

## АННОТАЦИЯ

диссертационной работы, представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по ОП8D07202 – «Нефтяная инженерия» Абилевой СаулеЖалгасбайкызы на тему: «Совершенствование химических и тепловых методов увеличения добычи нефти из неоднородных пластов».

### Введение

В современных условиях нефтедобычи значительная часть разрабатываемых месторождений характеризуется высокой неоднородностью пластов, сложными фильтрационно-емкостными свойствами и наличием трудноизвлекаемых запасов нефти. Эти факторы существенно осложняют процесс эксплуатации месторождений и требуют применения научно обоснованных решений для повышения эффективности добычи.

Традиционные методы увеличения нефтеотдачи, такие как закачка воды, газа или термохимическое воздействие, зачастую демонстрируют низкую эффективность в условиях пластов с высокой неоднородностью и сложным составом нефти. В связи с этим возникает необходимость разработки новых технологий, обеспечивающих перераспределение потоков, активизацию застойных зон и повышение коэффициента извлечения нефти. Особую актуальность приобретает применение полимерных и гелеполимерных композиций, комбинированных технологий термохимического воздействия, а также методов, позволяющих учитывать реологические особенности трудноизвлекаемых нефтей.

В данной работе изучен метод повышения нефтеотдачи и снижения обводнённости скважин посредством гелеполимерной обработки. Разработаны рецептуры гелеполимерных композиций с высокой вязкостью, а также изучена их термостабильность в течение 45 дней. Разработаны составы для разрушения гелей. Однако данный метод менее эффективен по сравнению с полимерным заводнением, которое охватывает большие объёмы пласта, тогда как гелеполимерные обработки оказывают точечное воздействие на отдельные скважины. Кроме того, при использовании полимерных гелей в добывающих скважинах существует риск снижения проницаемости по нефти и потери дебита скважины.

В связи с этим третья глава диссертации посвящена изучению фильтрации полимерных растворов и уникальных нефтей с рекордно высоким содержанием смолы в пористой среде. Кроме того, в ней представлены результаты численного моделирования полномасштабного полимерного заводнения в пределах элемента разработки одного из месторождений Казахстана.

В работе сказано, что эффективность полимерного заводнения ограничена в слоистых пластах с непроницаемыми перемычками между нефтенасыщенными слоями. В таких условиях снижение коэффициента подвижности менее 1 не приводит к дополнительному увеличению охвата пласта воздействием. Поэтому в третьей главе рассматривается модель

неоднородного слоистого пласта с непроницаемым пропластком, для которого разработан метод комбинированного теплового воздействия с закачкой щёлочи.

#### **Актуальность работы.**

Современный этап развития нефтегазовой промышленности характеризуется ростом доли трудноизвлекаемых запасов углеводородов, приуроченных к неоднородным пластам. Запасы высоковязкой нефти и битумов оцениваются в 790 млрд – 1 трлн т, что в 5–6 раз превышает остаточные извлекаемые запасы легких нефтей (162 млрд т). Для их вовлечения в разработку требуются новые технологии увеличения нефтеотдачи.

Добыча тяжелых нефтей осложнена не только малой подвижностью запасов, но часто и высокой степенью неоднородности горных пород и их сложными фильтрационно-емкостными свойствами. Эти факторы существенно осложняют процесс эксплуатации месторождений и требуют совершенствования существующих химических и тепловых методов увеличения добычи нефтей. К числу таких методов относится гелеполимерная обработка, полимерное заводнение и тепловые методы. Особое внимание уделяется внутрислоистовому горению и другим тепловым методам.

Все перечисленные методы на сегодняшний день нашли широкое применение, однако они обладают недостатками, которые ограничивают их эффективность. В особенности в неоднородных пластах данные методы не позволяют добиться значительного увеличения охвата коллектора воздействием. Очевидно, что актуальной научно-технической задачей является – усовершенствовать химические и тепловые методы увеличения добычи нефти, чтобы повысить их эффективность в неоднородных пластах.

Данная диссертационная работа посвящена решению этой задачи и имеет важное научно-техническое, а также экономическое значение для нефтедобычи Казахстана, что определяет актуальность темы исследования.

**Обоснование необходимости проведения данной научно-исследовательской работы по теме.** Многие месторождения Казахстана характеризуются сложными геолого-физическими условиями, а значительная часть добываемой нефти приходится на истощенные залежи. Внедрение эффективных технологий воздействия на пласт является ключевым фактором устойчивой добычи. Среди наиболее перспективных методов – термические и химические воздействия, а также их комбинирование.

