

**Министерство Образования Азербайджанской Республики
Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности**

На правах рукописи

Новрузова Судаба Гаджи кызы

**ПОВЫШЕНИЕ НЕФТЕОТДАЧИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
АНОМАЛЬНЫХ НЕФТЕЙ С УЧЁТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ
ИХ РАЗРАБОТКИ**

Специальность: 2526.01—«Технология разработки морских
месторождений полезных ископаемых»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
доктора философии по технике

Баку – 2017

Работа выполнена на кафедре «Нефтегазовая инженерия» при
Азербайджанском Государственном Университете Нефти и Промыш-
ленности

Научный руководитель:

доктор технических наук,
профессор

Самедов Тофиг Алиовсат оглы

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор

Мамедзаде Ариф Микаил оглы

Кандидат технических наук,
доцент

Мамалов Евгений Николаевич
НИПИ «Нефтегаз», SOCAR

Ведущее предприятие:

Защита состоится 12 мая 2017 года, в 12 часов на заседании
Диссертационного Совета D02.141 при Азербайджанском Государст-
венном Университете Нефти и Промышленности по адресу: 1010, г.
Баку, пр. Азадлыг 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Азербай-
джанского Государственного Университета Нефти и Промышленно-
сти.

Автореферат разослан «_____» _____ 2017 года

Ваши отзывы в двух экземплярах, заверенные гербовой печат-
тью, просим направлять по указанному адресу учёному секретарю
диссертационного совета.

Учёный секретарь

Диссертационного Совета D 02.141

к. т. н., доцент

А.В.Мамедов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современные условия разработки нефтяных месторождений на поздней стадии характеризуются постоянным поиском наиболее эффективных технологических мероприятий, направленных на наращивание добычи трудноизвлекаемых углеводородов.

Причины возникновения данной проблемы следующие: осложняются условия извлечения оставшихся извлекаемых запасов из-за снижения проницаемости, ухудшение свойств нефти, не обеспечивается необходимая полнота охвата пластов заводнением и т.д.

Применение общепринятых технологий воздействия на продуктивный пласт и использование традиционных методов нефтедобычи иногда приводит к процессу ухудшения фильтрационных свойств вязко-пластичных жидкостей в пласте и призабойной зоне, а следовательно к снижению показателей разработки.

Известно, что при фильтрации вязко-пластичных нефтей наблюдается проявление начального градиента давления, которое приводит к потерям части прилагаемой общей депрессии, называемой начальным перепадом давления. Для предотвращения этого нежелательного явления в диссертационной работе предлагается осуществление конкретных методов воздействия на пласт.

В этой области предложены различные способы решения данной проблемы, но возникает необходимость поиска новых решений для увеличения нефтеотдачи месторождения вязко-пластичных нефтей со сложными геолого-физическими условиями для обеспечения оптимальных режимов работы эксплуатационных нефтяных и нагнетательных водяных скважин, совершенствования процессов разработки месторождений вязко-пластичных нефтей. Данная диссертационная работа посвящена частичному решению вышеназванных задач и предмет ее изучения является актуальным.

Цель работы: анализируя геолого-физические условия месторождений, определяя структурно-механические свойства вязко-пластичных нефтей в пластовых условиях на основе гидродинамических исследований, разработать и внедрить мероприятия по увеличению коэффициента нефтеотдачи.

Основные задачи исследования:

-совершенствование способа определения структурно-механических свойств (СМС) вязко-пластичных нефтей для повышения точности результатов анализа;

-выявление особенностей продуктивности галерей и скважин, эксплуатирующих вязко-пластичные нефтяные месторождения;

-разработка метода определения коэффициента проницаемости пласта при различных стационарных фильтрационных потоках к галерее и к скважине;

-разработка задач о простых стационарных фильтрационных потоках вязко-пластичных нефтей в пористой среде;

-теоретическое обоснование разработки месторождений вязко-пластичных нефтей путем гидродинамических исследований;

-определение объема утечек воды, закачиваемой в пласт с целью повышения коэффициента нефтеотдачи.

Способы решения поставленных задач: поставленные в диссертационной работе задачи решаются на основе лабораторно-экспериментальных и промысловых исследований, решением гидродинамических задач теории разработки месторождений вязко-пластичных нефтей.

Научная новизна:

1. Разработан оперативный метод определения структурно-механических свойств вязко-пластичных нефтей с применением усовершенствованного двухкамерного капиллярного вискозиметра.

2. Определены особенности изменения продуктивности скважин и проницаемости пласта, продуцирующих вязко-пластичные нефти. На основе анализа поведения между истинным и приведенным коэффициентами пласта выявлено, что приведенный коэффициент продуктивности не зависит от полезной части общей депрессии, а истинный коэффициент продуктивности увеличивается с увеличением общей депрессии.

