверждения возможности образования изоляционных экранов проведены геофизические исследования при помощи расходомера глубинного дистанционного (РГД).

По результатам исследований при помощи РГД на скважине 1296 заметных изменений после проведения ОПИ не выявлено, величина работающего интервала ствола не увеличилась, заколонная циркуляция не устранена.

Технологические показатели работы по скважине 1296 при реализации технологии ограничения водопритокков на основе реагента Ком-С показали увеличение дебита по нефти на 2,1 т/сут и снижение обводненности продукции скважины на 2,9 %. Выполнен расчет дополнительной добычи нефти, которая составила 264,0 т, однако длительность эффекта не превысила 6 мес.

По результатам геофизических исследований по скважине 2244 после проведения водоизоляционных работ за счет перераспределения потоков в призабойной зоне скважины (ПЗС) величина работающего интервала ствола увеличилась (1112,0–1115,0 м) на 2 м, при этом заколонная циркуляция была ликвидирована.

Технологические показатели работы по скважине 2244 при реализации на ней технологии ограничения водопритоков на основе реагента Ком-С показали увеличение дебита нефти на 3,1 т/сут и снижение обводненности на 5,0 %. По скважине получено 429,9 т дополнительной добычи нефти с продолжительностью эффекта 7 мес.

Прогнозные показатели разработки по опытным скважинам 2244, 1296 определялись с помощью гидродинамического моделирования. Исходные фильтрационно-емкостные характеристики коллектора и свойства флюидов, заложенные в модель, представлены в Таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные коллекторских свойств пласта и насыщающих его флюидов для ГДМ

Характеристики	Номер слоя			
	1	2	3	4
Коэффициент пористости, д. ед.	0,2			
Коэффициент проницаемости, мкм ²	0,075	0,150	0,225	0,300
Критическая водонасыщенность, д. ед.	0,2			
Остаточная нефтенасыщенность, д. ед.	0,4			
Динамическая вязкость нефти, мПа·с	8,1			
Динамическая вязкость воды, мПа·с	1,12			
Начальная водонасыщенность, д. ед.	0,2	0,2	0,6	0,6

При моделировании рассмотрены 4 варианта технологического процесса в сравнении с базовым, учитывающие изменения следующих параметров: фактор остаточного сопротивления (10–40), удельный объем закачки (6–24 м³/м), анизотропия ($\frac{k_z}{k_x} = 0,1–0,01$) (Таблица 3).

Таблица 3 – Параметры моделей

Номер модели	0 (базовый)	1	2	3	4
Фактор остаточного сопротивления	10	10	40	10	40
Удельный объем закачки, м ³ /м	6	24	6	6	24
Анизотропия	0,10	0,10	0,10	0,01	0,01

Использование гидродинамического моделирования позволяет наблюдать за динамикой изменения параметров призабойной зоны пласта в процессе проведения РИР. Например, на Рисунке 6 представлено распределение гелеобразующего состава на основе реагента Ком-С по пропласткам.

