

**Черепанова
Наталья Алексеевна**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОТОКООТКЛОНЯЮЩИХ
ТЕХНОЛОГИЙ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ
ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа– 2008

Работа выполнена в Уфимском государственном нефтяном техническом университете.

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор, Токарев Михаил Андреевич.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Рогачев Михаил Константинович;

кандидат технических наук, доцент
Щербинин Виктор Георгиевич.

Ведущая организация ОАО «НижневартовскНИПИнефть».

Защита состоится «_____» декабря 2008 года в _____ на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д212.289.04 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Автореферат разослан «_____» ноября 2008 года.

Ученый секретарь совета

Ямалиев В.У.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

В настоящее время применение современных и новейших технологий увеличения нефтеотдачи пластов на месторождениях Западной Сибири рассматривается как средство повышения качества сырьевой базы. Основными из таких технологий являются гидроразрыв пласта (ГРП), бурение боковых стволов и горизонтальных скважин, а также оптимизация режимов работы скважины в виде форсированных отборов, что приводит к интенсивному гидродинамическому режиму, в результате которого увеличиваются темпы обводнения продукции и происходит неравномерная выработка пластов.

В условиях опережающей выработки активных запасов, которые, как правило, сосредоточены в наиболее проницаемой части коллектора, особо актуально использование потокорегулирующих методов воздействия на пласт, позволяющих сдерживать прорывы воды по зонам с лучшими фильтрационными свойствами и направлять движущую силу закачиваемого агента на вытеснение нефти из низкопроницаемых слоев.

Применяемые методы потокорегулирующего воздействия не всегда учитывают особенности геологического строения пластов, текущее состояние разработки и не обеспечивают необходимого перераспределения потоков жидкости. В Когалымском регионе большинство месторождений характеризуются сложным геологическим строением, многопластовостью, высокой расчлененностью, слоистой и зональной неоднородностью, что снижает эффективность традиционных методов. Ввиду многообразия геолого-физических особенностей нефтяных месторождений достижение необходимых результатов возможно при использовании адресных технологий для конкретных условий.

В связи с этим важным направлением повышения эффективности методов увеличения нефтеотдачи является адаптация известных и

создание новых технологий воздействия на пласты с учетом особенностей их строения и свойств используемых материалов.

Цель работы

Совершенствование осадко-гелеобразующих методов увеличения нефтеотдачи с использованием полимерных и экстрактивных веществ для терригенных пластов с резко неоднородными коллекторскими свойствами.

Основные задачи исследований

1. Анализ эффективности применения потокорегулирующих технологий повышения нефтеотдачи пластов (ПНП) на месторождениях Когалымского региона. Выявление факторов, влияющих на результативность обработок.

2. Изучение возможности использования омыленной древесной смолы в качестве щелочного агента осадкообразующей композиции для повышения коэффициента нефтеизвлечения в резко неоднородных пластах.

3. Совершенствование технологий ПНП на основе полиакриламида применительно к условиям скважин с высоким поглощением воды.

4. Опытно-промысловые испытания новых технологий.

5. Статистический анализ влияния геолого-промысловых факторов на эффективность воздействия разработанных технологий.

Методы решения поставленных задач

Поставленные задачи решались на основе анализа и изучения литературных, патентных и промысловых данных, а также обобщения опыта применения технологий ПНП. При проведении расчета эффективности технологий и анализа геолого-промысловых условий применения технологий ПНП использовался программный пакет геолого-гидродинамического моделирования «ТРИАС». Влияние геолого-промысловых факторов на эффективность воздействия разработанных технологий определялось методом регрессионного анализа.

В работе использованы экспериментальные методы изучения физико-химических, фильтрационных свойств в лабораторных условиях, моделирующих пластовые, и промысловые испытания разработанных композиций на объектах территориально-производственного предприятия «Когалымнефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»

Научная новизна работы

1. Определено влияние промысловых характеристик скважины (коэффициент приемистости, гидропроводности) на эффективность воздействия потокорегулирующих технологий. Уточнены граничные геолого-физические условия их эффективного применения.

2. Установлены особенности взаимодействия экстрактивных компонентов омыленной древесной смолы в поровом пространстве терригенных пород с катионами поливалентных металлов, обусловленные коагуляцией, сольватацией и комплексообразованием высших карбоновых и смоляных кислот.

3. Выявлены закономерности объемного гелеобразования растворов полимера акриламида в присутствии твердой дисперсной фазы.

