

**Азербайджанский Государственный Университет Нефти и
Промышленности**

На правах рукописи

Сулейманов Ариф Алекпер оглы

**ДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ
НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ**

Специальность 2526.01 – «Технология разработки морских
месторождений полезных ископаемых»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора
наук по технике

Баку - 2016

Работа выполнена в НИИ «Геотехнологические Проблемы Нефти, Газа и Химия».

Научные консультанты:

академик НАН Азербайджанской Республики, доктор технических наук, профессор
А.Х.Мирзаджанзаде;
чл.-корр. НАН Азербайджанской Республики, доктор технических наук, профессор
Т.Ш.Салаватов.

Официальные оппоненты:

д.т.н. А.А.Ширин-заде
д.т.н. А.С.Стреков
д.т.н. Э.Х.Азимов

Ведущее предприятие: НИПИ «Нефтегаз» ГНКАР

Защита состоится «28» апреля 2016 г. в 11⁰⁰ часов на заседании Диссертационного Совета Р/Д.02.141 при Азербайджанском Государственном Университете Нефти и Промышленности по адресу: Баку, пр.Азадлыг, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности.

Автореферат разослан «28» марта 2016 г.

Отзывы в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по указанному адресу Ученому Секретарю Диссертационного Совета.

Ученый секретарь
Диссертационного Совета Р/Д.02.141,
д.т.н., профессор

А.М.Алиев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Вопросы повышения эффективности разработки месторождений углеводородов, не теряют своей актуальности вне зависимости от колебаний мировых цен на энергоносители. Решение этих задач особенно важно в условиях увеличения финансовых и материальных затрат на добычу углеводородов, связанных с усложнением решаемых технических проблем: увеличением глубины залегания пластов, сложными природными и климатическими условиями (глубоководные морские месторождения, арктические зоны с тяжелой ледовой обстановкой и т.д.), ужесточением требований экологической безопасности и др. Повышение технико-экономических показателей использования природных ресурсов, соответствующих современным требованиям в области рациональной разработки нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений, особенно в условиях морской нефтегазодобычи, требует внедрения в практику новых ресурсо- и энергосберегающих технологий.

Одним из перспективных путей повышения эффективности разработки месторождений углеводородов является регулирование неравновесными эффектами в процессе фазовых превращений пластовых флюидов. Как известно, фазовые превращения пластовых флюидов оказывают существенное влияние на фильтрационные процессы в пористой среде при разработке нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений. Необходимо отметить, что свойства газожидкостных систем (реологические, релаксационные и фильтрационные) меняются и при давлениях превышающих давление фазового перехода (давление насыщения, давление начала конденсации), что связано с процессами формирования и развития зародышей новой фазы.

Но до сих пор эти явления практически не учитываются в практических инженерных расчетах при моделировании, проектировании и разработке месторождений углеводородов.

Процессы, происходящие в залежах при разработке нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений, отличаются многообразием физико-геологических, гидродинамических, термодинамических факторов. При этом диагностирование текущего

состояния пластовой системы обычно осуществляется по результатам гидродинамических и геофизических исследований. Однако, в условиях морской разработки месторождений углеводородов, ограниченность проводимых исследований и недостаточная геолого-промысловая информация не позволяют получать однозначные и определенные ответы на вопросы, связанные с динамикой гидродинамических потоков. По этой причине большое значение имеют косвенные методы анализа промысловых данных, позволяющие с достаточной степенью надежности осуществлять диагностирование текущего состояния разработки как по отдельным объектам, так и в целом по залежи.

Другим важным аспектом решения проблем, связанных с повышением эффективности разработки и доработки месторождений, снижения потерь конденсата при снижении давления ниже давления начала конденсации, является увеличение углеводородоотдачи путем заводнения газоконденсатных пластов на поздней стадии эксплуатации.

Поэтому важным является создание комплекса принципов и методологических подходов к разработке газоконденсатных залежей на поздней стадии эксплуатации.

Таким образом, динамический подход к принятию своевременных и обоснованных решений по регулированию комплекса технологических неравновесных процессов для повышения эффективности разработки месторождений углеводородов является актуальной задачей.

Цель работы. Повышение эффективности разработки месторождений углеводородов на основе регулирования неравновесных процессов нефтегазодобычи.

Основные задачи исследования:

1. Обоснование механизма образования зародышей новой фазы в газоконденсатных системах при давлениях выше давления начала конденсации.

2. Экспериментальные исследования влияния неравновесных эффектов, связанных с процессом образования зародышей новой фазы в газоконденсатных системах при давлениях выше давления начала конденсации, на фильтрационные характеристики пористой среды.

3. Создание методики диагностирования процесса образования

микророзышей конденсата в пористой среде на основе анализа данных нормальной эксплуатации скважин.

4. Разработка методических основ определения реофизических характеристик по данным гидродинамических исследований при нестационарной фильтрации газоконденсатных систем.

5. Разработка метода расчета фрактальной размерности временных рядов.

6. Создание критерия для диагностирования состояния процессов с близкими фрактальными размерностями.

7. Разработка непараметрического критерия для оценки изменения состояния динамических процессов, характеризующихся колебаниями, не спрямляемыми на фрактальной плоскости.

8. Создание непараметрических критериев оценки состояния динамических процессов на основе диагностирования изменения характера распределения колебаний технологических параметров.

9. Повышение эффективности разработки газоконденсатных залежей на поздней стадии эксплуатации на основе водного воздействия.

Научная новизна.

1. Впервые установлен эффект уменьшения плотности газоконденсатной смеси при давлениях выше давления начала конденсации, позволяющий объяснить многие неравновесные процессы связанные с формированием и развитием розышей новой фазы.

2. Предложен механизм формирования и развития микророзышей новой фазы в газоконденсатных системах в предпереходной зоне и показано влияние неравновесных эффектов, связанных с процессом образования розышей новой фазы в газоконденсатных системах при давлениях выше давления начала конденсации, на фильтрационные характеристики пористой среды.

3. Показано влияние параметров газоконденсатной смеси на процесс образования микророзышей новой фазы в газоконденсатных системах.

4. Создана методика диагностирования неравновесных процессов в пористой среде на основе анализа данных нормальной эксплуатации скважин.

5. Разработаны методические основы определения реофизических характеристик газоконденсатных систем по данным

гидродинамических исследований при нестационарной фильтрации.

6. Впервые разработаны метод и алгоритм расчета фрактальной размерности временных рядов и создан критерий для диагностирования состояния процессов с близкими фрактальными размерностями и непараметрический критерий для оценки изменения состояния динамических процессов, характеризующихся колебаниями, не спрямляемыми на фрактальной плоскости.

7. Созданы непараметрические критерии оценки состояния динамических процессов на основе диагностирования изменения характера распределения колебаний основных технологических показателей.

8. Разработаны методологические основы повышения эффективности разработки газоконденсатных залежей на поздней стадии эксплуатации на основе водного воздействия.

Защищаемые положения.

1. Влияние неравновесных эффектов, связанных с процессом образования зародышей новой фазы в газоконденсатных системах при давлениях выше давления начала конденсации, на фильтрационные характеристики пористой среды

2. Методика диагностирования процесса образования микрзародышей конденсата в пористой среде на основе анализа данных нормальной эксплуатации скважин.

3. Методические основы определения реофизических характеристик газоконденсатных систем по данным гидродинамических исследований при нестационарной фильтрации.

4. Метод расчета фрактальной размерности временных рядов и диагностирования состояния процессов с близкими фрактальными размерностями.

5. Методика оценки состояния динамических процессов на основе диагностирования изменения характера распределения колебаний основных технологических показателей.

6. Принципы и методологические основы повышения эффективности разработки газоконденсатных залежей на поздней стадии эксплуатации на основе водного воздействия.

Методы решения поставленных задач. Поставленные в диссертации задачи решались путем проведения лабораторных экспериментальных исследований, математической обработки результатов и анализа полученных данных с применением

компьютерных программ и вероятностно-статистических методов. Разработанные методы диагностирования состояния динамических систем апробированы на модельных и практических примерах.

Личный вклад соискателя. Во всех проведенных исследованиях автор самостоятельно или в соавторстве сформулирована постановка задач исследований, методология их решений, а также анализ и интерпретация полученных экспериментальных данных и результатов моделирования и т.п.

Автор непосредственно участвовал в проведении экспериментальных исследований по изучению влияния неравновесных эффектов, связанных с процессом образования зародышей новой фазы в газоконденсатных системах при давлениях выше давления начала конденсации, на фильтрационные характеристики пористой среды.

В соавторстве разработаны методика диагностирования неравновесных процессов в пористой среде на основе анализа данных нормальной эксплуатации скважин и методические основы определения реофизических характеристик газоконденсатных систем по данным гидродинамических исследований.

Автором обоснован механизм формирования и развития микрзародышей новой фазы в газоконденсатных системах в предпереходной зоне.

Автором разработаны метод расчета фрактальной размерности временных рядов и диагностирования состояния процессов с близкими фрактальными размерностями и методика диагностирования состояния динамических процессов на основе изменения характера распределения колебаний основных технологических показателей.

В соавторстве были созданы принципы и методы повышения эффективности разработки газоконденсатных залежей на поздней стадии эксплуатации на основе водного воздействия.

Практическая ценность полученных результатов.

1. Результаты проведенных экспериментальных исследований дают возможность определить оптимальные параметры проведения мероприятий по поддержанию пластового давления, с учетом влияния микрзародышей новой фазы на процесс истощения газоконденсатных систем.