**Цель работы:** Целью данной диссертационной работы является разработка технологических решений для совершенствования химических и тепловых методов увеличения добычи трудноизвлекаемых нефтей из неоднородных пластов.

#### **Научная новизна.**

-Для гелеполимерной композиции [ЧППА с молекулярной массой 6-7 млн Да и степенью гидролиза 5% / ацетат хрома] были получены зависимости динамической вязкости растворов и полимерных гелей при

температуре 39 °С в зависимости от концентрации химикатов и скорости сдвига. При этом показано, что увеличение концентрации полимера с 0,5% до 2,5% приводит к увеличению динамической вязкости с 5486 сП до 267505 сП при скорости сдвига 0,6 с<sup>-1</sup>, т.е. увеличение концентрации полимера в 5 раз приводит к увеличению вязкости в 48 раз.

-Впервые для уникальной неньютоновской нефти с очень большим содержанием смол (73%), а также большим содержанием серы (9%), асфальтенов (5%), и парафина (4.5%) были получены зависимости скорости фильтрации от градиентов давления в широком диапазоне температур, что позволило определить критические градиенты давления сдвига. Это позволяет выявить застойные зоны пласта, в которых не проходит фильтрация нефти из-за недостаточно высоких градиентов давления.

-Для высокосмолистой (22%) и парафинистой (5.2%) нефти месторождения X впервые были получены зависимости КВН от концентрации полимера и объема оторочки полимерного раствора. В результате было показано, что оптимальные концентрация полимера и объем оторочки равны 0.4% и 70% от порового объема нефти, соответственно.

-Разработана и экспериментально обоснована комбинированная технология воздействия на слоисто-неоднородные пласты, включающая закачку горячей воды, воздуха, оторочки щёлочис концентрацией 3-5%, и водо-воздушной смеси. В результате было показано перераспределение потоков за счет образования высоковязкой эмульсии после закачки щёлочи в высокопроницаемый слой. Коэффициент вытеснения нефти из малопроницаемого слоя был увеличен с 54 до 64%.

**Объект исследования.** Объектом исследования является неоднородные пласты с трудноизвлекаемыми запасами нефти.

**Предмет исследования.** Предметом исследования является процесс вытеснения нефтей из неоднородно-слоистых пластов растворами химических и тепловых агентов.

**В работе для достижения указанной цели поставлены и решены следующие задачи:**

- лабораторное тестирование составов гелеполимерных композиций;
- вытеснение высоковязкой нефти растворами полимеров из насыпных моделей;
- численное моделирование полимерного заводнения;
- разработка комбинированного метода воздействия на базе внутрислоистого парогенерирования и закачки раствора щелочи для вытеснения нефти слоисто-неоднородных пластов;

**Методы решения поставленных задач.**

Поставленные задачи решались путем проведения исследований на экспериментальных и гидродинамических моделях, а также путём осуществления опытно-промышленных исследований.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

-Закономерности гелеобразования, термостабильности и разрушения гелеполимерных композиций. Выявлено, что для формирования прочных

гелей (с вязкостью  $>200\ 000$  сП) требуется концентрация полимеров  $\geq 2,5\%$ , что приводит к высокой вязкости растворов ( $>400$  сП) и риску неконтролируемого ГРП. Это обосновывает необходимость разработки альтернативных методов повышения добычи нефти и снижения обводнённости без сшивающих агентов для повышения нефтеотдачи.

-Экспериментальное исследование по определению критического градиента давления сдвига в пористой среде для уникальной неньютоновской нефти с очень большим содержанием смол (73%) позволило выявить застойные зоны пласта. Фильтрационные тесты с полимерными растворами показали, что оптимальный объём оторочки раствора составляет 70% порового объёма нефти в пласте. Численное моделирование показало, что полномасштабное полимерное заводнение приводит к увеличению добычи нефти на 15% и снижению добычи воды на 26%, в то время как локальное полимерное заводнение на двух скважинах неэффективно.

-Комбинированная технология теплового воздействия с закачкой щелочных оторочек (30% порового объёма) увеличивает охват пласта тепловым агентом и повышает средний коэффициент извлечения нефти с 65% до 76%. Введение щелочного раствора приводит к росту перепада давления в высокопроницаемом слое в 5,7 раза, что активизирует вытеснение нефти из малопроницаемых зон, где температура достигает  $360^{\circ}\text{C}$ , тогда как в высокопроницаемом слое она составляет  $210^{\circ}\text{C}$ .