4. Получена математическая зависимость эффективности применения сшитых полимерных составов с наполнителем от геолого-промысловых параметров скважины.

Практическая ценность работы и реализация

в промышленности

Результаты проведенных исследований позволили выявить направления совершенствования использования потокоотклоняющих технологий в осложненных геолого-физических условиях месторождений Западной Сибири.

Разработана осадкогелеобразующая технология с использованием омыленной древесной смолы для регулирования фильтрационных потоков в условиях неоднородных пластов с повышенной температурой (патент 2217583 РФ).

Разработана новая рецептура композиции агрегативно-устойчивых сшитых полимерных составов с кремнеземным наполнителем (патент 2256785 РФ).

Результаты диссертационной работы использованы при составлении стандартов предприятий, временных инструкций, в частности:

- СТП 5804465-133-2001. Осадкогелеобразующий состав ОДС для повышения нефтеотдачи пластов;
- СТП 02-16-05. Технология изоляционных работ с использованием водонабухающего полимера (ВНП);
- Временная инструкция. Технология повышения нефтеотдачи пластов с применением сшитых полимерных систем с наполнителями.

Предложенные составы внедрены на месторождениях ТПП «Когалымнефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь».

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы доложены на научно-практических конференциях: «Новейшие методы увеличения нефтеотдачи пластов – теория и практика их применения» в г. Казани в 2001г., «Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа» в г. Томске в 2001г., «Проблемы нефтегазового комплекса и пути повышения его эффективности» в г. Когалыме в 2001г.; отраслевой научно-практической конференции молодых ученых и специалистов ОАО Сибирского научно-исследовательского института нефтяной промышленности «Проблемы развития нефтяной промышленности» в г. Тюмени в 2003г.; IV научно-практической конференции молодых ученых и специалистов нефтяной и геолого-разведочной отрасли ХМАО в г. Когалыме в 2003г.; IV научно-технической конференции молодых ученых и специалистов организаций группы «ЛУКОЙЛ» в г. Калининграде в 2004г.; 8, 9, и 10-й научно-практических конференциях «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО» в г. Ханты-Мансийске в 2004-2006 годах, научно-технических совещаниях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» в 2005-2007 годах.

Публикация результатов

По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, в том числе 14 статей, 2 из которых опубликованы в ведущих рецензируемых журналах в соответствии с требованиями ВАК Минобразования и науки РФ, и 2 патента РФ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, содержащего основные результаты и выводы, и списка литературы. Работа изложена на 147 страницах, содержит 35 таблиц и 35 рисунков. Список литературы включает 111 источников.

Автор выражает свою благодарность научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору Токареву М.А. и кандидату технических наук Галимову И.М. за научные консультации и ряд ценных идей, использованных в работе. Автор благодарит заведующего кафедрой Зейгмана Ю.В. и сотрудников кафедры разработки и эксплуатации нефтегазовых месторождений Уфимского государственного нефтяного технического университета за помощь и поддержку, оказанные в процессе подготовки диссертационной работы, а также сотрудников ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» за помощь в организации опытно-промышленных работ.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и определены задачи исследований.

В первой главе приведен опыт применения физико-химических методов увеличения нефтеотдачи на месторождениях Западной Сибири.

Одним из важнейших факторов повышения эффективности заводнения в условиях месторождений Западной Сибири является

ограничение движения воды путем увеличения фильтрационного сопротивления промытых высокопроницаемых интервалов. Для этой цели используют различные осадко- или гелеобразующие составы, которые снижают подвижность воды за счет заполнения порового пространства твердыми частицами осадка или геля.

Приведен обширный обзор публикаций и патентов по регулированию заводнения физико-химическими методами, рассмотрены особенности технологий и механизм их действия.

Значительный вклад в развитие данного направления внесли Алмаев Р.Х., Газизов А.Ш., Алтунина Л.К., Газизов А.А., Лозин Е.В., Хисамутдинов Н.И., Бабалян Г.А., Леви Б.И., Мирзанджанзаде А.Х., Мархасин И.Л., Телин А.Г., Булыгин Д.В., Сургучев М.Л., Жданов С.А., Ленченкова Л.Е., Горбунов А.Т., Крянев Д.Ю., Давликамов В.В., Швецов И.А., Кабо В.Я., Фахретдинов Р.Н., Юлбарисов Э.М., Грайфер В.И., Лисовский С.Н., Силин М.А., Абызбаев И.И., Юркив Н.И., Трофимов А.С. и многие другие.