3. На основе анализа распределения давления в работающем фонтанном подъемнике предложен способ определения давления насыщения нефти газом и определено место выделения газа из нефти в дренажной зоне скважины.

4. Показана возможность применения модифицированной формы обобщенного закона фильтрации Дарси при решении задач о простых стационарных фильтрационных потоках.

5. Разработаны методологические основы определения объема утечек воды, закачиваемой в пласт при разработке полосообразных и круговых месторождений вязко-пластичных нефтей в случаях приконтурного и законтурного искусственного заводнений, и предложен

способ уменьшения объема утечек нагнетаемой воды в пласт при различных схемах искусственного заводнения.

Практическая ценность и реализация результатов работы:

1. В практических условиях установка капиллярного вискозиметра позволяет одновременно определить СМС двух различных проб вязко-пластичных нефтей, а учитываемое гидростатическое давление столба нефти в камере вискозиметра повышает точность определений. Установка была применена для определения СМС вязко-пластичных нефтей месторождений НГДУ «Апшероннефть».

2. Предложенный способ определения давления насыщения нефти газом применялся в фонтанирующих нефтяных скважинах месторождения «Дарвин Банкасы» (№645, 648, 637, 638, 739) и позволяет определить оптимальные режимы работы скважин.

3. Разработанный способ определения места выделения газа из нефти в дренажной зоне работающих скважин может быть применен на эксплуатационных объектах месторождений, продуцирующих вязко-пластичные нефти.

4. Приведенные формулы для простых фильтрационных потоков вязко-пластичных нефтей в пористой среде используются для решения гидродинамических задач теории разработки месторождений вязко-пластичных нефтей. Результаты решения позволяют вычислять дебиты нефти рядов эксплуатационных скважин при заданных забойных давлениях, а также вычислять забойные давления скважин при заданных дебитах нефти скважин или рядов скважин.

5. Определение объема утечек воды, закачиваемой в пласт, и предложенный способ уменьшения этих утечек имеет практическое значение для интенсификации добычи вязко-пластичных нефтей и повышения значения коэффициента нефтеотдачи.

Апробация работы: основные положения диссертационной работы докладывались на:

-Международной научно-технической конференции «Проблемы разработки и эксплуатации месторождений высоковязких нефтей и битумов». Ухтинский Государственный Технический Университет, 14-15 ноября 2013 г., стр.30-36

-Десятой международной научно-практической нефтегазовой конференции. Ставрополь, 21-24 октября 2013, (тезисы доклада), стр.73-75

-Материалы Международной научной конференции, посвященной 85-летию юбилея академика А.Х.Мирзаджанзаде, Баку, 21-22 ноября 2013 г., стр.191-193

- Научно-технической конференции преподавателей и сотрудников, Ухтинский Государственный Технический Университет, Ухта, 22-25 апреля 2014 г., стр.81-84

-Международной научно-технической конференции «Проблемы разработки и эксплуатации месторождений высоковязких нефтей и битумов». Ухтинский Государственный Технический Университет, 14-15 ноября 2014 г., стр. стр.158-165

Публикация работы: По диссертационной работе опубликованы 16 работ, из них 10 научных статей, 5 тезисов и 1 методическое пособие, утвержденное ПО Азнефть.

Объем и структура работы: Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем работы составляет 154 страниц, включая 36 рисунков, список литературы, который включает 121 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении диссертации обоснована актуальность темы, изложена цель работы, основные задачи исследований, научная новизна, защищаемые предположения, практическая ценность работы и т.д.

Анализируя современное состояние изучения проблем, касающихся темы диссертационной работы, необходимо отметить заслугу следующих учёных и исследователей, которые получили важные теоретические результаты, относящиеся к основным задачам данного исследования: А.Х.Мирзаджанзаде, Г.И.Баренблат, В.М.Ентов, Б.И.Султанов, А.М.Хасаев, Р.С.Гурбанов, З.М.Ахмедов, А.Г.Ковалёв, Ю.В.Зайцев, В.В.Девликамов, Г.Г.Вахитов, З.А.Хабибуллин, М.М.Кабилов, М.К.Багиров, А.А.Литвинов, В.Х.Латыпов, В.И.Ильяев, Н.Р.Рахимов, В.А.Алиев, О.П.Рагимов, Г.Г.Гумбатов, В.Н.Щелкачёв, Е.И.Петрушевский, С.Д.Мустафаев, М.Ф.Алишаев, М.Г.Бергачёв, В.М.Рыжик, Э.В.Скворцов, В.И.Грайфер и многие другие.