2. Разработанная методика определения реофизических

характеристик по данным гидродинамических исследований, позволяет повысить технико-экономические показатели разработки месторождений углеводородов путем регулирования режимов работы скважин.

3. Разработан комплекс методов диагностирования состояния пластовой системы по данным нормальной эксплуатации скважин, имеющий важное значение при принятии решений по регулированию процесса добычи углеводородов в условиях недостаточности информации.

4. Разработанные принципы и методологические основы повышения эффективности разработки газоконденсатных залежей на поздней стадии эксплуатации на основе водного воздействия были успешно применены на месторождении Бахар.

Реализация полученных результатов.

1. Внедрение полученных в диссертации результатов на морском месторождении Бахар доказало эффективность разработанной методики повышения эффективности разработки газоконденсатных месторождений на поздней стадии эксплуатации позволило за 1 год дополнительно добыть 54.474 млн. м³ газа и 1089 т конденсата (в приложении к диссертации приводятся акт внедрения и расчет экономической эффективности проведенных мероприятий).

2. Результаты работ по созданию и усовершенствованию принципов и методов, способствующих повышению эффективности разработки месторождений углеводородов были использованы в научно-практических госбюджетных и хоздоговорных работах, выполненных в Азербайджанском Государственном Университете Нефти и Промышленности и НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия», а также в методических руководствах ПО «Азнефть» ГНКАР (справка приводится в приложении к диссертации).

3. Методы, методики и алгоритмы, представленные в диссертации, используются в учебном процессе газонефтепромыслового факультета Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на:

- научно-практической конференции «Освоение шельфа Каспийского моря», Баку, 1991 г.;

- международной научно-технической конференции «Проблемы разработки газовых и газоконденсатных месторождений», ГАНГ им. И.М.Губкина, Москва, 1996 г.;

- III Международной научно-практической конференции «Хазарнефтьгазятаг-98», Баку, 1998 г.;

- IV Международной научно-практической конференции «Хазарнефтьгазятаг-2000», 2000 г.;

- международной научно-практической конференции «Хазарнефтьгазятаг-2002», Баку, 2002 г.;

- научно-практической конференции «Хазарнефтьгазятаг-2004», Баку, 2004 г.;

- международной научно-практической конференции «Хазарнефтьгазятаг-2006», Баку, 2006 г.;

- международной научно-практической конференции «Geotrol-2008», Польша, Краков, 2008 г.;

- международной научно-практической конференции «Хазарнефтьгазятаг-2008», Баку, 2008 г.;

- международной научно-практической конференции «Современные проблемы нефтегазового комплекса Казахстана», Актау, Казахстан, 2011 г.;

- международной научно-технической конференции «Нефть и газ Западной Сибири», ТюмГНГУ, 2011 г.;

- международной научно-практической конференции «Инновационное развитие нефтегазового комплекса Казахстана», Актау, Казахстан, 2013 г.;

- международной научной конференции посвященной 85-летнему юбилею академика А.Х.Мирзаджанзаде, Баку, 2013 г.;

- международной научно-технической конференции «Современные технологии в нефтегазовом деле », Октябрьский, Башкортостан, РФ, 2014 г.

Основные результаты исследований представленных в диссертационной работе обсуждались на заседаниях Ученого Совета и семинарах Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности и НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия».

Публикация результатов работы. Основные положения диссертации опубликованы в 62 научных работах, в том числе 1 монографии и 1 методическом руководстве. Выполнение

исследований проводилось в рамках тематического плана научно-исследовательских работ Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности и НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и Химия».

В диссертации обобщен опыт автора, направленный на развитие теоретических и научно-прикладных работ в области фазовых превращений пластовых флюидов и повышения эффективности разработки и доразработки месторождений углеводородов.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, основных выводов и рекомендаций общим объемом 287 страниц машинописного текста, 32 таблиц, 75 рисунков, списка использованной литературы, включающего 225 наименований и приложений.

Автор считает своим долгом выразить глубокую благодарность своему Учителю покойному академику А.Х.Мирзаджанзаде за помощь и ценные советы, послужившие основой для выполнения диссертационной работы.

Автор выражает глубокую признательность члену-корреспонденту НАНА Т.Ш.Салавату за помощь и внимание при работе над диссертацией.

Автор благодарен сотрудникам кафедры «Нефтегазовая Инженерия» Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности и коллективу НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия» за содействие, оказанное при выполнении диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведены основные положения диссертации, актуальность проведенных исследований, защищаемые положения, методы решения поставленных задач.

Первая глава работы посвящена экспериментальным исследованиям особенностей процесса формирования и развития зародышей новой фазы в газоконденсатных системах.

Как известно, фазовые превращения пластовых флюидов оказывают существенное влияние на фильтрационные процессы в пористой среде при разработке нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений. Большой вклад в изучение фазовых превращений пластовых флюидов внесли А.Х.Мирзаджанзаде, М.Т.Абасов, Р.И.Нигматуллин и др.

Необходимо отметить, что свойства газожидкостных систем (реологические, релаксационные, фильтрационные) меняются и при давлениях превышающих давление фазового перехода (давление насыщения, давление начала конденсации), что связано с процессами образования зародышей новой фазы. Но эти явления до сих пор практически не учитываются при моделировании, проектировании и разработке месторождений углеводородов.

Например, при гидродинамическом моделировании процесса разработки газированные жидкости при давлениях выше давления насыщения принимаются гомогенными, с постоянными реологическими и фильтрационными характеристиками. Однако исследованиями, проведенными А.Х.Мирзаджанзаде, Э.С.Садыхзаде, Н.М.Рафибейли, Т.Ш.Салаватовым, А.М.Мамедзаде, М.М.Хасановым, Р.Н.Бахтизиным, Г.Х.Меликовым, Б.А.Сулеймановым и др. установлено, что при давлениях выше давления насыщения газированные системы, составленные на основе ньютоновских жидкостей при стационарной фильтрации, качественно меняют реологию (в частности значительно возрастает расход жидкости), а при нестационарных исследованиях проявляют неравновесные свойства. Также установлено, что теплофизические параметры газожидкостных смесей изменяются при приближении к точке фазового перехода. Наблюдаемые при этом неравновесные релаксационные эффекты объясняются докритическим образованием зародышей новой фазы.

Существование микрзародышей новой фазы в газоконденсатных системах при давлениях выше давления начала конденсации было доказано в работах Р.Д.Бабаева, А.А.Сулейманова, М.А.Абдель Монейма, М.Шахидуззамана. В этих работах показано, что процессу выпадения конденсата предшествует процесс образования микрзародышей, который начинается при давлениях значительно превышающих давление начала конденсации и оказывает существенное влияние на фильтрационные характеристики пористой среды.

Результаты теоретических и экспериментальных лабораторных и промысловых исследований, проведенных к настоящему времени показывают, что проявление неравновесных релаксационных свойств наблюдается при разработке нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений. Анализ результатов лабораторных и промысловых

исследований позволил установить, что неравновесные релаксационные эффекты наблюдаются во многих технологических процессах разработки месторождений углеводородов.

Учет и регулирование характерных особенностей проявления неравновесных релаксационных свойств позволяет значительно повысить эффективность технологических процессов добычи нефти, газа и конденсата.

В то же время моделирование и прогнозирование основных фильтрационных характеристик пластовых флюидов (например, вязкости конденсата, плотности газоконденсатной смеси) без учета этих явлений приводит к значительным погрешностям и снижению эффективности процесса разработки.

Экспериментальные исследования процесса формирования зародышей в пористой среде показали, что зародыши новой фазы оказывают существенное влияние на фильтрацию газоконденсатных смесей в пористой среде при давлениях выше давления начала конденсации. Так, наблюдается существенное повышение расходных характеристик при фильтрации в пористой среде газоконденсатной смеси в предпереходной зоне. Но в этих работах не изучалось влияние таких параметров газоконденсатных систем, как давление начала конденсации и газоконденсатный фактор на процесс образования микрзародышей новой фазы.

В диссертационной работе приведены результаты исследований фильтрации газоконденсатных систем в пористой среде при давлениях выше давления начала конденсации.

С целью изучения влияния давления начала конденсации на процесс образования микрзародышей новой фазы в газоконденсатных системах была проведена серия экспериментальных исследований.

Для изучения зародышеобразования газоконденсатных систем применялся метод всестороннего сжатия системы. Он заключается в том, что быстрая нагрузка или разгрузка системы приводит к снижению или повышению давления, по которому определяют изменение неравновесных релаксационных свойств.

Исследуемая газоконденсатная смесь состояла из природного газа и нормального гексана (давление начала конденсации 16 МПа при температуре 333 К в свободном объеме, газоконденсатный фактор $6000 \text{ м}^3/\text{м}^3$). Для определения влияния микрзародышей новой фазы

на релаксационные характеристики газоконденсатной смеси разгрузка осуществлялась с темпом изменения давления в системе равным $1,67 \cdot 10^{-3}$ МПа/с. Давление во всех экспериментах снижалось на 1,6 МПа и проводились замеры изменения давления. После стабилизации давления производилось очередное снижение давления на ту же величину и с тем же темпом изменения давления.

Было установлено, что при давлениях значительно превышающих давление начала конденсации неравновесных релаксационных эффектов (прироста давления) не наблюдалось. Подобные же результаты были получены при разгрузке природного газа с тем же темпом изменения давления в системе. При достижении определенного уровня давления был зафиксирован прирост давления. Для данной газоконденсатной смеси прирост давления наблюдался при достижении 28,8 МПа. При дальнейшей разгрузке системы происходит увеличение прироста давления и времени его стабилизации. Максимального значения эти параметры достигают при 20,8 МПа. Понижение уровня давления ниже этой величины приводит к уменьшению величины прироста и времени стабилизации.