На основе проведенного аналитического обзора и обобщения результатов внедрения технологий потокурегулирующего действия на месторождения Западной Сибири обозначены направления оптимизации их применения – использование комплексных технологий, адаптация композиций к условиям разработки месторождений Западной Сибири и специфики геологического строения, выбор наиболее эффективных и технологичных реагентов.

Во второй главе приведены общие сведения о месторождениях Когалымского региона. Изложены особенности геологического строения и разработки основных месторождений добывающего предприятия Когалымнефтегаз.

Продуктивные пласты месторождений Когалымского региона характеризуются развитой послойной неоднородностью, высокой

расчлененностью, многопластовостью, что обуславливает невысокие коэффициенты нефтеизвлечения.

Анализ данных по разрабатываемым месторождениям показал, что максимальный проектный коэффициент извлечения нефти (КИН) составляет 0,506. Средняя величина проектного КИН для всей группы анализируемых объектов составляет 0,441. Отбор от начальных извлекаемых запасов находится в пределах 60-70%, обводненность продукции в среднем составляет 73%. Более половины (52%) фонда добывающих скважин эксплуатируются с обводненностью продукции выше 80%.

Для рассматриваемых объектов характерна интенсивная выработка высокопродуктивных пропластков, что привело к опережающему обводнению большинства скважин при высоких остаточных запасах. Значительный рост обводнения наблюдается на участках с углубленной оптимизацией и массированным проведением гидроразрывов пластов. Как правило, процесс обводнения в таких скважинах обусловлен фильтрацией воды по наиболее проницаемым пропласткам.

Для полноценной выработки остаточных запасов и снижения темпов обводнения одним из первостепенных мероприятий является увеличение фильтрационных сопротивлений в промытой части разреза физико-химическими методами.

Применение физико-химических методов увеличения нефтеотдачи (МУН) на месторождениях Когалымского региона начато в 1995-1996 годах. Крупномасштабное использование технологий осуществлялось до 2003 года. В 2004 году объёмы по химическим технологиям значительно ограничены, а по некоторым объектам снижены практически до нуля, что негативно сказалось на состоянии разработки рассматриваемых объектов и привело к обвальному росту обводнённости по большинству эксплуатационных объектов. По итогам 2005 года темпы роста обводнения

на Тевлинско-Русскином, Повховском, Южно-Ягунском месторождениях составили 5-10%.

По результатам ретроспективного анализа показано, что наибольшие результаты потокорегулирующих композиций достигаются при цикличности повторения операций 1-2 раза в год и их непрерывности. Для проявления максимального эффекта требуется проведение нескольких операций, что связано с большой инерционностью фильтрационных потоков огромной массы воды в пласте. Также показано негативное влияние снижения объемов закачки химреагентов на состояние разработки и эффективность физико-химических МУН.

Рассмотрены виды технологического воздействия физико-химическими методами. Подчеркивается, что в подавляющем большинстве используются сшитые полимерные композиции на основе полиакриламида. Приведены данные по эффективности полимерных технологий в разрезе геолого-промысловой зональности. Результативность воздействия потокорегулирующими составами зависит как от геологического строения и состояния разработки участка, так и подбора оптимальной композиции.

Определены геолого-промысловые параметры эффективного применения потокоотклоняющих технологий на месторождениях Когалымского региона. Так установлено, что эффективность сшитых полимерных композиций снижается по мере ухудшения коллекторских свойств и в условиях высокого коэффициента приемистости и гидропроводности. Это связано с особенностями композиций сшитых составов, не обеспечивающих создание прочных экранов в промытых зонах высокой проницаемости, с одной стороны, и обладающих низкой селективностью, с другой стороны. В условиях высокой проводимости распространены композиции, содержащие глинопорошок и полиакриламид. Реализуемая дисперсная технология волокнисто-

дисперсный полимерный состав (ВДПС) имеет ряд технологических недостатков и, как следствие, низкую успешность работ.

В низкопроницаемых коллекторах возможно применение термотропного реагента РВ-ЗП-1 или ГАЛКА. Однако температурное ограничение более 75°C не позволяет использовать данный состав в случае охлаждения призабойной зоны скважины вследствие длительной закачки воды.

Таким образом, совершенствование составов для адресного воздействия остаётся на сегодняшний день актуальной задачей.