В первой главе диссертации приводится краткий обзор научно-исследовательских работ, выполненных с целью изучения характерных особенностей месторождений аномальных, в том числе, и вязко-пластичных нефтей. В работе представлен обзор лабораторных, экспериментальных и промысловых работ, выполненных с целью выявления характера нефтей в пластовых условиях на месторождениях

Азербайджана, Ближнего и Дальнего Зарубежья. Эти исследования проводились, начиная с шестидесятых годов XX века по многим нефтяным месторождениям с целью определения СМС, а именно предельного напряжения сдвига и структурной вязкости методом капиллярного вискозиметрирования.

Анализ характерных фильтрационных особенностей продуцирования нефтей, а также особенностей реофизического поведения позволило определить различные классы месторождений, одним из которых являются месторождения аномальных нефтей.

В результате исследований выявились месторождения аномальных нефтей: Дарвин Банкасы, Палчыг Пильпиляси, Гум адасы, Западно-Сургутское, Правдинское, Южно-Балыкское, Самотлорское, Советско-Сосинское, Мамонтовское, Сангачалы-море, Дуваный-море, Узень и Жетыбай Западного Казахстана, месторождений Узбекистана и т.д.

Далее проанализированы работы, выполненные с целью выявления характерных особенностей процессов разработки месторождений аномальных, в частности вязко-пластичных нефтей, которые необходимо учитывать при принятии решения по интенсификации и стабилизации процессов отбора нефтей и текущего коэффициента нефтеотдачи.

Во второй главе диссертации предложена усовершенствованная лабораторно-экспериментальная установка с двумя капиллярными вискозиметрами для определения СМС вязко-пластичных нефтей. Предложена методика, которая позволяет учитывать значение гидростатического давления столба исследуемой жидкости в камере вискозиметра, состоящая из цилиндрической и конической частей, позволяющая повысить точность определений СМС нефтей. Разработанный подход апробирован на месторождениях НГДУ «Апшероннефть» и дал возможность определить структурно-механические параметры исследуемых нефтей.

Представлена технологическая схема экспериментальной установки и подробно изложены алгоритм последовательного проведения исследовательских операций. Были сняты графики зависимостей объёмного расхода образца нефти через капиллярную трубку вискозиметра от перепада давления при различных температурах. Полученные зависимости позволяют определить характерные особенности течения неньютоновских жидкостей с последующим определением начального перепада давления.

Построенные криволинейные графики зависимостей $\tau_0 = \tau_0(t)$ и $\eta = \eta(t)$, показывают, что с увеличением температуры (t) СМС нефти уменьшаются.

Для точного получения результатов построен график зависимости высоты столба нефти в камере вискозиметра от расхода истекаемой нефти через капилляр. Прямолинейная верхняя часть этого графика относится к цилиндрической верхней части камеры вискозиметра, а криволинейная нижняя часть графика – к конической нижней части камеры. Найдена линейная связь между высотой столба нефти и объёмом нефти истекающей через капилляр, в виде:

$$P_{cm} = (h_1 + h'')\gamma - \frac{4\gamma}{\pi d^2} \cdot V$$

Решена геометрическая задача и найдена зависимость высоты столба жидкости h_2 от объёма истекаемой жидкости V в виде:

$$\left(\frac{d - d_1}{h''} \right) \cdot h_2^3 + 3 \frac{d_1(d - d_1)}{h''} \cdot h_2^2 + 3d_1^2 h_2 = h''(d^2 + d_1^2 + dd_1) - \frac{12}{\pi} \cdot V$$

Для получения явной формы зависимости $h_2 = h_2(V)$ требуется решить кубическое уравнение относительно h_2 . Для решения этой задачи, были приняты несколько значений для h_2 и из кубического уравнения вычислены значения V , соответствующие этим значениям. После этого построена криволинейная часть графика, относящаяся к конической части камеры вискозиметра. Технология проведения вискозиметрического исследования включает в себя поддержание постоянного гидростатического давления путем регулирования элементами вискозиметрической установки.

В этой же главе изложены особенности продуктивности прямолинейных галерей и скважин, эксплуатирующих месторождения вязко-пластичных нефтей. Установлено, что при разработке и эксплуатации месторождений вязко-пластичных нефтей, проявляется начальный градиент давления (НГД) в дренажных зонах галерей и скважин. При этом, часть приложенной общей депрессии расходуется на преодоление предельного напряжения сдвига нефти в пластовых условиях, при изменении общей депрессии в интервале $0 < \Delta P < \Delta P_0$. Это значит, что ΔP_0 не совершает работу, т.е. работу совершает другая часть общей депрессии, которая равняется разности между общей депрессией и начальным перепадом давления $\Delta P - \Delta P_0$. Поэтому, для

галерей и скважин, продуцирующих вязко-пластичные нефти, предлагают рассматривать два вида коэффициента продуктивности:

- истинный коэффициент продуктивности, который вычисляется по приложенной общей депрессии ΔP ;

- приведённый коэффициент продуктивности, который вычисляется по полезной части общей депрессии $\Delta P - \Delta P_0$.