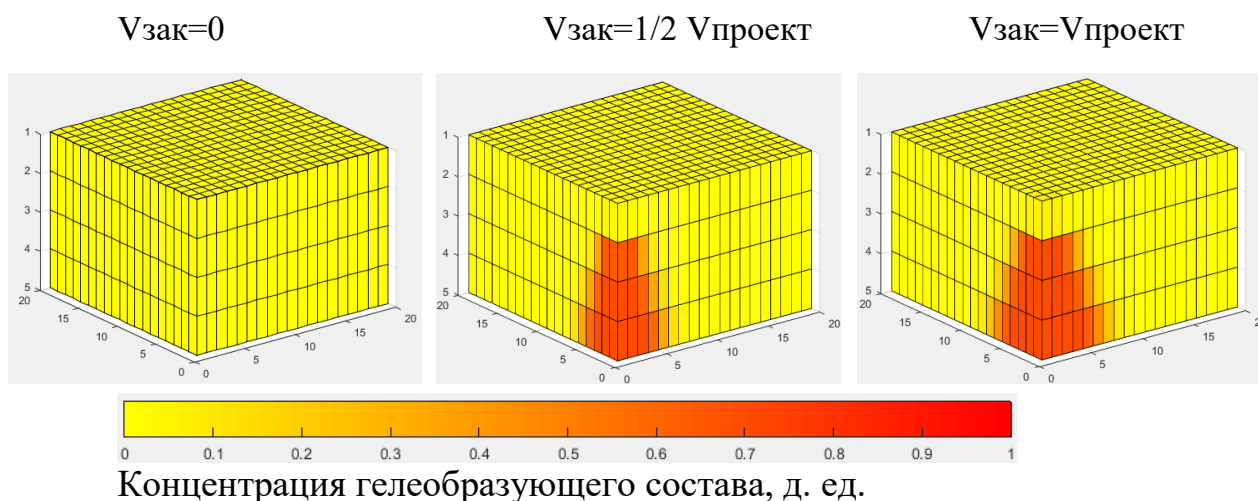


Рисунок 6 – Кубы концентрации гелеобразующего состава Ком-С
при проведении РИР на скважине 1296

Наибольшей глубиной проникновения геля характеризуется пропласток с наибольшей проницаемостью. Динамика изменения насыщенности ПЗС после РИР в период отборов нефти с учетом роста обводненности скважины представлена на Рисунке 7. Динамика насыщенности ПЗС позволяет лучше понять механизм обводнения скважины после проведения РИР.

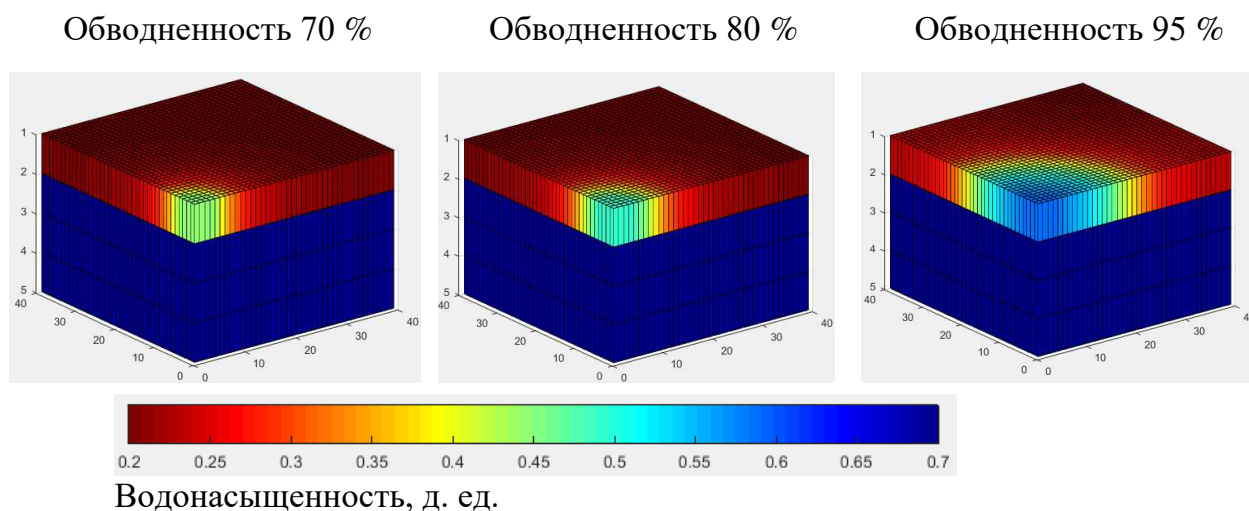


Рисунок 7 – Кубы водонасыщенности в период добычи после проведения РИР
на скважине 1296

Прогнозная технологическая эффективность проведения ОПИ на месторождении Кумколь с применением рассматриваемого подхода приведена в Таблице 4. Фактические результаты в сравнении с прогнозными подтверждают их высокую сходимость.

Таблица 4 – Результаты расчета прогнозной эффективности РИР с применением гидродинамического моделирования на скважинах 1296 и 2244

Параметры эффективности РИР	Скважина 1296		Скважина 2244	
	ОПИ (факт)	Прогнозный расчет с применением ГДМ	ОПИ (факт)	Прогнозный расчет с применением ГДМ
Объем добытой жидкости за время эффекта, м ³	18000	8800	30000	11300
Дополнительная добыча нефти, м ³	264	420	430	510

Учитывая проведенные экспериментальные и промысловые исследования, обоснован алгоритм принятия решения по повышению успешности применения технологии внутрислоевой водоизоляции на основе нового реагента Ком-С, который включает все процессы от обоснования исходных продуктов, их синтеза и получения нового реагента, а в последующем геля на его основе до промысловых испытаний на месторождении Кумколь (Рисунок 8).