В третьей главе представлены результаты лабораторных исследований физико-химических и фильтрационных свойств реагента омыленной древесной смолы (ОДС).

Описан химический состав и механизм осадкообразования. Древесная смола является продуктом лесохимического производства и относится к экстрактивным веществам древесины. Реагент представляет собой смесь гетероорганических соединений. Нахождение их в водной фазе определяется щелочностью среды. Взаимодействие поливалентных металлов с гетероатомными соединениями основано на комплексообразовании и сольватации. Комплексообразование протекает по донорно-акцепторному механизму между анионными компонентами омыленной древесной смолы и катионами металлов.

В отличие от известных осадкообразующих реагентов (как правило, солей неорганической природы), функциональные группы компонентов ОДС обуславливают поверхностную активность на границе с нефтью и породой путем экстракции и адсорбции, что предотвращает размывание оторочки и способствует образованию более устойчивых и термостабильных конгломератов.

В результате взаимодействия в пластовых условиях растворов омыленной древесной смолы с солями поливалентных металлов, выполняющих функцию осаждающего агента, образуется объемный

гелеобразный осадок, который формирует экран на пути нагнетаемой в пласт воды.

Лабораторные исследования закономерности осадкообразования из растворов ОДС показали, что наибольший эффект осаждения дают соли трехвалентных металлов - хрома и алюминия. В то же время наиболее безопасным в применении, дешевым и достаточно эффективным осаждающим агентом является хлористый кальций. Определены оптимальные концентрационные соотношения реагентов. Оптимальная концентрация ОДС составляет 15-20%. При осаждении омыленной древесной смолы оксихлоридом алюминия (ОХА) оптимальная концентрация ОХА составляет 10%; при осаждении омыленной древесной смолы хлористым кальцием оптимальная концентрация CaCl_2 составляет 5-7%.

Исследована поверхностная и адсорбционная активность омыленной древесной смолы в пластовых условиях. Установлено, что максимальное снижение межфазного натяжения на границе водной и нефтяной фаз происходит в области критических концентраций мицеллообразования (ККМ) 0,5-1,0%. Введение омыленной древесной смолы в количестве 1% снижает межфазное натяжение на границе с нефтью в 15 раз. Омыленная древесная смола характеризуется высокой адсорбционной способностью на терригенных породах при концентрации реагента выше ККМ. Для реагента омыленной смолы характерна адсорбция из мицеллярных и разбавленных растворов с равновесной концентрацией ниже ККМ.

Оценка фильтрационных и нефтевытесняющих свойств реагента омыленной древесной смолы проводилась на натуральных кернях пласта БС₁₀ Дружного месторождения с применением реальных пластовых флюидов. Образцы керна представлены песчаниками мелко- и среднезернистыми с карбонатно-глинистым или глинистым цементом. Проницаемость керна в опытах составляла 0,04-0,650 мкм². Эксперименты

проводили при температуре 78°C. Подготовка модели нефти и пористой среды осуществлялась по стандартным методикам.

В ходе проведения опытов определяли следующие параметры: фазовую проницаемость воды при остаточной нефтенасыщенности до и после введения композиции, фактор сопротивления, остаточную и конечную нефтенасыщенность, коэффициент вытеснения нефти водой и прирост коэффициента вытеснения нефти.

Фильтрационные исследования показали, что использование омыленной древесной смолы в осадкообразующей технологии в условиях повышенных температур ограничивает подвижность вытесняющего агента в водонасыщенных кернах и увеличивает коэффициент нефтевытеснения в неоднородных моделях за счет довытеснения нефти из низкопроницаемого слоя. Наибольшая эффективность водоограничения достигается при циклической закачке реагентов. Проведенные исследования показали, что применение омыленных смол в качестве щелочного реагента позволяет увеличить прочность и стабильность образуемых в пористой среде осадков, что повышает эффективность воздействия осадкообразующей композиции.

В четвертой главе изложены результаты исследований по изучению свойств модифицированных сшитых полимерных составов. Для скважин с высоким поглощением воды предлагается модифицировать технологию сшитых полимерных составов введением наполнителей и изменением природы сшивки.

В лабораторных условиях исследована возможность получения дисперсных систем в высококонцентрированных растворах полиакриламида. Для этого изучено влияние наполнителей на гелеобразующую способность сшитых полимерных систем, седиментацию дисперсной фазы в растворе полимера; определено влияние наполнителя на вязкостные свойства композиций.