В работе также представлены зависимости для определения значений коэффициентов продуктивности, как для прямолинейной галереи, так и для скважины.

Выявление особенностей коэффициентов продуктивности позволяет сделать следующие выводы: с увеличением значения общей депрессии, приложенной к галерее и скважине, продуцирующие вязко-пластичные нефти, значение истинного коэффициента продуктивности увеличивается, а значение приведённого коэффициента продуктивности остаётся постоянной величиной. Отсюда, для повышения коэффициента нефтеотдачи месторождений вязко-пластичных нефтей, эксплуатацию подобных галерей и скважин необходимо вести по возможности при высоких общих депрессиях.

В диссертации предложены также методы определения истинных и приведённых коэффициентов проницаемости пласта, как для прямолинейных галерей, так и для скважин с плоско-радиальным и со сферически-радиальным фильтрационным потоками в их дренажных зонах. Для всех рассматриваемых фильтрационных потоков вязко-пластичных нефтей в пласте разработаны и представлены аналитические зависимости между различными (истинными и приведёнными) коэффициентами проницаемости пласта.

Показано, что способы повышения нефтеотдачи месторождений вязко-пластичных нефтей, с точки зрения механизма воздействия на пласт, отличаются следующими фактами:

- по возможности необходимо уменьшить неполезную часть общей депрессии ΔP_0 ; это может быть достигнуто путём уменьшения предельного напряжения сдвига вязко-пластичной нефти в пластовых условиях;

- по возможности следует уменьшить значение структурной вязкости вязко-пластичной нефти в пластовых условиях за счет внешнего воздействия на пластовую систему. Для получения большего эффекта следует добиваться, чтобы $\tau_0 = 0$ и $\eta = \mu$, при этом вязко-пластичная

нефть в пластовых условиях превращается в ньютоновскую нефть и структурная вязкость η превращается в динамическую вязкость μ .

Во второй главе впервые предложен способ для определения значения давления насыщения нефти газом в работающем фонтанном подъёмнике.

Сущность предложенного метода заключается в следующем: глубинный манометр спускается на забой через лубрикатор, установленный на месте буфера и после выдержки на забое в 15 минут, поднимая ее на поверхность, снимается на картограмме ступенчатая диаграмма в интервале глубин 100–200 метров; затем строится график распределения давления в работающем фонтанном подъёмнике.

Практика применения этого способа в фонтанирующих нефтяных скважинах показала, что наблюдаются различные виды распределения давления в подъёмниках скважин:

- растворённый газ начинает выделяться из нефти в дренажной зоне (в том числе и в призабойной зоне пласта),

- на забое скважины,

- в стволе скважины на определённой высоте от забоя и т.д.

В этих случаях для определения начала выделения газа из нефти в стволе скважины получаются следующие три вида графика распределения давления:

- кривая, вогнутая относительно оси глубин, начиная от забоя и кончая устья скважины, которая не даёт возможности определить значение давления насыщения;

- график состоит из двух частей: нижняя прямолинейная и верхняя криволинейная части. Этот график позволяет определить значение давления насыщения и глубину начала выделения газа из нефти;

- график является одной наклонной прямой, начиная от забоя и заканчивая на устье скважины.

Представлены результаты проводимого анализа причин происходящих физических явлений, зависящих от режимов работы фонтанных нефтяных скважин. Кроме того, подробно освещены положительные и отрицательные стороны различных случаев распределения давления.

Показано, что самым информативным условием является тот, когда газ начинает выделяться из нефти на забое скважины, и диктует необходимость поддержания пластового давления выше давления насыщения.

В этой же главе показаны основные факторы, влияющие на значение давления насыщения, и отмечены характеры влияния этих факторов. Чем меньше значение давления насыщения, тем выше получится коэффициент нефтеотдачи. Поэтому, для этой цели, требуется разработать и внедрять мероприятия понижающие значение давления насыщения нефти газом, воздействуя на отмеченные факторы в требуемых направлениях.

В первом и втором случаях график распределения давления в стволе фонтанирующей скважины получается в виде монотонной кривой, вогнутой относительно оси глубин, т.е. не имеет прямолинейную часть. В одном из этих двух случаев, газ начинает выделяться из нефти на забое скважины, а в другом случае—в дренажной зоне пласта. Однако неизвестно, какой из них существует в действительности. Эта задача требует особого решения и требует проведения дополнительных, дорогостоящих, трудоёмких работ—бурения новых наблюдательных скважин, их освоения и промысловых исследований. В результате успешного решения этой задачи, необходимо найти ответы на следующие вопросы:

-растворенный газ из нефти начинает выделяться на забое скважины или в дренажной зоне пласта?