Известно, что давление начала конденсации в пористой среде увеличивается по сравнению с давлением начала конденсации в свободном объеме. Кроме того, установлено, что образование микророзродышей конденсата в пористой среде происходит при большем давлении, чем в свободном объеме. Ранее эксперименты по этой же методике проводились с газоконденсатной смесью со следующими параметрами – давление начала конденсации 17,5 МПа при температуре 333 К в свободном объеме, газоконденсатный фактор $4800 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Для этой газоконденсатной смеси максимальная величина прироста давления зафиксирована при давлении 24,8 МПа.

Это дает основание предположить, что для газоконденсатных смесей наблюдается прямопропорциональная зависимость между давлением начала конденсации и давлением образования микророзродышей в пористой среде.

Результаты обработки кривых прироста давления во времени показывают, что при давлениях превышающих давление образования розродышей новой фазы, газоконденсатную смесь можно представить как однородную систему и перестроенные зависимости прироста давления имеют прямолинейный характер. Такая же зависимость наблюдается при давлениях близких к давлению начала конденсации.

При этом надо учитывать, что ранее установлен факт повышения в пористой среде давления начала конденсации по сравнению со свободным объемом. В области же интенсивного формирования зародышей кривые прироста давления разбиваются на два прямолинейных участка, один из которых, характеризует упругую деформацию системы, а второй – связан с релаксационными эффектами, происходящими в системе.

Сравнение данных полученных в результате исследования методом всестороннего сжатия системы газоконденсатных смесей с различными параметрами, показывает, что с уменьшением давления начала конденсации, понижается и давление формирования микророзышей конденсата.

В результате проведенных исследований было установлено, что процесс формирования и развития микророзышей новой фазы в газоконденсатных смесях прямопропорционально зависит от давления начала конденсации.

В этой главе также приведены результаты исследования особенностей стационарной фильтрации газоконденсатных систем в предпереходной области.

С целью исследования механизма влияния микророзышей конденсата на фильтрационные характеристики пористой среды были проведены эксперименты по изучению эффекта Сегре-Зильберберга в газоконденсатной системе.

Известно, что объемная концентрация малоконцентрированных растворов и суспензий с нейтрально "плавающими" частицами при движении снизу вверх (восходящий поток) и сверху вниз (нисходящий поток) различна. Этот эффект объясняется тем, что поперечная миграция частиц, с плотностью большей, чем плотность вмещающей жидкости, в восходящем потоке к оси трубы приводит к росту скорости движения частиц. Миграция же частиц к стенкам в нисходящем потоке приводит к снижению скорости движения частиц.

Исследуемая газоконденсатная смесь состояла из природного газа и нормального гексана (давление начала конденсации 17,5 МПа при температуре 333 К в свободном объеме, газоконденсатный фактор 4800 м³/м³).

В модели пласта, установленной вертикально, поддерживался постоянный перепад давления и газоконденсатная смесь фильтровалась на данном уровне до того момента, пока не про-

качивалось два объема порового пространства.

Перепад давления в одной серии экспериментов составлял 0,32 МПа, в другой – 0,8 МПа, в третьей – 1,12 МПа. После проведения стационарных и нестационарных исследований давление в системе понижалось до следующего уровня, на котором проводились аналогичные замеры. Эксперименты осуществлялись на вертикально установленной колонке для восходящего и нисходящего потоков смеси.

Результаты исследований показали, что при достижении газоконденсатной системой определенного уровня давления, значительно превышающего давление начала конденсации, наблюдается увеличение расхода газа при постоянном перепаде давления, как для восходящего, так и для нисходящего потоков смеси.

Максимальное значение расхода газа наблюдается при уровне давления 33,2 МПа при перепаде давления 0,32 МПа, 31,6 МПа – при 0,8 МПа, 30,8 МПа – при 1,12 МПа. Снижение давления ниже этих уровней приводит к уменьшению расхода смеси и при достижении давления начала конденсации фиксируются минимальные значения расхода.

Следует отметить, что при объяснении эффекта изменения фильтрационных характеристик пористой среды в процессе формирования и развития микророзодышей конденсата, обычно исходили из казавшегося естественным предположения, что появление их приводит к увеличению плотности газоконденсатной смеси. В этом случае при проведении замеров расход для восходящего потока газоконденсатной смеси должен был бы превышать расход для нисходящего потока. Но результат экспериментов по исследованию эффекта Сегре-Зильберберга в газоконденсатной системе оказался противоположным – расход для нисходящего потока смеси оказался выше, чем для восходящего.

В то же время, эксперименты по исследованию эффекта Сегре-Зильберберга в природном газе, показали, что расход для восходящего потока не отличается от расхода для нисходящего потока.

Вышеизложенное дает основание предположить, что образование микророзодышей конденсата приводит к уменьшению плотности газоконденсатной смеси.

Анализ полученных данных показывает, что предложенные к настоящему времени механизмы процесса фильтрации

газоконденсатных смесей в пористой среде при давлениях значительно превышающих давление начала конденсации не могут объяснить совокупность неравновесных эффектов связанных с образованием микророзродышей новой фазы.

Вторая глава диссертационной работы посвящена обоснованию механизма формирования и развития микророзродышей новой фазы в газоконденсатных системах в предпереходной зоне.

В предыдущей главе были рассмотрены экспериментальные исследования эффекта Сегре-Зильберберга в газоконденсатных системах. Результаты опытов дали основание предположить, что процесс формирования и развития микророзродышей конденсата приводит к уменьшению плотности газоконденсатной смеси.

С целью проверки этого предположения были проведены экспериментальные исследования по определению плотности газоконденсатной смеси на разных уровнях давления.

Были проведены исследования газоконденсатной смеси (давление начала конденсации 17,5 МПа, газоконденсатный фактор $4800 \text{ м}^3/\text{м}^3$). Результаты изменения плотности газоконденсатной смеси в свободном объеме от уровня давления показывают, что с уровня давления 40,0 МПа до 27,5 МПа плотность газоконденсатной системы практически не изменяется. Начиная с уровня давления 27,5 МПа плотность газоконденсатной смеси уменьшается. Этот процесс связан с формированием и развитием микророзродышей конденсата. Минимальное значение плотности газоконденсатной смеси наблюдается при 19,4 МПа. Дальнейшее снижение давления приводит к увеличению плотности газоконденсатной системы.

Полученные данные свидетельствуют о том, что процесс образования микророзродышей конденсата приводит к уменьшению плотности газоконденсатной смеси, что подтверждает результаты ранее описанных экспериментальных исследований эффекта Сегре-Зильберберга.

После этого аналогичные исследования проводились в пористой среде. В качестве пористой среды использовался измельченный кварцевый песок. Проницаемость по воздуху составляла $0,02 \text{ мкм}^2$.

Характер изменения плотности природного газа, приведенной к нормальным условиям, в пористой среде при различных уровнях давления оказался аналогичным изменению плотности природного газа в свободном объеме.

Анализ результатов исследования газоконденсатной смеси, показывает, что с уровня давления 37,0 МПа наблюдается уменьшение плотности газоконденсатной смеси в пористой среде. Минимального значения плотность достигает при 27,0 МПа. Дальнейшее снижение давления приводит к увеличению плотности газоконденсатной смеси.

Как видно из результатов экспериментов, процесс формирования и развития зародышей новой фазы в газоконденсатных системах приводит к уменьшению плотности смеси. При этом плотность газоконденсатной смеси в пористой среде достигает своего минимального значения при более высоком уровне давления, чем в свободном объеме. Это соответствует данным ранее проведенных исследований, что давление начала конденсации в пористой среде повышается по сравнению с давлением начала конденсации в свободном объеме.

Все это дает основание говорить о том, что при диагностировании, моделировании и интерпретации многих эффектов, проявляющихся при формировании и развитии микророзродышей новой фазы в газоконденсатных смесях (увеличение расхода, изменение сжимаемости, пьезопроводности и др.), необходимо учитывать изменение плотности системы.

Полученные результаты дают возможность объяснить многие эффекты наблюдаемые в газожидкостных и газоконденсатных системах и могут быть применены при проектировании и разработке нефтегазовых и газоконденсатных месторождений.

Кроме того необходимо отметить, что недостаточно изучены вопросы, связанные с влиянием процесса микророзродышеобразования на истощение газоконденсатных систем.

Поэтому в данной главе приведены результаты экспериментальных исследований влияния зародышей новой фазы на истощение газоконденсатных смесей из пористой среды при давлениях превышающих давление начала конденсации. В качестве пористой среды использовался измельченный кварцевый песок. Проницаемость по воздуху для разных опытов составляла 0,023, 0,03, 0,04 и 0,085 мкм².

Для сравнительного анализа результатов экспериментальных исследований истощения газоконденсатных систем были проведены опыты по истощению азота и природного газа. Как показывают полученные данные, изменение расхода азота и природного газа носит

монотонный характер вне зависимости от условий проведения экспериментов.

В то же время для газоконденсатной смеси, в диапазоне давлений превышающих давление начала конденсации, наблюдается существенное увеличение объема выходящей смеси с последующим его снижением при уменьшении давления в системе, что противоречит законам фильтрации однородных систем. Так, для пористой среды проницаемостью $0,085 \text{ мкм}^2$ при перепаде давления $0,05 \text{ МПа}$, этот эффект зафиксирован при давлении на 65% превышающем давление начала конденсации. Аналогичная картина наблюдается и для пористой среды проницаемостью $0,023$, $0,030$ и $0,040 \text{ мкм}^2$. Здесь наблюдается различие в количественных значениях увеличения расхода выходящей смеси, в то время как качественный характер, вне зависимости от условий проведения экспериментов, остается постоянным.