В результате экспериментов установлено, что агрегативно-устойчивые и прочные составы образуются в присутствии мела, гипса, диоксида кремния, угля. Ряд наполнителей (цеолит, активный ил, древесная мука) отрицательно влияют на образование полимерных гидрогелевых структур. Для исключения седиментации наполнителя во время закачки в скважину требуется применение реагентов с наименьшим удельным весом, размером частиц и минимальными адсорбционными взаимодействиями. Одним из таких реагентов является химически осажденный диоксид кремния. Введение наполнителя увеличивает вязкостные и прочностные свойства полимерных композиций.

В ходе исследований полиакриламида с внутримолекулярной сшивкой, достигаемой γ -облучением, установлено повышение реологических свойств по сравнению с сшитыми ионами хрома полимерными составами. Полиакриламид, подверженный γ -облучению, имеет ограниченную растворимость в воде, набухая до определенных размеров (3-5мм). При этом степень набухания определяется минерализацией воды. Максимальное набухание достигается в пресной воде (с минерализацией до 4г/дм^3). Отличительной особенностью водопоглощающих полимеров является их устойчивость к механической и термоокислительной деструкции.

Фильтрационные эксперименты на кернах показали, что композиции модифицированных полимерных составов фильтруются в поровое пространство керна и создают в пористой среде высокие фильтрационные сопротивления. Введение в водонасыщенный керн композиций с диоксидом кремния обеспечивает фактор сопротивления 150-300ед. Обработка водонасыщенных кернов водонабухающим полимером ВНП-415 снижает фазовую проницаемость в 200 раз. В высокопроницаемых кернах, где существующие полимерные технологии (СПС, ГОС, ВУС) малоэффективны, водонабухающий полимер ВНП-415 и сшитые составы с наполнителем способны создавать и выдерживать более высокие

фильтрационные сопротивления вытесняющего агента по сравнению с базовой технологией СПС.

В пятой главе приведены результаты реализации разработанных технологий омыленной древесной смолы и сшитых полимерных составов с наполнителем в промышленных условиях.

Объекты внедрения пласты горизонта БС₁₀ залегают на глубинах 2330-2450м и характеризуются следующими геолого-физическими свойствами – проницаемость 0,134-0,173мкм², пористость 19-22%; высокой расчлененностью до 19, высокой пластовой температурой 70-80°С. Нефти маловязкие 1,5-1,8 мПас, плотность пластовой воды 1,015г/см³.

Технологию на основе омыленной древесной смолы внедряли на Дружном месторождении путем обработки четырех нагнетательных скважин 2273, 2200, 2202, 2275. На момент опытно-промышленных испытаний технологии ОДС водонефтяной фактор по участку составил 2,1; текущая нефтеотдача находится на уровне 0,372 д.е., степень выработки запасов 88%; обводненность добываемой продукции по участку составляла 93%.

Реализация разработанной технологии осуществлялась по схеме последовательно-чередующейся циклической закачки. Закачка производится через насосно-компрессорные трубы (НКТ). При осуществлении технологического процесса используется стандартное оборудование и техника. Технологию осуществляют следующим образом:

- Готовят рабочие растворы реагентов ОДС и ОХА растворением товарной формы водой при перемешивании путем циркуляции до получения однородного раствора.

- По мере приготовления растворов производят закачку рабочих агентов в скважину в следующей последовательности:

цикл I : ОДС – вода – ОХА – вода ;

цикл II : ОДС – вода – ОХА – вода ;

цикл III : ОДС – вода - ОХА – вода ;

цикл IV : ОДС – вода.

Отношение объемов оторочек $V_{\text{ОДС}} / V_{\text{ОХА}} = 2 / 1$, объем разделительной оторочки воды равен объему НКТ.

Общий объем закачанных реагентов по скважинам составил 170-240м³. В процессе закачки реагентов в нагнетательные скважины отмечалось снижение приёмистости и повышение давления нагнетания. В результате проведенных обработок по данным геофизических исследований во всех обработанных скважинах наблюдается изменение интенсивности и мощности принимающих интервалов.

Проведенный анализ работы всех добывающих скважин опытного участка с использованием динамики добычи нефти и обводненности, а также кривых падения дебита показал, что в результате применения осадкогелеобразующей технологии произошла стабилизация обводненности и увеличение дебита нефти на 16 из 28 добывающих скважин участка.