-если газ начинает выделяться из нефти в дренажной зоне, на каком радиальном расстоянии от скважины это происходит?

-чему равняется значение давления на этом радиальном расстоянии от скважины в дренажной зоне, значение которого равняется значению давления насыщения.

Для нахождения правильных ответов на все эти вопросы, прежде всего необходимо иметь в наличии фактическое распределение давления в дренажной зоне работающей фонтанной скважины по радиусу-вектору, начиная от контура питания и заканчивая на скважине. Однако для решения данной задачи недостаточно иметь только это распределение давления, необходимо также иметь распределение давления в той же дренажной зоне для однофазного фильтрационного потока той же пластовой нефти.

В конце второй главы диссертации предлагаются способ решения этой проблемы, который ещё до сих пор ни кем не был использован и не был внедрён.

В теории фильтрации известны законы распределения давления в дренажной зоне работающей нефтяной скважины, при фильтрации различного характера нефтей по различным законам фильтрации. В

литературе представлены аналитические выражения этих законов. В этих формулах, переменными величинами являются текущее давление и текущий радиус вектор. Остальные физические величины, входящие в эти формулы или известны, или их значения определяются в результате лабораторно-экспериментальных и промысловых исследований.

По численным значениям этих величин для конкретных геолого-физических условий строится вторая кривая распределения давления в дренажной зоне скважины. Здесь необходимо также определить свойства нефти в пластовых условиях и ее закон фильтрации.

Для определения места начала выделения газа из нефти в дренажной зоне, предлагается выполнять следующие работы:

1)пробурить 3-4 наблюдательные скважины на расстоянии 20 м друг от друга по радиусу контура питания;

2)освоить все эти скважины;

3)прекратить их эксплуатацию и добиться стабилизации забойных давлений;

4)замерить их динамические забойные давления и построить фактическую кривую распределения давления в дренажной зоне;

5)сопоставить эту фактическую первую кривую со второй кривой для нефти без свободного газа.

В результате сопоставления этих двух кривых в дренажной зоне, могут получиться следующие два случая:

-первая и вторая кривые распределения давления в дренажной зоне полностью совмещаются;

-в начальной части со стороны контура питания они полностью совмещаются, а конечные части их разветвляются.

В первом случае газ начинает выделяться из нефти на забое скважины, так как график распределения давления в стволе скважины не имеет прямолинейной части.

Во втором случае, определяется место начала выделения газа из нефти в дренажной зоне, т.е. точка начала разветвления кривых есть значение давления насыщения нефти газом.

В третьей главе диссертации изложены решения стационарных гидродинамических задач о простых фильтрационных потоках несжимаемой вязко-пластичной нефти в однородных пластах. Эти задачи решены на основе модифицированной формы обобщённого закона Дарси, где принимает участие начальный градиент давления, а абсолютная проницаемость пласта по воздуху отсутствует. Выведены формулы дебитов нефти, скорости фильтрации, градиентов давления,

законов распределения давления в дренажной зоне и времени продвижения частицы вязко-пластичной жидкости в пласте для каждого потока в отдельности.

Отмечено, что простые и сложные гидродинамические задачи в теории разработки месторождений вязко-пластичных нефтей успешно решаются с использованием этих формул. Здесь же приведены конкретные формулы простых фильтрационных потоков вязко-пластичных нефтей.

В четвёртой главе диссертации рассмотрены некоторые гидродинамические задачи теории разработки месторождений вязко-пластичных нефтей с водонапорным режимом работы пласта.

Вначале изложены результаты решения задач разработки полоособразных месторождений вязко-пластичных нефтей. Фильтрационные потоки нефти в пласте являются установившимися и поэтому для вывода расчётных гидродинамических формул с одной стороны, применяется метод эквивалентных фильтрационных сопротивлений, а с другой стороны, использовался метод электрогидродинамической аналогии теории фильтрации, а также закон Кирхгофа и на их основе были составлены системы расчётных уравнений.

Этим путём решены три задачи, отличающиеся числами прямолинейных рядов эксплуатационных скважин, т.е. в первой задаче в залежи работает один ряд скважин, во второй задаче - два ряда, а в третьей задаче - три ряда скважин, продуцирующих вязко-пластичную нефть.

В этих задачах, в составленных системах число уравнений равняется числу рядов действующих продуцирующих скважин.

Эти уравнения составлены на основе гидродинамической и электрической схем нефтяного месторождения.