Такое поведение системы, связано с процессом формирования микрородышей жидкой фазы в газоконденсатной системе, что хорошо согласуется с ранее проведенными исследованиями.

При разработке газовых и газоконденсатных месторождений одними из основных параметров характеризующих состояние призабойной зоны скважины и пластовой системы в целом являются проницаемость, пьезопроводность, гидропроводность и др., определяемые на основе анализа результатов нестационарных гидродинамических исследований.

С этой целью в процессе истощения исследуемой газоконденсатной системы на определенных заданных уровнях давления снимались кривые восстановления давления.

Как показывают результаты экспериментов, время перераспределения давления для азота и природного газа с понижением уровня давления увеличивается, что соответствует законам нестационарной фильтрации газа.

В то же время, для газоконденсатной смеси с понижением уровня давления время перераспределения давления увеличивается, что связано с формированием микрородышей новой фазы. После достижения максимального значения дальнейшее понижение уровня давления приводит к уменьшению времени перераспределения давления.

На основе анализа результатов проведенных

экспериментальных исследований можно обосновать механизм формирования и развития микрочастиц новой фазы в газоконденсатных системах при давлениях выше давления начала конденсации.

Прогнозирование и моделирование формирования и развития зародышей новой фазы очень важно для описания фазовых превращений пластовых флюидов во многих технологических процессах разработки нефтегазовых месторождений.

В диссертации проведен анализ основных моделей образования зародышей новой фазы в предпереходной области. Рассмотрены механизмы гомогенного и гетерогенного формирования и развития зародышей новой фазы в свободном объеме и в пористой среде, бабстонная теория образования зародышей новой фазы, кватеронная теория образования зародышей новой фазы и др.

Таким образом, на основе анализа результатов проведенных экспериментальных исследований обоснован и уточнен механизм формирования и развития зародышей новой фазы в газоконденсатных системах при давлениях выше давления начала конденсации.

Впервые экспериментально обнаруженный эффект уменьшения плотности газоконденсатной смеси при давлениях выше давления начала конденсации позволяет объяснить многие неравновесные релаксационные явления связанные с фазовыми переходными процессами.

Показано, что полученные результаты свидетельствуют о существовании зародышей новой фазы в газоконденсатных системах.

В третьей главе рассмотрены вопросы разработки методических основ диагностирования неравновесных процессов при разработке месторождений углеводородов.

Динамика многих технологических процессов нефтедобычи носит колебательный характер, и поэтому актуальным при изучении таких процессов является применение методов, позволяющих на основе анализа особенностей колебаний оценить состояние, степень неравновесности процессов и своевременно принять обоснованное решение по их управлению.

Для диагностирования состояния динамических процессов можно применить фрактальный подход к диагностированию неравновесных процессов разработки месторождений углеводородов.

Имеются разные подходы к оценке фрактальности, но

проведенный анализ алгоритмов определения фрактальных размерностей показал, что до сих пор не существует метода расчета фрактальной размерности временных рядов.

Надежное вычисление фрактальной размерности D для временных рядов, в связи с конечностью шага замера, сопряжено со следующими трудностями: необходимостью длительных исследований для получения большого количества замеров и изменчивостью поведения динамического процесса на протяжении замеров. Чтобы снизить влияние изменчивости динамического процесса на фрактальную размерность временного ряда необходимо, чтобы метод расчета фрактальной размерности временных процессов обладал быстрой сходимостью на ограниченном количестве замеров.

В настоящее время фрактальная размерность временных рядов традиционно определяется также как и для непрерывных кривых: строится кривая изменения некоторого показателя по данным замеров с заданным шагом Δt в течении интервала исследования T .

Длина построенной кривой определяется покрытием кривой квадратами с длиной стороны $\delta \rightarrow 0$ и производится подсчет их числа $N(\delta)$. По зависимости $L \sim \delta^{1-D}$ в логарифмических координатах определяется размерность D .

Однако, если метод покрытия подходит для непрерывных линий, то для временных зависимостей данный способ является слишком грубым. Это связано с тем, что замеры технологических параметров являются дискретными, и лишь для наглядности на графиках точки замеров соединены между собой отрезками прямых.

В диссертационной работе предлагается методика подсчета фрактальной размерности временных зависимостей, которая наряду с относительно быстрой сходимостью на ограниченном количестве замеров обладает и простотой реализации.

Алгоритм расчета фрактальной размерности заключается в следующем. Пусть в течении интервала времени T проведено n замеров y_i динамического процесса с шагом Δt .

Составим последовательность выборок из имеющегося множества замеров по следующему правилу:

первая выборка содержит все замеры интервала времени T :

$Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_{n-1}, Y_n$; вторая выборка образуется из множества замеров, отстоящих друг от друга на расстоянии $2 * \Delta t$: $Y_1, Y_3, Y_5, \dots, Y_{n-2}, Y_n$; третья выборка состоит из замеров, отстоящих друг от друга на расстоянии $3 * \Delta t$: $Y_1, Y_4, Y_7, \dots, Y_{n-3}, Y_n$ и т.д.

Длину временных зависимостей L для m -ой выборки определяем как сумму из k абсолютных значений разностей между соседними замерами исследуемого параметра для данной выборки,

где $k = \text{int} \left[\frac{n-1}{m} \right]$ - целая часть числа $\frac{n-1}{m}$.

Так длина первой выборки равна сумме значений

$$|y_1 - y_2| + |y_2 - y_3| + \dots + |y_{n-1} - y_n| ;$$

длина второй выборки равна сумме значений

$$|y_1 - y_3| + |y_3 - y_5| + \dots + |y_{n-2} - y_n| ;$$

длина третьей выборки равна сумме значений

$$|y_1 - y_4| + |y_4 - y_7| + \dots + |y_{n-3} - y_n| \text{ и т.д.}$$

Таким образом длина кривой определяется в зависимости от шага замеров $\Delta t_m = m * \Delta t$, а не значения δ . Длина кривой L при малых значениях Δt_m хорошо описывается зависимостью

$$L \sim \Delta t_m^{1-D}. \text{ Учитывая, что } \Delta t_m \text{ обратно пропорционально } k = \frac{n-1}{m}$$

(числу отрезков разбиения интервала времени T), можно записать

$$L \sim k^{D-1}, \text{ где}$$

$$k = n - 1, \text{ int} \left[\frac{n-1}{2} \right], \text{ int} \left[\frac{n-1}{m} \right] -$$

количество разностей между соседними замерами в соответствующей выборке.

Перестроим эту зависимость в координатах $\log L - \log k$. При больших значениях k данная зависимость ложится на прямую линию по наклону которой и определяется значение D .

Проведенные расчеты позволяют утверждать, что данный метод расчета фрактальной размерности обладает большей точностью и быстротой сходимости по сравнению с методами покрытия. Кроме того, данный подход позволяет при вычислении фрактальной размерности избежать несоответствия единиц измерения измеряемой величины и времени. Применимость предложенного алгоритма была проверена на модельном примере. В качестве значений исследуемого процесса принимались значения фрактальной функции Вейерштрасса-Мандельброта $W(t)$ с заданной фрактальной размерностью D .

Точность подсчета фрактальной размерности можно повысить, если учесть все имеющиеся замеры. Так, для $\Delta t_2 = 2 * \Delta t$ в зависимости от выбора начальной точки можно вычислить 2 значения

$$L_2^1 = |y_1 - y_3| + |y_3 - y_5| + |y_7 - y_9| + \dots,$$

$$L_2^2 = |y_2 - y_4| + |y_6 - y_8| + |y_{10} - y_{12}| + \dots,$$

и соответственно 2 значения k_2 .

Для $\Delta t_3 = 3 * \Delta t$ в зависимости от выбора начальной точки можно вычислить 3 значения L_3 и соответствующие им 3 значения

k_3 и т.д. В этом случае фрактальную размерность D можно

определить по среднеарифметическим значениям L_m и k_m из зависимости $L_{sred} \sim k_{sred}^{D-1}$, где, $L_{sred} = \frac{L_m}{m} = \frac{L_m^1 + L_m^2 + \dots + L_m^m}{m}$,

$$k_{sred} = \frac{k_m}{m} = \frac{k_m^1 + k_m^2 + \dots + k_m^m}{m}.$$

Из сравнения полученных результатов следует, что зависимость $\log L - \log k$ значительно лучше спрямляется при осреднении длины кривой L и k (когда учитываются все имеющиеся замеры).

С целью исследования влияния количества замеров на точность определения фрактальной размерности были рассмотрены случаи, когда $n = 100; 250; 500; 1000; 1500; 2000; 2500$. Проведенные расчеты позволили установить, что наблюдается хорошее соответствие

заданного и рассчитанного значений D . При сравнении с методом «покрытия» предлагаемый в работе метод, наряду с простотой счета, обладает большей точностью и быстрой сходимостью на ограниченном числе замеров.

При решении практических задач в качестве обобщенных показателей, характеризующих особенности исследуемого объекта, применяются фрактальная размерность и показатель Херста, что позволяет диагностировать изменения состояния технологических процессов.

Недостатком фрактального анализа, в его классической постановке, является то, что многие технологические процессы, характеризующиеся колебаниями показателей (в частности, широкий класс стационарных случайных, или близких к ним, процессов) на фрактальной плоскости не различаются.