Технологическая эффективность от применения осадкогелеобразующей технологии с использованием омыленной смолы, рассчитанная по методу характеристик вытеснения в соответствии с РД 153-39.1-004-96, оценивается в количестве 13045т дополнительно добытой нефти. Удельный технологический эффект на 1 обработку составил 3261т.

Технологию сшитых полимерных составов с наполнителем апробировали на Тевлинско-Русскинском месторождении. Для внедрения технологии были специально подобраны скважины с высокой производительностью. На момент опытно-промысловых испытаний технологии сшитого полимерного состава с наполнителем водонефтяной фактор по участку составил 0,54, текущая нефтеотдача - 0,296 д.е., степень выработки запасов - 62,6%, обводненность добываемой продукции по участку составляла 57%.

Промышленная реализация технологии предусматривает закачку в пласт через НКТ нагнетательной скважины композиции, содержащей полимер акриламида, сшиватель и наполнитель. В качестве сшивателя использовали ацетат хрома, в качестве наполнителя - химически осажденный мел. Объем закачанных реагентов составил 850-950м³ на одну скважинно-операцию. В результате воздействия производительность обработанных скважин снизилась на 23-30%, что свидетельствует о повышении фильтрационного сопротивления в водопромытых каналах.

После воздействия сшитым составом с наполнителем обводненность продукции окружающих добывающих скважин в целом по участку снизилась с 61 до 58%, а суммарная добыча нефти возросла. В отдельные месяцы по некоторым скважинам первого ряда обводненность продукции уменьшилась на 7-15%.

Технологическая эффективность от применения полимерного состава с наполнителем, рассчитанная по характеристикам вытеснения, оценивается в количестве 14 400 тонн дополнительно добытой нефти, продолжительность воздействия составляет 14-16 месяцев.

С 2007 года на Тевлинско-Русскинском месторождении начато промышленное внедрение технологии сшитых полимерных составов с наполнителем, что связано с необходимостью создания более прочных экранов на пути нагнетаемой воды в связи с массовыми прорывами по первым рядам добывающих скважин и их резким обводнением. В 2007 году проведено 45 обработок по технологии СПС с наполнителем.

По фонду обработанных скважин построены регрессионные модели, характеризующие влияние различных факторов на технологическую эффективность обработки в виде дополнительно добытой нефти. В качестве регрессоров были выбраны следующие параметры: объем закачки, эффективная работающая толщина, приемистость по ГИС, устьевое давление закачки, удельный коэффициент приемистости на метр работающей толщины, коэффициент приемистости, отношение

эффективной толщины к общей толщине пласта, коэффициент пористости, коэффициент проницаемости, количество прослоев, отношение максимальной толщины к минимальной толщине пласта, отношение приемистости скважины к эффективной толщине пласта.

Математическое выражение полученной множественной регрессии имеет следующий вид:

$$Q_{\text{доп}} = - 4,04718 * V_{\text{зак}} - 35,2375 * H_{\text{пл}} - 140,439 * H_{\text{эфф}} + 3,029157 * Q_{\text{прием}} - \\ - 8,12954 * P_{\text{зак.у}} - 5,62324 * K_{\text{прием.уд}} - 1331,35 * K_{\text{прием}} + 1599,828 * H_{\text{эфф}} / H_{\text{пл}} + \\ + 490,0697 * K_{\text{пор}} - 6,33371 * K_{\text{пр.ср}} + 22,41635 * N - 675,787 * H_{\text{max}} / H_{\text{min}} - \\ - 2,12056 * Q_{\text{прием}} / H_{\text{эфф}} - 5101,83 ,$$

По результатам проведенного статистического анализа на увеличение технологической эффективности проводимых обработок по технологии сшитых полимерных составов с наполнителем влияют приемистость скважины, значение отношения эффективной толщины к общей толщине пласта, значение коэффициента пористости и количество прослоев в пласте.

Использование полученной зависимости позволяет прогнозировать дополнительную добычу при определенном варьировании технологических показателей и ее можно применять для оценки эффективности воздействия на пласт технологией сшитых полимерных составов с наполнителем. Полученная зависимость при сходных геолого-технических параметрах позволяет оптимизировать выбор скважины для проведения обработки композицией сшитых полимерных составов с наполнителем.

Основные результаты и выводы

Выполненный комплекс лабораторных и промысловых исследований позволяет сделать следующие основные выводы и рекомендации.