По всем трём задачам выведены формулы для подсчёта дебитов нефти каждого ряда эксплуатационных скважин в отдельности при постоянном пластовом давлении и при заданных постоянных динамических забойных давлениях. Из построенных систем уравнений выведены формулы для определения динамических забойных давлений в скважинах каждого ряда скважин по заданным значениям дебитов вязко-пластичной нефти отдельных рядов скважин.

Далее в четвёртой главе, представлено решение гидродинамической задачи об определении объёма утечек воды, закачиваемой в полоособразный пласт через нагнетательные водяные скважины, при законтурном и приконтурном искусственном заводнении.

В этом варианте разработки, в залежи работают один ряд эксплуатационных скважин, продуцирующих вязко-пластичную нефть. Для поддержания пластового давления в залежи применяется метод законтурного или приконтурного заводнения с одним рядом нагнетательных водяных скважин. Решена гидродинамическая задача и выведены формулы для расчёта суточной приемистости ряда нагнетательных водяных скважин и для расчёта дебита нефти ряда эксплуатационных скважин.

Для определения суточного объёмного расхода воды ряда нагнетательных скважин, уходящей в водоносную зону нефтяной залежи (т.е. объёма утечки воды), из суточного расхода нагнетательных скважин, вычитывается объёмный дебит нефти ряда добывающих нефтяных скважин. Утечка воды в водоносную зону оценивается как потери в объёмах закачиваемой в пласт воды, так и потери в объёмных дебитах нефти и газа.

Поэтому, необходимо разработать и внедрять мероприятия по уменьшению объёма утечек воды, закачиваемой в пласт. Эти мероприятия являются новыми методами повышения коэффициента нефтеотдачи нефтяных месторождений.

В этой части главы приведены численные расчёты для конкретных геолого-физических условий и результаты этих вычислений показали, что с увеличением СМС вязко-пластичной нефти, объём утечек воды, закачиваемой в пласт при законтурном или приконтурном заводнениях увеличивается, а суммарная суточная производительность ряда нефтяных скважин уменьшается. Далее в последней главе диссертации решены три задачи теории разработки кругового месторождения вязко-пластичной нефти. В этих задачах контур нефтеносности и все ряды продуцирующих скважин являются концентричными окружностями различного радиуса.

Самой простой формулой для подсчёта дебита ряда эксплуатационных скважин полосообразного месторождения вязко-пластичной нефти является формула для случая разработки, когда в месторождении работает всего один ряд скважин. Эта формула имеет следующий вид:

$$Q = \frac{kBh(P_k - P_c - \Delta P_{01} - \Delta P_{02})}{\eta \left(L + \frac{\sigma_1}{\pi} \ln \frac{\sigma_1}{\pi r_c} \right)}$$

где k – проницаемость пласта; B – ширина пласта; h – мощность пласта; P_k – пластовое давление; P_c – забойное давление скважины; $\Delta P_{01}, \Delta P_{02}$ – начальные перепады давления, соответственно для плоско-параллельного и для плоско-радиального простых фильтрационных потоков нефти; η – структурная вязкость вязко-пластичной нефти в пластовых условиях; L – длина пласта; σ_1 – половина расстояния между скважинами в ряду; r_c – радиус скважины.

В результате специальных экспериментальных исследований Б.И. Султанов предложил следующую связь между начальным перепадом давления ΔP_0 и предельным напряжением сдвига вязко-пластичной нефти τ_0 в пластовых условиях:

$$\Delta P_0 = \frac{\alpha \tau_0 \cdot L}{\sqrt{k'}},$$

где $\alpha = (155 \div 180) \cdot 10^{-4}$ – безразмерный коэффициент, найденный в результате экспериментов. Среднее значение $\alpha = 167 \cdot 10^{-4}$, L – длина пути фильтрации вязко-пластичной жидкости; k' – абсолютная проницаемость пористой среды, определяется по воздуху.

Учитывая вышеизложенное, получаем:

$$\Delta P_{01} = \frac{167 \cdot 10^{-4} \tau_0 L}{\sqrt{k'}} \quad \text{и} \quad \Delta P_{02} = \frac{167 \cdot 10^{-4} \tau_0 (R' - r_c)}{\sqrt{k'}}; \quad R' = \frac{\sigma_1}{\pi}.$$

Таким образом, более раскрытая форма дебита ряда скважин получается в виде

$$Q = \frac{kBh \left[P_k - P_c - \frac{167 \cdot 10^{-4} \tau_0}{\sqrt{k'}} \left(L + \frac{\sigma_1}{\pi} - r_c \right) \right]}{\eta \left(L + \frac{\sigma_1}{\pi} \ln \frac{\sigma_1}{\pi r_c} \right)}$$

В результате анализа этой формулы, выявлены следующие особенности:

-при прочих равных условиях, на значение дебита нефти всего ряда скважин существенно влияют структурно-механические свойства вязко-пластичной нефти в пластовых условиях;

-с уменьшением предельного напряжения сдвига τ_0 вязко-пластичной нефти в пластовых условиях, следовательно, и с умень-

шением начального перепада давления ΔP_0 , дебит ряда эксплуатационных скважин увеличивается;

-с уменьшением значения структурной вязкости η вязко-пластичной нефти в пластовых условиях, дебит ряда эксплуатационных скважин увеличивается.