Для повышения эффективности диагностирования состояния процессов предлагается нижеследующий подход.

В случае, если при сравнении временных рядов $y(t)$ и $z(t)$ их фрактальные размерности мало отличаются друг от друга их различие можно оценить либо по изменению коэффициента A из зависимости $L = Ak^{D-1}$. При этом исходные временные ряды $y(t)$ и $z(t)$ нормируются, например, каждый относительно своего максимального

и минимального значений $Y_i = \frac{y_i - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}}$ и $Z_i = \frac{z_i - z_{\min}}{z_{\max} - z_{\min}}$.

Такое преобразование (нормирование) исходных временных рядов не отражается на значениях их фрактальных размерностей и, в то же время, позволяет проследивать изменение локальной фрактальной размерности одного и того же процесса на различных этапах его развития, а также сравнивать между собой различные характеристики процесса, замеренные в один и тот же период времени.

Чувствительность коэффициента A к незначительным изменениям исследуемого процесса, которые трудно уловить по значению фрактальной размерности, подтверждается результатами расчетов.

Ограниченность применимости фрактального анализа для временных процессов обусловлена также тем, что имеются процессы, показатели которых на фрактальной плоскости не спрямляются

(например, мультифрактальные процессы). По этим же причинам зачастую невозможно использование показателя Херста. Кроме того, надо учитывать, что некорректно применение показателя Херста для изучения колебательных процессов с явно выраженным трендом.

В данной работе, для оценки особенностей колебаний технологических показателей, предлагается следующий непараметрический показатель вариации временных рядов:

$$l = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} |y_i - y_{i+1}|}{n-1} = \frac{|y_1 - y_2| + |y_2 - y_3| + \dots + |y_{n-1} - y_n|}{n-1}, \quad \text{где } y_i -$$

значения временного ряда некоторого динамического процесса замеренные через равные интервалы времени; n - число замеров.

По изменению значений предложенного непараметрических критерия можно диагностировать качественные изменения рассматриваемого процесса.

Следует отметить, что при использовании нормированных значений предлагаемый критерий вариации l изменяется в промежутке от 0 до 1.

В результате проведенных исследований установлено, что при интерпретации информационного массива, отображающего состояние процесса нефтедобычи необходимо учитывать фрактальность колебаний основных технологических показателей. Это позволяет производить диагностирование тенденций развития процесса разработки нефтегазовых месторождений на основе использования фрактальных характеристик временных рядов замеров технологических параметров работы скважин.

Данный подход может служить, особенно в условиях морской разработки нефтяных и газовых месторождений, основой для принятия решений как по регулированию режимов работы скважин, так и по управлению процессом разработки месторождения. Предложенные непараметрические показатели вариации временных рядов позволяют диагностировать изменения в состоянии исследуемого процесса и в тех случаях, когда применение других критериев некорректно или нецелесообразно. Данные критерии предназначены для практических инженерных расчетов при анализе самоаффинных, мультифрактальных, хаотических колебаний и алгоритм их расчета может быть легко реализован.

На основе фрактального подхода с использованием показателя Херста было проведено диагностирование процесса формирования и развития зародышей по колебанию расхода при истощении газоконденсатных систем при помощи фрактальных характеристик, были использованы данные экспериментальных исследований описанные в предыдущей главе. Полученные результаты показывают, что по данным нормальной эксплуатации газоконденсатных скважин можно диагностировать процесс образования зародышей конденсата.

Также в работе проведены исследования по диагностированию состояния динамических процессов на основе оценки характера распределения промысловых данных.

В нефтегазопромысловой практике, в основном, для диагностирования «внутреннего» состояния системы «пласт-скважина», оценки фильтрационных характеристик призабойной зоны и определения технологических параметров работы скважин используются результаты гидродинамических исследований. Однако, исследование пластов и скважин связано с определенными техническими и технологическими трудностями, материальными и финансовыми затратами и т.д.

Вышеотмеченное, предопределяет необходимость применения методов функциональной диагностики, позволяющих по данным нормальной эксплуатации оценивать как состояние, так и характеристики динамических процессов.

В работе, разработаны непараметрические критерии диагностирования состояния динамических процессов на основе оценки характера распределения данных колебаний технологических параметров.

Допустим, что исследуется некоторый динамический процесс, представленный в виде временного ряда n значений некоторого параметра y . Исходные данные ранжируются по возрастанию. Затем определяется отношение площади отклонения полученной кривой от прямой равномерного распределения, соединяющей точки с координатами $(1, y_{\min})$ и (n, y_{\max}) , к площади треугольника abc , с координатами точек $a(1, y_{\min})$, $b(n, y_{\max})$ и $c(n, y_{\min})$:

$$S = \frac{s_1 + s_2}{S_{\Delta abc}} = \frac{2(s_1 + s_2)}{(y_{\max} - y_{\min}) \cdot (n - 1)},$$

где y_{\max} - максимальное значение y , y_{\min} - минимальное

значение y , n - число значений, s_1 и s_2 - величины площадей, заключенных между ранжированными значениями изучаемого параметра и прямой равномерного распределения, $s_{\Delta abc}$ - площадь треугольника abc (рис). При этом значение S меняется в интервале от 0 до 1.

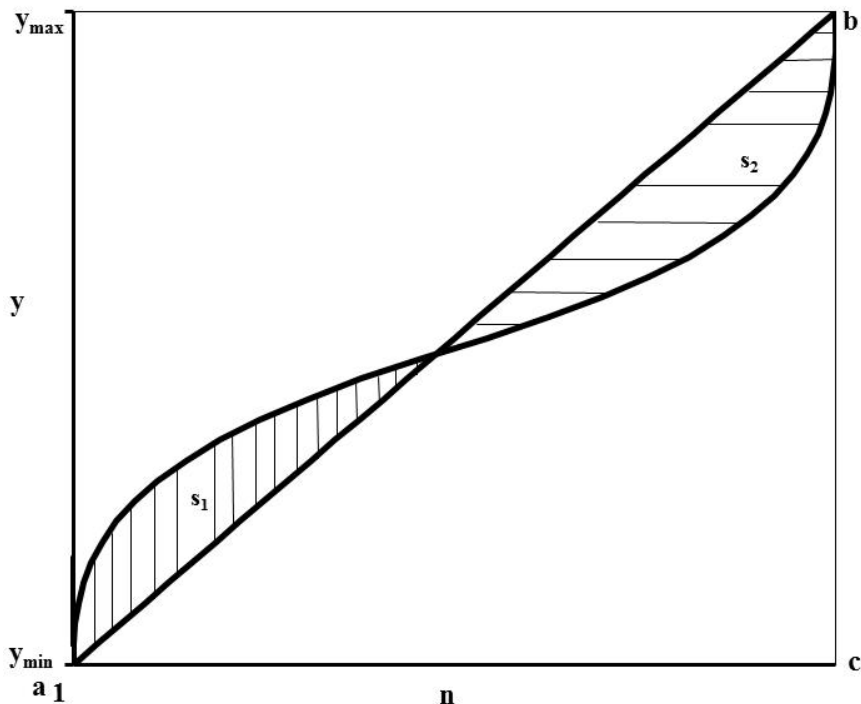


Рис. Кривая ранжированных данных.

По изменению величины S можно судить об изменении состояния динамической системы.

В работе была изучена чувствительность предложенного критерия в зависимости от количества замеров для некоторых видов распределений и установлено, что предложенный критерий позволяет оценить характерные особенности распределения данных.

Важным преимуществом данного подхода по сравнению с другими является то, что с его помощью можно уловить изменение в асимметрии данных.

Степень асимметрии данных можно оценить по формуле

$$A_s = \frac{S_2 - S_1}{S_1 + S_2}, \text{ где } S_1 \text{ и } S_2 - \text{ величины площадей, заключенных между}$$

ранжированными нормированными значениями изучаемого параметра и прямой равномерного распределения. Значение показателя A_s изменяется от -1 до 1 .

Разработанные критерии позволяют диагностировать изменения в состоянии исследуемого процесса и в тех случаях, когда применение других критериев некорректно или нецелесообразно, а также для данных с асимметрией распределения. Преимуществом предложенного подхода является то, что его можно использовать и для данных, преобразованных различными методами удаления тренда.

В этой главе также приводится разработанная методика определения реофизических характеристик углеводородных систем.

На основе проведенных исследований можно сделать вывод о том, что на основе анализа данных нестационарной фильтрации газоконденсатных систем, по изменению рассматриваемых параметров (коэффициент пьезопроводности и время релаксации) можно диагностировать процесс формирования и развития зародышей новой фазы, что очень важно при принятии обоснованных решений по повышению эффективности процесса разработки месторождений углеводородов.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке методики повышения эффективности разработки газоконденсатных залежей на поздней стадии эксплуатации на основе водного воздействия.

Повышение технико-экономических показателей использования природных ресурсов, соответствующих современным требованиям в области рациональной разработки нефтяных и газовых месторождений, требует внедрения в практику новых подходов.

Процессы, происходящие в залежах при разработке нефтяных и газовых месторождений, отличаются многообразием физико-геологических, гидродинамических, термодинамических факторов; последовательностью ввода в эксплуатацию скважин из бурения, обоснованием выбора объектов разработки, оптимизацией дебитов скважин и др.

Одними из основных методов контроля за процессом разработки являются промыслово-геофизические исследования, позволяющие изучать сложные физико-химические процессы,

происходящие в залежах, а также диагностировать текущее состояние разработки. Такие исследования необходимы при выборе принципов управления и принятия решений по доработке месторождений путем регулирования технологических процессов нефтегазоконденсатодобычи.