1. На основании ретроспективного анализа установлено, что наибольшие результаты потокорегулирующего воздействия достигаются при цикличности повторения операций и их непрерывности. Показано негативное влияние снижения объемов закачки химреагентов на состояние разработки и эффективность физико-химических МУН. Определены геолого-промысловые параметры эффективного применения потокоотклоняющих технологий. Установлено, что эффективность сшитых полимерных композиций снижается по мере ухудшения коллекторских свойств и в условиях высокого коэффициента приемистости и гидропроводности. В условиях высокого коэффициента приемистости и гидропроводности эффективны кольматирующие составы, технологическое воздействие в которых обеспечивается использованием твердой дисперсной фазы. В низкопроницаемых коллекторах предпочтительнее применение маловязких термотропных составов.

2. Разработана осадкообразующая технология с применением омыленной древесной смолы (ОДС) в качестве щелочного реагента для условий неоднородных коллекторов с повышенной температурой. Это обосновано лабораторными экспериментами по изучению закономерностей осадкообразования из растворов омыленной древесной смолы соединениями поливалентных металлов, межфазной активности растворов ОДС на границе с нефтью, адсорбции компонентов ОДС на поверхности породы и фильтрационными исследованиями на натуральных кернах. В результате физического моделирования установлена результативность воздействия технологии в неоднородной (двуслойной) модели путем снижения подвижности вытесняющего агента в высокопроницаемом керне и увеличения коэффициента вытеснения на 13% за счет довытеснения нефти из низкопроницаемого керна. Наибольшая эффективность водоограничения достигается при циклической закачке реагентов.

3. Эффективность применения сшитых полимерных составов может быть повышена за счет введения в них различных наполнителей. Разработаны методические основы по подбору наполнителей в сшитых полимерных составах. Сформулированы основные требования к наполнителю по следующим параметрам – инертность по отношению к полиакриламиду и ионам хрома, поддержание нейтральности среды, тонкодисперсность, агрегативная стабильность в полимерном растворе, минимальная флокуляция ПАА, возможность разрушения.

Для скважин с высоким поглощением воды в результате лабораторных исследований усовершенствованы технологии сшитых полимерных составов путем введения наполнителей, таких как мел, гипс, диоксид кремния, уголь, и изменения природы сшивки полиакриламида с внешней на внутреннюю, достигаемой γ -облучением. В качестве полиакриламида с внутренней сшивкой предлагается реагент АК 639, позволяющий увеличить фактор сопротивления после закачки предложенных полимерных составов в 5-10 раз по сравнению с базовым полимерным составом. Введение наполнителей повышает фактор сопротивления в 15-20 раз.

4. Опытнo-промышленные испытания осадкообразующей технологии с применением щелочного реагента омыленной древесной смолы на Дружном месторождении показали ее высокую эффективность. В результате внедрения технологии предприятием ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» дополнительно получено 13045 т нефти, удельный технологический эффект составил 3261 т на одну скважинно-операцию.

5. Результаты исследований сшитых полимерных составов, представленные в диссертационной работе, используются для оптимизации полимерных композиций, содержащих наполнитель. В 2007 году произведено 45 обработок по технологии сшитых полимерных составов с наполнителем на Тевлинско-Русскинском месторождении. По результатам проведения обработок выполнен статистический анализ

влияния геолого-промысловых факторов на эффективность воздействия. Полученная регрессионная модель позволяет прогнозировать эффективность воздействия технологией сшитых полимерных составов с наполнителем с целью оптимизации выбора скважины для проведения обработки.

**Основные положения диссертационной работы изложены
в следующих публикациях:**

1. Черепанова Н.А. Разработка нового осадкогелеобразующего состава на основе сырья лесохимии для повышения нефтеотдачи пластов/ Н.А.Черепанова и др.// Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа: Материалы 2-й научно-практической конференции. – Томск: STT, 2001. – С.25-27.
2. Черепанова Н.А. Реология и физико-химические свойства сшитых полимерных гидрогелей на основе ПАА различных марок/ Н.А.Черепанова, И.М. Галимов // Проблемы нефтегазового комплекса Западной Сибири и пути повышения его эффективности: Материалы научно-практической конференции. – Когалым: ООО «ТРИО-Экспресс», 2001. – С.377-380.
3. Черепанова Н.А. Реология и фильтрационные свойства сшитых полимерных гидрогелей/ Н.А.Черепанова, И.М. Галимов// Интервал. – 2002. - №1. – С.40-43.
4. Черепанова Н.А. Разработка и внедрение осадкогелеобразующего состава на основе омыленной древесной смолы для повышения нефтеотдачи пластов/ Н.А. Черепанова и др. // Повышение нефтеотдачи пластов: труды международного технологического симпозиума/ Российская академия государственной службы при президенте РФ. - М.: Институт нефтегазового бизнеса, 2002. – С.174.
5. Черепанова Н.А. Сравнительная оценка эффективности технологий ПНП на установках физического моделирования/