Отмеченные особенности разработки подобных нефтяных месторождений дают возможность разработать и внедрять мероприятия по выявлению дополнительных источников повышения нефтеотдачи месторождений аномальных нефтей.

В качестве примера аналогичным способом были решены задачи разработки полосообразного месторождения вязко-пластичной нефти, где работают два и три ряда эксплуатационных скважин и выведены формулы для определения дебита по каждому ряду скважин. Для конкретных геолого-физических условий разработки полосообразного месторождения вязко-пластичной нефти приведены численные расчёты и определена суточная добыча нефти, где работает (в первой задаче) один ряд скважин, которая равняется $Q = 2601,0 \text{ м}^3/\text{сут.}$ Так как, в этом варианте разработки, число скважин в ряду: $n = 40$, дебит одной скважины составляет:

$$q = \frac{Q}{n} = \frac{2601,0}{40} = 65,0 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Численные расчёты для конкретных геолого-физических условий разработки подобного полосообразного нефтяного месторождения приведены и по определению объёма утечек воды в законтурную водоносную зону, она составляет в данном случае 1/5 часть.

Как отмечено выше, аналогичные задачи теории разработки месторождений вязко-пластичных нефтей были решены также для круговых месторождений. В первой задаче, для определения дебита единственного ряда эксплуатационных скважин выведена следующая формула:

$$Q = \frac{2\pi kh \left[P_k - P_c - \frac{167 \cdot 10^{-4} \tau_o}{\sqrt{K'}} (R_k - r_c) \right]}{\eta \left(\ell n \frac{R_k}{R} + \frac{\sigma}{\pi R} \ell n \frac{\sigma}{\pi r_c} \right)}$$

В результате проведённого анализа этой формулы, получены такие же выводы, которые были получены и для подобного случая раз-

работки полосообразного месторождения вязко-пластичной нефти; здесь также выявлены новые резервы повышения нефтеотдачи пластов, продуцирующих вязко-пластичные нефти.

Результаты решения задач разработки круговых месторождений вязко-пластичных нефтей с двумя и тремя рядами эксплуатационных скважин, показали что, одной из особенностей разработки подобных нефтяных месторождений является то, что они характеризуются низкими дебитами скважин, несмотря на приложенные высокие депрессии. Поэтому, в таких нефтяных месторождениях, с целью повышения нефтеотдачи, следует применять тепловые методы воздействия путём закачки горячей воды в пласт.

Например, произведённые численные расчёты показали, что в результате качественного проведения тепловых методов воздействия на пласт можно повысить добычу нефти в несколько раз.

Далее в четвёртой главе диссертации представлены результаты расчётов продолжительности полной разработки месторождения вязко-пластичной нефти.

Показано, что в месторождении с двухрядным расположением эксплуатационных скважин, полный период разработки состоит из двух стадий.

В первой стадии в месторождении одновременно работают оба ряда нефтяных скважин, и контур нефтеносности перемещается от первоначального положения до первого ряда эксплуатационных скважин.

На этой стадии варианта разработки суммарный объём извлекаемой вязко-пластичной нефти определяется следующим образом:

$$\sum Q_I = \pi (R_k^2 - R_1^2) h m S_H = 3,14 (3000^2 - 2500^2) 5 \cdot 0,2 \cdot 0,8 = 5,9 \cdot 10^6 \text{ м}^3$$

где m , S_H – коэффициенты пористости и нефтенасыщенности пласта.

Сумма дебитов обоих рядов скважин на первой стадии разработки составляет:

$$(Q_1 + Q_2)_I = 318,0 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Продолжительность первой стадии первого варианта разработки месторождения будет:

$$T_I = \frac{\sum Q_I}{(Q_1 + Q_2)_I} = \frac{5,9 \cdot 10^6}{318,0} = 21691 \text{ дней} \approx 59 \text{ лет}$$

Во второй стадии первого варианта разработки месторождения работает только один второй ряд скважин с дебитом $Q_2 = 188,0 \text{ м}^3/\text{сут.}$, и контур нефтеносности перемещается от линии первого ряда скважин

до линии второго ряда скважин, и этим самым, завершается процесс разработки месторождения.