В этой связи, изучение, анализ и обобщение результатов теоретических, экспериментальных лабораторных и промышленных исследований заводнения газоконденсатных месторождений с разработкой комплекса научных принципов и методических подходов к динамике изменения текущей геолого-промысловой информации с использованием вероятностно-статистических методов анализа представляется весьма актуальным.

В диссертационной работе рассмотрены вопросы повышения эффективности водного воздействия на газоконденсатные залежи на основе динамического подхода с учетом переходных процессов на примере залежи VI горизонта 2 блока морского месторождения «Бахар».

Был проведен анализ применения методов водного воздействия на газоконденсатных месторождениях Азербайджана.

Опыт разработки газоконденсатных месторождений на режиме истощения показывает, что наряду с положительным фактором (высоким коэффициентом газоотдачи при газовом режиме и низких промысловых затратах), имеет место также целый ряд отрицательных последствий.

К ним относятся: потеря конденсата в пласте, неуправляемость процесса при проявлении водонапорного режима, необходимость увеличения числа эксплуатационных скважин и т.д. Кроме того коэффициент газоотдачи при эксплуатации месторождений на режиме истощения существенно зависит от активности контурных вод, геологических особенностей залежей и их технико-экономических показателей и др.

Анализ разработки газовых месторождений, эксплуатирующихся в условиях активного упруговодонапорного режима, показал, что основной причиной снижения газоотдачи, как правило, является нерегулируемое избирательное обводнение залежей.

При неоднородности продуктивных горизонтов, выражающейся в прерывистости отдельных пропластков в разрезе, наличие зон выклинивания, дизъюнктивных нарушений (сбросов, экранов и т.д.) в

определенных условиях способствует обходу продвигающимся фронтом воды отдельных зон пласта. В более проницаемых участках давление поднимается быстрее, что приводит к защемлению газа. Между этими участками возникает разность давлений, что создает условия для интенсивного влияния капиллярных и гравитационных сил. Кроме того, с увеличением обводнения, как по площади, так и по толщине, наличие защемленного газа приводит к образованию газовой или водоконденсатной смеси. Все это, в конечном итоге, ухудшает фазовую проницаемость, создает дополнительные сопротивления и перепады давления между законтурной и чисто газовой областями.

При разработке залежей на истощение наблюдается и такой факт: при снижении пластового давления в газоконденсатных пластах из-за ретроградной конденсации определенная часть конденсата выпадает, насыщая поровое пространство. Из-за этого в призабойной зоне скапливается жидкость до тех пор, пока не создастся насыщенность, достаточная для возникновения подвижной жидкой фазы.

Установлено, что в отдельных скважинах содержание конденсата в добываемом газе в безводный период работы периодически колеблется, а при их обводнении его объем в 1.2-2.0 раза увеличивается. Значительно изменяется во времени и плотность добываемого конденсата.

Одной из важных особенностей разработки газоконденсатных залежей, является наличие нефтяных оторочек и определенной сложности отборов углеводородов, как из нефтяных, так и из газовых зон, а так же наличие в газовой зоне продуктивных пропластков и связанной нефти.

Для увеличения конечных коэффициентов нефте-, газо- и конденсатоотдачи в мировой практике применяются различные подходы. Анализируя опыт разработки газоконденсатнонефтяных месторождений можно выделить три основных направления повышения газо-, конденсато- и нефтеотдачи в зависимости от стадии разработки: регулирование физико-химическими процессами при разработке газоконденсатных залежей на истощение; создание «барьера» или «вала» на фронте движения флюидов к скважинам; поддержание пластового давления в газоконденсатнонефтяной залежи и др.

В диссертации рассмотрены основные преимущества, ограничения и недостатки различных систем разработки газоконденсатных месторождений: на истощение, сайклинг процесс, заводнение.

На основании проведенного анализа результатов теоретических и экспериментальных лабораторных и промысловых исследований разработана методика повышения эффективности разработки газоконденсатных залежей на поздней стадии эксплуатации на основе динамического подхода. Установлено, что увеличение коэффициентов нефтегазоконденсатоотдачи залежей, находящихся на поздней стадии разработки, достигается за счет создания небольшого избыточного давления необходимого для выноса скопившейся жидкой фазы углеводородов и конденсационной воды с дренажной зоны скважин закачкой небольших (порядка 2% порового объема) объемов воды, что особенно важно в условиях морской добычи нефти, газа и конденсата.

Для определения эффективности предложенного метода водного воздействия, направленного на увеличение уровня добычи газа и конденсата, было проведено опытно-промышленное применение заводнения в газоконденсатную залежь 2 блока VI горизонта морского месторождения Бахар.

Традиционный подход к управлению процессом «отбор-закачка» предполагает проведение комплекса гидродинамических исследований. Сложность проведения таких исследований в условиях морской разработки месторождений, а также значительные объемы проводимых на промыслах мероприятий, как правило, не позволяют иметь необходимый для проведения анализа и расчетов оперативный информационный массив.

В связи с этим, целесообразно использовать вероятностно-статистические методы, дающие возможность принятия решений по ограниченному объему текущей геолого-промысловой информации, основу которых составляют основные технологические показатели работы скважин (дебиты газа, нефти, конденсата, воды, объемы закачки воды и др.).

Отличительной особенностью предлагаемого динамического подхода является возможность совершенствования системы разработки на основе выявления характерных особенностей развития пластовых систем в процессе их эксплуатации.

Таким образом, на основе анализа теоретических и

экспериментальных исследований сформулированы принципы разработки газоконденсатных залежей с закачкой воды на поздней стадии эксплуатации. Установлено, что ухудшение фазовой проницаемости призабойной зоны за счет закупорки поровых каналов жидкими углеводородами, является важным фактором для начала водного воздействия.

Показано возможность повышения эффективности разработки газоконденсатных залежей, находящихся на поздней стадии разработки, за счет создания избыточного давления необходимого для выноса скопившейся жидкой фазы углеводородов и конденсационной воды с дренажной зоны скважин путем закачки воды.

Применением вероятностно-статистических методов анализа информационного массива определено наличие переходных процессов и, на основе разработанных диагностирующих процедур, изменение текущего гидродинамического состояния исследуемого объекта.

Внедрение предложенного в диссертации метода водного воздействия на газоконденсатные пласты на 2 блоке VI горизонта месторождении Бахар показало его эффективность и позволило за 1 год дополнительно добыть 54.474 млн. м³ газа и 1089 т конденсата.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Впервые установлено уменьшение плотности газоконденсатной смеси при давлениях выше давления начала конденсации и обоснован механизм формирования и развития микрочастиц новой фазы в газоконденсатных системах в предпереходной области.

2. Установлено влияние параметров газоконденсатной смеси (газоконденсатный фактор, давление начала конденсации) на процесс формирования и развития частиц новой фазы в газоконденсатных системах.

3. Показано влияние неравновесных эффектов, связанных с процессом образования частиц новой фазы в газоконденсатных системах при давлениях выше давления начала конденсации, на фильтрационные характеристики пористой среды.

4. Создана методика диагностирования неравновесных процессов в пористой среде на основе анализа данных нормальной

эксплуатации скважин и разработаны методические основы определения реофизических характеристик газоконденсатных систем по данным гидродинамических исследований при нестационарной фильтрации.

5. Впервые разработан методический подход и алгоритм расчета фрактальной размерности временных рядов основных технологических показателей нефтегазодобычи и создан критерий для диагностирования состояния флуктуационных процессов с близкими фрактальными размерностями. Предложенный метод расчета фрактальной размерности обладает большей точностью и быстротой сходимости, на ограниченном количестве замеров, по сравнению с методом «покрытия».

6. Разработан диагностирующий непараметрический критерий оценки характерных особенностей динамики колебательных процессов и предложен алгоритм для оперативных инженерных расчетов при регулировании основных технологических показателей.

7. Созданы непараметрические критерии оценки состояния динамических процессов на основе диагностирования изменения характера распределения колебаний основных технологических показателей. Разработанные критерии позволяют диагностировать изменения в состоянии исследуемого процесса и в тех случаях, когда применение других критериев некорректно или нецелесообразно, а также для данных с асимметрией распределения. Преимуществом предложенного подхода является то, что его можно использовать и для данных, преобразованных различными методами удаления тренда. Данные критерии могут быть использованы для практических расчетов при анализе самоаффинных, мультифрактальных, хаотических колебаний технологических показателей.

8. Разработан метод повышения эффективности разработки газоконденсатных залежей на поздней стадии эксплуатации на основе водного воздействия. Внедрение предложенного в диссертации метода водного воздействия на газоконденсатные залежи на 2 блоке VI горизонта месторождения Бахар показало его эффективность и позволило за 1 год дополнительно добыть 54.474 млн. м³ газа и 1089 т конденсата.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Мамедов Н.Г., Ахундов А.М., Сулейманов А.А. и др. Некоторые вопросы разработки газоконденсатных залежей с нефтяной оторочкой месторождения Бахар // АНХ, №6, 1989, с. 18-21.

2. Абдуллаев Т.И., Мамедов Н.Г., Сулейманов А.А., и др. Способ разработки газоконденсатного месторождения с нефтяной оторочкой. Авторское свидетельство СССР, №1643707, 1990.

3. Бабаев Р.Д., Сулейманов А.А., Абдель Монеим. Экспериментальное исследование образования микророзродышей в газоконденсатных системах // Сб. науч. тр. "Разработка основ новой микророзродышной технологии", АЗИНЕФТЕХИМ, 1991, с. 13-17.