**Практическая и научная значимость работы** заключается в исследовании процессов гелеобразования и фильтрации аномальных нефтей, выявлении критических градиентов давления сдвига, а также в разработке и экспериментальном обосновании новых технологий воздействия на пласт. Впервые получены зависимости динамической вязкости гелеполимерных растворов, определены оптимальные параметры полимерного заводнения и разработана комбинированная методика теплового воздействия с закачкой щелочных растворов.

Результаты проведенных исследований обладают высокой практической значимостью для нефтегазовой отрасли, поскольку позволяют повысить эффективность разработки месторождений со сложными геологическими структурами. Разработанные методы и технологии могут быть непосредственно внедрены в производственную деятельность нефтедобывающих предприятий для оптимизации процессов извлечения нефти, сокращения обводнённости и повышения коэффициента нефтеотдачи.

Таким образом, результаты работы могут быть применены в нефтегазовых компаниях для совершенствования технологии химических и тепловых методов увеличения добычи нефти из неоднородных пластов.

#### **Апробация работы.**

Результаты диссертационной работы прошли апробацию на нескольких международных научных конференциях: Алматы 2020, 2021, 2022, Тюмень 2022.

#### **Публикации**

Основные положения, результаты и выводы диссертации в достаточном объеме представлены в 18 научных работах, в частности, отражены: 2 - в международном рецензируемом научном журнале, входящий в БД Scopus, 6 - в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК, 4 - в других зарубежных научных журналах и изданиях, 5 - в сборниках международных научно-практических конференциях, 1 - патент

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 111 наименований. Содержание работы изложено на 118 страницах машинописного текста, 51 рисунках и 17 таблицах.

### **Основное содержание работы.**

- 1. Разработаны составы гелеполимерных композиций для применения в промышленных условиях**
  - Разработаны зависимости динамической вязкости гелеполимерных растворов, которые позволяют прогнозировать их поведение в пластовых условиях.
  - Получены зависимости вязкости полимерных гелей от концентрации химикатов, что позволяет прогнозировать поведение гелей в пластовых условиях.
  - Разработаны составы деструкторов для ликвидации негативных последствий гелеполимерных обработок в добывающих скважинах.
- 2. Определены технические параметры для ГТМ с применением технологии полимерного заводнения**
  - Установлены зависимости коэффициента вытеснения нефти (КВН) от концентрации полимерного раствора и объема оторочки, что позволяет рационально подбирать параметры технологии для конкретных геологических условий.
  - Моделирование показало, что полномасштабное полимерное заводнение увеличивает добычу нефти на 15% и снижает добычу воды на 26%, в отличие от локального применения на отдельных скважинах.
  - Определен оптимальный объем оторочки полимерного раствора (70% от порового объема нефти), что позволяет снизить неопределенность при проектировании ГТМ.
  - Установлены критические градиенты давления сдвига для нефти с рекордно высоким содержанием смол (73%), серы (9%), асфальтенов (5%) и парафина (4,5%), что позволяет идентифицировать зоны, в которых фильтрация нефти не происходит из-за недостаточных градиентов давления.
  - Разработанные методики могут использоваться при моделировании процессов добычи нефти для улучшения

проектирования систем заводнения и снижения остаточной нефтеотдачи.

### **3. Разработан термо-химический метода увеличения охвата пласта воздействием**

- Разработана комбинированная технология воздействия, включающая закачку горячей воды, воздуха, щелочных растворов и водо-воздушной смеси, что позволяет увеличить коэффициент извлечения нефти с 65% до 76%.
- Показано, что закачка щелочного раствора способствует перераспределению потоков за счет образования высоковязкой эмульсии. Это позволяет активировать вытеснение нефти из малопроницаемых зон и повысить эффективность теплового воздействия.
- Внедрение данного метода позволит повысить температуру в малопроницаемых пластах по сравнению с высокопроницаемыми, что обеспечит более эффективное вытеснение нефти из неоднородного слоистого пласта с непроницаемыми пропластками. Достичь такого эффекта затруднительно при применении гелеполимерных обработок и полимерного заводнения.

Таким образом, в данной диссертационной работе были разработаны технологические решения для проблем, которые возникают при проведении геолого-технических мероприятий.

Исследования в данной работе выполнялись в ходе проекта Грантового Финансирования Министерства Науки и Высшего Образования РК ИРНАР22683343 «Совершенствование методов принятия решений при выборе геолого-технических мероприятий на месторождении со сложными геологическими структурами» и АР19674847 «Исследования механизма возникновения водопритокков и закономерностей влияния геолого-технологических факторов на показатели изоляционных работ »)