Н.А.Черепанова и др.// Разработка и совершенствование методов увеличения нефтеотдачи трудноизвлекаемых запасов. Проблемы и решения: сборник трудов. – Уфа: Изд-во «Монография», 2003. – Вып. IV. – С.117-123.

6. Черепанова Н.А. Новая осадкообразующая технология повышения нефтеотдачи пластов/ Н.А. Черепанова и др.// Повышение нефтеотдачи пластов: труды 12-го Европейского симпозиума. – Казань: ООО «СТАР», 2003. – С.192-195.

7. Cherepanova N. New Sludge and Gel-Forming Technology Applied for Improvement of Reservoir Recovery Factor/ N. Cherepanova et al.// Progress in Mining and Oilfield Chemistry. – Budapest, 2003. - V. 5. – P. 253-258.

8. Пат. 2217583 РФ. Способ разработки обводненной нефтяной залежи/ И.М. Галимов, Н.А. Черепанова, В.Н. Сергиенко и др. - № 2002119970; заявл. 22.07.02; опубл. 27.11.03, Бюл. № 33.

9. Черепанова Н.А. Разработка осадкообразующей композиции для повышения нефтеотдачи пластов/ Н.А. Черепанова, И.М. Галимов // Материалы 4-й научно-практической конференции молодых ученых и специалистов нефтяной и геолого-разведочной отрасли ХМАО. – Уфа: КогалымНИПИнефть, 2003. – С. 87-92.

10. Черепанова Н.А. О возможности применения нефтесодержащих составов для повышения нефтеотдачи пластов, находящихся на поздней стадии разработки/ Н.А. Черепанова и др.// Новые технологии разработки нефтегазовых месторождений: труды международного технологического симпозиума/ Российская академия государственной службы при президенте РФ.- М.: Институт нефтегазового бизнеса, 2004. – С. 172-177.

11. Черепанова Н.А. Возможность применения нефтесодержащих составов для повышения нефтеотдачи пластов, находящихся на поздней стадии разработки/ Н.А. Черепанова,

И.М.Галимов // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО: материалы 8-й научно-практической конференции. - Ханты-Мансийск: Издательский дом «ИздатНаукаСервис», 2005. – С. 462-468.

12. Галимов И.М. Технология изоляции водопритоков с применением водонабухающего полимера для условий месторождений Западной Сибири / И.М. Галимов, Н.А. Черепанова, Б.М. Курочкин, О.А.Залевский // Бурение и нефть. – 2005. - № 2. – С. 34-36.

13. Галимов И.М. Лабораторные исследования по изоляции водопритоков с применением водонабухающего полимера для условий месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»/ И.М. Галимов, Н.А.Черепанова, Б.М. Курочкин, О.А. Залевский // Новые технологии разработки и повышения нефтеотдачи: труды IV международного технологического симпозиума/ Российская академия государственной службы при президенте РФ. - М.: Институт нефтегазового бизнеса, 2005. – С. 509-513.

14. Пат. 2256785 РФ. Способ разработки неоднородного пласта/ Н.А. Черепанова, И.М. Галимов, А.Н. Герасимов, П.Г. Морозов. - №2004115464; заявл. 21.05.04; опубл. 20.07.05, Бюл. № 20.

15. Галимов И.М. Новые составы на базе сырья лесохимических производств для увеличения нефтеотдачи пластов/ И.М. Галимов, В.Н.Сергиенко, Р.Г Ширгазин, Н.А. Черепанова // Проблемы освоения трудноизвлекаемых запасов углеводородов: научные труды VI Конгресса нефтегазопромышленников России. - Уфа: Монография, 2005. – С.192-196.

16. Черепанова Н.А. Проведение изоляционных работ с применением водонабухающего полимера (ВНП) на месторождениях Когалымского региона/ Н.А Черепанова и др. // Нефтепромысловое дело.— 2006. – № 2. – С. 41-45.