4. Бабаев Р.Д., Сулейманов А.А., Абдель Монеим. Изучение влияния процесса зародышеобразования газоконденсатных систем на фильтрационные характеристики пористой среды / Тезисы докладов научно-практической конференции «Освоение шельфа Каспийского моря», Баку, 1991, с.84-85.

5. Бабаев Р.Д., Сулейманов А.А., Абдель Монеим. Экспериментальное исследование фильтрации газоконденсатных систем // АНХ, 1992, №7-8, с. 49-52.

6. Мирзаджанзаде А.Х., Кухмазов М.С., Сулейманов А.А. и др. Инструкция по проведению импульсной обработки газоконденсатных скважин. АГНА и ГНКАР, Баку, 1993, 10 с.

7. Бабаев Р.Д., Сулейманов А.А., Шахидуззаман М. Экспериментальное исследование процесса микророзродышеобразования при истощении газоконденсатных систем // АНХ, 1994, №9-10, с. 39-41.

8. Бабаев Р.Д., Сулейманов А.А., Шахидуззаман М. Экспериментальное исследование влияния микророзродышеобразования газоконденсатных систем на фильтрационные характеристики пористой среды // АНХ, 1995, №11-12, с. 21-25.

9. Абдуллаев М.А., Сулейманов А.А., Шахидуззаман М. Методика определения реофизических характеристик углеводородных систем при нестационарной фильтрации // Изв. ВУЗов, Нефть и газ, 1996, №1-2, с. 19-21.

10. Сулейманов А.А. Динамический анализ разработки газоконденсатных месторождений / Тезисы докладов научно-

технической конференции "Проблемы разработки газовых и газоконденсатных месторождений", ГАНГ им. И.М.Губкина, Москва, 1996, с. 82-83.

11. Babaev R.D., Suleymanov A.A., Shahiduzzaman M. Experimental study of unsteady state filtration of gas condensate system at the pressure above the dew point // Energy sources, 1997, volume 19, No 3, p. 245-248.

12. Мирзаджанзаде А.Х., Гумбатов Г.Г., Сулейманов А.А. и др. Инструкция по повышению производительности скважин физико-химическим воздействием на призабойную зону пласта. АГНА И ГНКАР, Баку, 1998, 8 с.

13. Сулейманов А.А. Анализ колебаний технологических показателей работы скважин // АНХ, 1998, №5, с. 21-24.

14. Мамедзаде Р.Б., Сулейманов А.А. Диагностирование состояния пласта на основе анализа колебаний технологических показателей работы скважин / Тезисы докладов научно-практической конференции «Пути совершенствования нефтяной науки в Азербайджане», Баку, 1998, с. 35.

15. Suleymanov A.A. Analysis of technological data of the operation of oil and gas wells // Petroleum Science and Technology, 1999, Volume 17, No 5&6, p.663-669.

16. Мамед-заде Р.Б., Сулейманов А.А., Кафарова С.В. Применение коэффициента Джини для анализа процесса разработки нефтегазовых месторождений // АНХ, №11, 1999, с.10-12.

17. Сулейманов А.А. Фрактальный анализ технологических показателей работы скважин // АНХ, 2000, №1, с.17-19.

18. Аббасов А.А., Сулейманов А.А., Исмаилов А.Д. Определение фрактальной размерности временных рядов // АНХ, 2000, №6, с.8-11.

19. Сулейманов А.А. Динамический анализ особенностей процесса нефтедобычи // Сборник научных трудов НИИ «ГПНГХ» АГНА, Баку, 2000, с.184-189.

20. Мамед-заде Р.Б., Сулейманов А.А. Динамический анализ разработки нефтегазовых месторождений // АНХ, 2000, №11-12, с.50-54.

21. Абдуллаев Т.И., Мамедзаде Р.Б., Сулейманов А.А. и др. Стратегия доразработки и оценка извлекаемых запасов нефтегазовых месторождений в переходный период / "Хəзərneftqazuyataq" IV

Beynəlxalq elmi-təcrübi konfransın məruzələrin tezisləri, Bakı, 10-13 oktyabr 2000, s.159-160.

22. Гусейнов В.Г., Абдуллаев Т.И., Сулейманов А.А. и др. Комплексный подход к выбору стратегии доразработки нефтегазовых месторождений // Сборник научных трудов НИИ «ГПНГХ» АГНА, Баку, 2001, с.89-100.

23. Сулейманов Б.А., Сулейманов А.А. Применение принципов динамического анализа при разработке нефтегазовых месторождений // АНХ, 2002, №11, с.6-12.

24. Сулейманов Б.А., Сулейманов А.А. Принятие решений по управлению процессом разработки нефтегазовых месторождений // Сборник научных трудов НИИ «ГПНГХ» АГНА, Баку, 2003, IV том, с.140-152.

25. Сулейманов А.А. Регулирование процессов нефтедобычи на основе принципов самоорганизации // АНХ, 2004, №7, с.11-13.

26. Сулейманов А.А. Принятие решений по регулированию процессов разработки на основе динамических принципов // Сборник научных трудов НИИ «ГПНГХ» АГНА, Баку, 2004, с.174-178.

27. Мирзаджанзаде А.Х., Боксерман А.А., Сулейманов А.А. и др. Об аппроксиматологическом методе прогнозирования эффективности новых технологий разработки месторождений // Нефтяное Хозяйство, №2, 2004, с.120-121.

28. Мамед-заде Р.Б., Сулейманов А.А., Шукюрова Н.А. Динамические методы диагностирования и прогнозирования процессов нефтегазодобычи // Территория нефтегаз, Москва, РФ, №10, 2004, с.46-51.

29. Yataqların işlənmə vəziyyətinin sistemli təhlili və özünütəşkil proseslərinə dair metodik rəhbərlik / Mirzəcanzadə A.X., Məmmədzadə R.B., Süleymanov A.Ə. və b. ARDNŞ “Azneft” İB, Bakı: Səda, 2005, 180 s.

30. Сулейманов А.А., Аббасов А.А., Исмаилов А.Д. Метод определения фрактальной размерности временных рядов // Сборник научных трудов НИИ «ГПНГХ» АГНА, Баку, 2005, т. VI, с.156-162.

31. Мирзаджанзаде А.Х., Нагиев Ф.Б., Сулейманов А.А. Принятие решений по регулированию процесса разработки нефтегазовых месторождений на основе принципов динамического анализа // Сборник научных трудов НИИ «ГПНГХ» АГНА, Баку, 2006, т. VII, с.20-40.

32. Мирзаджанзаде А.Х., Нагиев Ф.Б., Сулейманов А.А. Применение принципов динамического анализа для принятия решений по разработке нефтегазовых месторождений // АНХ, 2006, №9, с.1-12.

33. Сулейманов А.А., Аббасов А.А., Исмаилов А.Д. Фрактальный анализ временных рядов // Нефтегазовое Дело, 2006, т.4, №2, с.179-193.

34. Сулейманов А.А., Аббасов А.А., Исмаилов А.Д. Метод определения фрактальной размерности временных рядов / “Xəzərneftqazıyataq” Beynəlxalq elmi-təcrübi konfransın məruzələrin təzisləri, Bakı, 25-26 oktyabr 2006, s.56, s.87, s.116.

35. Сулейманов А.А., Аббасов А.А., Исмаилов А.Д. Применение фрактального анализа временных рядов в нефтегазодобыче // АНХ, 2007, №2, с.15-23.

36. Сулейманов А.А., Мамедзаде Р.Б., Мамедзаде М.Р. Принципы динамического моделирования разработки нефтегазовых месторождений / “Xəzər regionu və Avropa İttifaqını birləşdirən enerji dəhlizinin sosial-iqtisadi aspektləri” Elmi Seminarı, Bakı, 11-12 aprel 2007, s.127-128.

37. Сулейманов А.А., Аббасов А.А. Диагностирование состояния пластовой системы на основе анализа колебаний технологических показателей разработки / “Xəzərneftqazıyataq” Beynəlxalq elmi-təcrübi konfransın məruzələri, Bakı, 05-06 noyabr 2008, s.102-105.

38. Suleymanov A.A., Abbasov A.A., Ismaylov A.J. Application of Fractal Analysis of Time Series in Oil and Gas Production // Petroleum Science and Technology, 2009, Volume 27, Issue 9, 915-922.

39. Suleymanov A.A., Abbasov A.A., Ismaylov A.J. Fractal analysis of time series in oil and gas production // Chaos, Solitons and Fractals, 2009, Volume 41, Issue 5, pp. 2474-2483.

40. Сулейманов А.А., Аббасов А.А. Диагностирование технологических процессов нефтегазодобычи на основе непараметрических показателей вариации // Нефтегазовое Дело, 2009, т.7, №1, с.66-71.

41. Сулейманов А.А., Аббасов А.А. Диагностирование динамических процессов нефтегазодобычи на основе анализа колебаний технологических параметров // Ученые записки НИИ «ГПНГХ» АГНА, 2009, т.Х, с.147-155.

42. Сулейманов А.А., Аббасов А.А. О некоторых критериях диагностирования состояния процессов нефтегазодобычи // Научные труды НИПИ «Нефтегаз» ГНКАР, 2010, №2, с.42-49.

43. Сулейманов А.А., Аббасов А.А. Диагностирование состояния динамических процессов на основе оценки характера распределения промысловых данных // Научные труды НИПИ «Нефтегаз» ГНКАР, 2010, №4, с.30-35.