Рисунок 8 – Алгоритм принятия решения по повышению успешности применения технологии внутрислоевой водоизоляции с помощью нового реагента Ком-С на основе гидролизованного полиакрилонитрила

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Обобщен промысловый опыт применения технологий ограничения водопритоков с использованием гелеобразующих композиций на основе органических и неорганических полимеров, показавших недостаточную эффективность реализуемого процесса, связанную с отсутствием механизма регулирования времени гелеобразования в пласте и низкой их устойчивостью к размыву. С учетом выявленных недостатков анализируемых водоизоляционных работ обоснован органогибридный состав на основе модифицированного полиакрилонитрила и предложена технология с управляемым процессом гелеобразования.

2 Уточнены критерии эффективного применения технологий ограничения водопритоков в скважинах с различными геолого-физическими условиями залегания пластов по параметрам: дебит скважины, обводненность продукции, проницаемость пород призабойной зоны пласта, расчлененность пласта, вязкость нефти и пластовая температура.

3 По результатам физико-химических и реологических исследований предложен новый органогибридный состав (Ком-С) на основе гидролизованного полиакрилонитрила силикатом натрия и соляной кислоты в технологии ограничения водопритоков для условий нефтяного месторождения Кумколь. Механизм формирования геля на основе полиакрилонитрила с силикатом натрия заключается в образовании макроструктуры силикатного геля, армированного полимерными нитями, придающими ему вязко-упругие свойства и высокие прочностные характеристики, за счет ионных взаимодействий и определяющую кислотно-основное равновесие в системе ПАН-силикат натрия. Предложенный способ гидролиза является одностадийным процессом и может непосредственно использоваться в промысловых испытаниях.

4 Для уточнения технологической эффективности применения армированных гелей на основе состава Ком-С и критериев выбора скважин проведены опытно-промысловые испытания на двух скважинах месторождения Кумколь. По скважине 1296 получено увеличение дебита нефти на 2,1 т/сут, снижение обводненности на 2,9 %, дополнительная добыча нефти составила 264,0 т с длительностью эффекта 6 мес.; по скважине 2244 – 3,1 т/сут, 5,0 %, 429,9 т с длительностью эффекта 7 мес. соответственно.

5 Разработана гидродинамическая модель технологии ограничения водопритоков с применением органогибридного состава (Ком-С), позволяющая

рассчитать: прогнозные показатели дополнительной добычи нефти из низкопроницаемых нефтенасыщенных пропластков; характер обводнения продукции скважин; величины накопленной добычи жидкости, нефти, воды – и уточнить процесс распределения органогибридного состава по пропласткам с различной проницаемостью пород.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 17 научных трудах, в том числе:

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

1. Гумерова, А. С. Получение акрилового реагента на основе отходов полиакрилонитрильного волокна для нефтепромысловых работ / А. С. Гумерова, А. А. Чезлов, А. В. Чезлова, Е. А. Глухов, С. В. Колесов // Башкирский химический журнал. – 2015. – Т. 22. – № 2. – С. 19–23.

2. Гумерова, А. С. Разработка перспективного органо-гибридного состава на основе модифицированного полиакрилонитрила при проведении ремонтно-изоляционных работ в скважинах / А. С. Гумерова, Р. Н. Якубов, Л. Е. Ленченкова, Д. А. Илаш // Наука. Инновации. Технологии. – 2019. – № 2. – С. 8–22.

3. Гумерова, А. С. Опыт применения органо-гибридного состава в технологии ограничения водопритока / А. С. Гумерова, Р. Н. Якубов, А. И. Волошин, Л. Е. Ленченкова, Х. И. Акчурин, Н. И. Абызбаев // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2019. – Вып. 2 (118). – С. 69–80.

- патенты:

4. Пат. 2503702 Российская Федерация, МПК С 09 К 8/44. Способ получения акрилового реагента для изоляции водопритоков в скважине (варианты) / Чезлова А. В., Чезлов А. А., Козлова А. С., Колесов С., Глухов Е. А. – № 201242622/03, заявл. 05.11.2012; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1.

- в материалах различных конференций и семинаров:

5. Соловьев, Р. В. Использование полимерной композиции Реаком при проведении ремонтно-изоляционных работ / Р. В. Соловьев, Р. Р. Шагалин, Р. Н. Якубов, А. С. Козлова // Проблемы геологии, геофизики, бурения и добычи нефти : сб. ст. НПФ «Геофизика». – 2013. – Вып. 10. – С. 85–92.

6. Соловьев, Р. В. Проведение ремонтно-изоляционных работ в скважинах с использованием полимерной композиции Реаком / Р. В. Соловьев, А. В. Чезлова, А. С. Козлова, С. Ю. Бархович // Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов : докл. IV Междунар. науч. симпозиума. – М., 2013. – Т. 2. – С. 10–13.

7. Гумерова, А. С. Разработка нового акрилового реагента для ограничения водопритоков в скважины / А. С. Гумерова, А. В. Чезлова, А. А. Чезлов, С. В. Колесов, Е. А. Глухов // Нефтепромысловая химия : матер. II Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2015. – С. 63–64.

8. Гумерова, А. С. Совершенствование технологии внутрислоевого гелеобразования полимерсиликатными составами / А. С. Гумерова, Д. А. Илаш // Нефтепромысловая химия : докл. IV Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2017. – С. 31–32.

9. Ленченкова, Л. Е. Новый состав для блокирования обводненных зон пласта полисиликатными гелеобразующими составами / Л. Е. Ленченкова, Х. И. Акчурин, А. С. Гумерова, А. И. Волошин // Нефтепромысловая химия : докл. IV Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2017. – С. 19–22.

10. Гумерова, А.С. Совершенствование технологии внутрипластовой изоляции силикатно-полимерными составами в условиях неоднородных коллекторов / А. С. Гумерова, Л. Е. Ленченкова, А. А. Чезлов, А. А. Чезлова // Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов : тез. докл. VI Междунар. науч. симпозиума. – М., 2017. – С. 88–89.

11. Якубов, Р. Н. Прогнозирование эффективности применения технологии ограничения водопритоков с применением гидродинамического моделирования / Р. Н. Якубов, А. С. Гумерова, Л. Е. Ленченкова // Научные технологии в решении проблем нефтегазового комплекса в год экологии в России : матер. VII Междунар. науч. конф. – Уфа : РИЦ БашГУ, 2017. – С. 56–57.

12. Волошин, А. И. Изучение смачиваемости коллекторов, приуроченных к различным геолого-физическим условиям, кислотными составами / А. И. Волошин, Р. Н. Якубов, А. С. Гумерова, Р. Р. Асадуллин, Д. С. Мочалкин // Инновации и научные технологии в образовании и экономике : матер. VII Междунар. науч. конф. – Уфа : РИЦ БашГУ, 2018. – С. 63–66.

13. Якубов, Р. Н. Оценка технологической эффективности проведения водоизоляционных работ с применением гидродинамического симулятора / Р. Н. Якубов, А. А. Габдуллин, А. А. Комков, А. С. Гумерова // Инновации и научные технологии в образовании и экономике : матер. VII Междунар. науч. конф. – Уфа : РИЦ БашГУ, 2018. – С. 161–165.

14. Якубов, Р. Н. Применение математического моделирования для прогнозирования технологической эффективности водоизоляционных работ / Р. Н. Якубов, А. С. Гумерова, Х. И. Акчурин, И. С. Нургалиев // Роль математики в становлении специалиста : матер. Междунар. науч.-метод. конф. – Уфа : УГНТУ, 2018. – С. 191–195.

15. Гильмутдинова, Л. И. Исследование взаимодействия химических реагентов при кислотной стимуляции скважин Могдинского месторождения / Л. И. Гильмутдинова, А. С. Гумерова, Р. Н. Якубов, Д. С. Мочалкин, Л. Е. Ленченкова, А. И. Волошин // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли : сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Альметьевск : АГНИ, 2018. – С. 7–15.

16. Ленченкова, Л. Е. Особенности математического моделирования солянокислотного воздействия скважин, эксплуатирующих высокотемпературные карбонатные коллектора / Л. Е. Ленченкова, А. Е. Фоломеев, А. Р. Шарифуллин, А. С. Гумерова, А. А. Комков // Научные технологии в решении проблем нефтегазового комплекса : матер. VIII Междунар. науч. конф. – Уфа : РИЦ БашГУ, 2018. – С. 184–189.

17. Гумерова, А. С. Разработка технологии ограничения водопритоков в условиях неоднородных коллекторов / А. С. Гумерова, Л. Е. Ленченкова, А. А. Комков, Д. А. Илаш // Практические аспекты нефтепромысловой химии : тез. докл. VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 2018. – С. 121–122.