44. Salavatov T.Ş., Məmmədşadə R.B., Süleymanov A.Ə. və b. Neft yataqlarının işlənməsinə dair. Metodik vəsait, Azərbaycan Respublikası təhsil nazirliyi, ADNA, Bakı, 2010, 138 s.

45. Suleymanov A.A., Abbasov A.A. Diagnosis of well production operations on the basis of nonparametric criteria of production data variations // Petroleum Science and Technology, 2011, Volume 29, Issue 22, 2377-2383.

46. Suleymanov A.A., Abbasov A.A. The identification of data distribution in oil production // Petroleum Science and Technology, 2011, Volume 29, Issue 23, 2480-2486.

47. Сулейманов А.А., Мамедзаде М.Р. Применение феноменологических моделей при прогнозировании процессов разработки нефтяных месторождений // Научные труды НИПИ «Нефтегаз» ГНКАР, №3, 2011, с.27-30.

48. Сулейманов А.А., Мамедзаде М.Р. Альтернативный подход к прогнозированию извлекаемых объемов нефти / Материалы Международной научно-практической конференции «Современные проблемы нефтегазового комплекса Казахстана», Актау, Казахстан, 24 февраля 2011, с.198-202.

49. Сулейманов А.А., Аббасов А.А. Оценка состояния системы пласт-скважина методом функциональной диагностики / Материалы Международной научно-технической конференции «Нефть и газ Западной Сибири», ТюмГНГУ, 19-20 октября 2011, т.1, с.300-304.

50. Сулейманов А.А., Аббасов А.А. О диагностировании процессов нефтегазодобычи / Межрегиональная научно-техническая конференция «Проблемы разработки и эксплуатации месторождений высоковязких нефтей и битумов», Ухта, УГТУ, 15-16 ноября 2012, с. 126-131.

51. Сулейманов А.А., Мамедзаде М.Р. Темпоральный подход к оценке извлекаемых объемов углеводородов / Материалы Международного семинара "Неньютоновские системы в нефтегазовой

отрасли", посвященного памяти А.Х.Мирзаджанзаде, РФ, г.Уфа, 22 ноября 2012, с.112-118.

52. Suleymanov A.A., Abbasov A.A. Application of fractals for analysis of time series fluctuations in oil production. Handbook on the Classification and Application of Fractals, Editor Kyle J. Brennan, NY: Nova Science Publishers, 2012, chapter 9, pp. 195-214.

53. Suleymanov A.A., Abbasov A.A., Malikov H.Kh. Analysis of "reservoir-well" system conditions using functional diagnostic methods // Journal of Petroleum Science and Engineering, Elsevier B.V., 2012, Volume 100, pp. 30-36.

54. Salavatov T.Sh., Mustafayev A.A., Suleymanov A.A. et al. Some aspects of efficiency improvement in further development of oil and gas fields // Azerbaijan Oil Industry, 2013, 1, pp. 25-29.

55. Сулейманов А.А., Аббасов А.А. Диагностирование состояния внутрипластовых процессов по технологическим параметрам скважин / Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие нефтегазового комплекса Казахстана», Актау, Казахстан, 25-26 апреля 2013, 2 часть, с.262-267.

56. Сулейманов А.А. Особенности процесса образования микрородышей новой фазы в газоконденсатных системах / Akademik A.X.Mirzəcanzadənin 85-illik yubileyinə həsr olunmuş beynəlxalq elmi konfransın materialları, Bakı, 21-22 noyabr 2013, s.230-231.

57. Сулейманов А.А. Анализ хаотических данных в нефтегазодобыче / Сборник трудов международной научно-технической конференции «Современные технологии в нефтегазовом деле – 2014», Уфа: Аркаим, 2014, том.1, с.189-193.

58. Сулейманов А.А. Фрактальный подход к анализу процессов нефтедобычи // Нефтепромысловое дело, 2014, №8, с.18-23.

59. Сулейманов А.А. Непараметрические критерии диагностирования распределения данных в нефтегазодобыче // Нефтепромысловое дело, 2014, №9, с.47-50.

60. Салаватов Т.Ш., Сулейманов А.А., Гусейнова Д.Ф., Аль-Раббаш Д.А. Применение непараметрических критериев для анализа процесса заводнения нефтяных месторождений // Сборник научных трудов НИИ «ГПНГХ» АГНА, Баку, 2016, т.XV, с.155-161.

Süleymanov Arif Ələkbər oğlu
Karbohidrogen yataqlarının işlənməsində qeyri taraz proseslərin
təhlilinə dinamikı yanaşma

Dissertasiya işi qeyri-taraz proseslərin təhlilinə dinamikı yanaşma əsasında karbohidrogen yataqlarının işlənməsinin səmərəliliyinin yüksəldilməsinə həsr edilmişdir.

Aparılan tədqiqatların məqsədi dinamikı yanaşma əsasında karbohidrogen yataqlarının işlənməsinin səmərəliliyinin yüksəldilməsi üçün texnoloji proseslər kompleksinin tənzimlənməsi üzrə əsaslandırılma və vaxtında qərar qəbuludur.

İşdə kondensasiyanın başlanması təzyiqindən yuxarı təzyiqdə qazkondensat sistemində yeni fazanın ruşeym əmələgəlmə prosesi ilə bağlı qeyri-taraz effektlərin məsaməli mühitin süzülmə xassələrinə təsiri öyrənilmişdir.

Quyuların normal istismarı məlumatlarının təhlili əsasında məsaməli mühidə qeyri-taraz sistemlərin diaqnozlaşdırılması metodikasını və hidrodinamik tədqiqatların məlumatları əsasında qazkondensat sisteminin reofizik xarakteristiklərinin təyini metodik əsasları işlənilmişdir.

Aparılmış təcrübi tədqiqatlar əsasında qazkondensat sistemlərində keçiddən əvvəlki zonada yeni fazanın ruşeyminin formalaşma və inkişaf mexanizmi əsaslandırılmışdır.

Dissertasiya işində zaman sıralarının fraktal ölçülərinin hesablama metodikasını, yaxın fraktallara malik olan proseslərin vəziyyətinin diaqnozlaşdırılması və əsas texnoloji göstəricilərin rəqslərinin paylanma xarakterinin dəyişməsi əsasında dinamikı proseslərinin vəziyyətinin diaqnozlaşdırma metodikasını işlənilmişdir.

Su təsiri əsasında işlənmənin son mərhələsində olan qazkondensat yatağının işlənməsinin səmərəliliyinin yüksəldilməsinin metodoloji əsasları yaradılmışdır. Dissertasiyada təklif olunmuş qazkondensat yatağına su təsiri üsulunun Bahar yatağının 2 blok VI horizontuna tətbiqi onun səmərəliliyini göstərdi, 1 ildə əlavə olaraq 54,474 mln³ qaz və 1089 t kondensat hasil etməyə imkan verdi.

Karbohidrogen yataqlarının işlənməsinin səmərəliliyinin yüksəldilməsinə təsir göstərən işlərin yaradılması və prinsiplərin təkmilləşdirilməsinin nəticələri Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin və «Neftin Qazın Geotexnoloji problemləri və Kimya» ETİ-nin elmi-təcrübi, dövlət büdcəli və təsərrüfat hesablı işlərində, həmçinin SOCAR-ın «Azneft» İB metodik rəhbərliyində istifadə olunmuşdur.

Suleymanov Arif Alekper
A dynamic approach to the analysis of non-equilibrium processes in hydrocarbon fields development

The dissertation is devoted to hydrocarbon field development efficiency improvement based on dynamic approach to the analysis of non-equilibrium processes.

This work is targeting the hydrocarbon field development efficiency improvement, based on timely decision making on non-equilibrium oil and gas production processes control.

The work studies the impact of non-equilibrium processes associated with the new phase nucleation in gas condensate systems at pressures higher than dew-point pressure, on fluid flow in porous media characteristics.

The diagnostics method of non-equilibrium processes in porous media was developed based on normal well performance data analysis. Also, methodic basics of gas condensate systems' rheophysical characteristics determination based on PTA data were developed.

A new phase nucleation and development mechanism in pre-transition zone of gas condensate systems is suggested based on conducted experimental research. The ability to define formation pressure support measures' optimum parameters was identified considering for the new phase nuclei impact on gas condensate systems depletion.

Time series' fractal sizing calculation method and proximate fractal sizing processes' condition diagnosis were developed in this dissertation, as well as dynamic processes condition's diagnostic method based on change in the main technologic properties' oscillations' distribution.

The methodological basics of gas condensate fields' development efficiency improvement at late development stage using waterflood were created. Experimental field application of the method proposed in dissertation by waterflood introduction into gas condensate fields, in the block 2, horizon VI of the Bahar field proved its efficiency and allowed extra production of 54,474 MM m³ of gas and 1089 tons of condensate.

The results of the work on creation and improvement of principles and methods, contributing to hydrocarbon field development efficiency improvement were used and referred to in scientific research conducted in Azerbaijan State Oil and Industry University, "Geotechnological problems of oil, gas, and chemistry" research institute, and also in methodic guidelines of the Production Association "Azneft" SOCAR.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Əlyazması hüququnda

SÜLEYMANOV ARIF ƏLƏKBƏR OĞLU

**KARBOHİDROGEN YATAQLARININ
İŞLƏNMƏSİNDƏ QEYRİ TARAZ PROSESLƏRİN
TƏHLİLİNƏ DİNAMİKİ YANAŞMA**

İxtisas 2526.01 – «Dəniz faydalı qazıntı yataqlarının işlənməsi
texnologiyası »

Texnika üzrə elmlər doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim
edilmiş dissertasiyanın
AVTOREFERATI

Bakı - 2016