При этом суммарный объём добычи нефти составляет:

$$\Sigma Q_{II} = \pi (R_1^2 - R_2^2) h m S_H = 3,14 (2500^2 - 2000^2) 5 \cdot 0,2 \cdot 0,8 = 5,9 \cdot 10^6 \text{ м}^3$$

Продолжительность второй стадии будет:

$$T_{II} = \frac{\Sigma Q_{II}}{Q_2} = \frac{5,9 \cdot 10^6}{188,0} = 31350 \text{ дней} \approx 86 \text{ лет}$$

Время полной разработки месторождения (без применения какого-нибудь мероприятия) будет:

$$T_{пол} = T_I + T_{II} = 59 + 86 = 145 \text{ лет.}$$

Таким образом, выявлена ещё одна особенность указанного типа нефтяных месторождений: по сравнению с месторождениями ньютоновских нефтей, у них продолжительность полной разработки занимает большое время, уменьшение которого имеет большое практическое значение, особенно при разработке морских нефтяных месторождений.

Подобные расчёты произведены также для второго варианта разработки месторождений вязко-пластичной нефти, когда применяются мероприятия по ликвидации СМС нефтей в пластовых условиях. Эти расчёты показали, что при этом продолжительность полной разработки месторождения сокращается больше чем в 10 раз.

По результатам решения задачи об определении объёма утечек воды, закачиваемой в круговое месторождение вязко-пластичной нефти для конкретных геолого-физических условий разработки, произведены расчёты, и определён объём утечек воды, составляющей $46 \div 50\%$ от общего объёма закачиваемой воды в пласт.

Допустим, в результате теплового воздействия на месторождение получены $\tau_0 = 0$, $\eta = \mu = 2 \cdot 10^{-9}$ МПа·с; $\Delta P_{o_1} = 0$ и $\Delta P_{o_2} = 0$, $k = 0,5 \cdot 10^{-12}$ м² и по этим данным подсчитанный объём утечек воды составлял 3,5 % от общего объёма закачиваемой в пласт.

Рассмотрены методологические основы уменьшения объёма утечек воды, закачиваемой в пласт при законтурном и приконтурном искусственном заводнении, сущность которой заключается в следующем:

1) по скважинам, расположенным в водоносной зоне нефтяного месторождения за линией нагнетательных водяных скважин, закачка загрязняющего агента - сточных грязных вод, добытых вместе с неф-

тью из эксплуатационных обводнявшихся нефтяных скважин промысла. Данное геолого-техническое мероприятие характеризуется высокой степенью минимизации технико-экономических показателей, а также сохранение экологической системы окружающей среды.

2) закачка цементного раствора в пласт по этим же скважинам;

3) закачка глинистого раствора в пласт по этим же скважинам.

Первое мероприятие по сравнению со вторым и третьим является лучшим по следующим причинам:

- закачиваемые грязные сточные воды в пласт создают малопроницаемую оторочку, уменьшающую объём утечек воды в водоносную зону;

- увеличивает объём части чистой воды, закачиваемой в пласт, вытесняющей нефть к эксплуатационным нефтяным скважинам;

- усиливает процесс искусственного воздействия на пласт с целью поддержания пластового давления;

- улучшает экологию на территории нефтяного промысла.

ВЫВОДЫ

1.Разработаны основы определения параметров, испытываемых жидкостей применением капиллярной вискозиметрии при условии постоянства давления в течение жидкостей при заданных технологических условиях (h – постоянна).

2.Для скважин и галерей, продуцирующих вязко-пластичную нефть, существуют два вида коэффициента продуктивности - истинный и приведенный; а также имеются два вида коэффициента проницаемости пласта истинный и приведенный. Найдены связи между этими коэффициентами. Выявлено, что приведенный коэффициент продуктивности не зависит от полезной части общей депрессии, а истинный коэффициент продуктивности увеличивается с увеличением общей депрессии. Поэтому необходимо вести эксплуатацию по возможности при высоких общих депрессиях.

3.Показана возможность определения значения давления насыщения нефти газом путем снятия графика распределения давления по длине фонтанирующего подъемника. Установлено, что самым лучшим режимом работы фонтанной скважины является тот, при котором выделение растворенного газа из нефти начинается именно на забое скважины.

4. На основе применения модифицированного обобщенного закона Дарси решены гидродинамические задачи с учетом начального градиента давления, а также параметров фильтрации для решения вопросов разработки месторождения вязко-пластичных нефтей. Разработаны методологические основы места начала выделения газа из нефти.

5. Показана необходимость учета особенностей фильтрации аномальных нефтей с водонапорным режимом пласта при различных технологических схемах отбора нефти.

6. Предложен способ уменьшения объема утечек воды, закачиваемой в полосообразные прямолинейные пласты с односторонним и двусторонним питаниями, а также в круговой пласт вязко-пластичной нефти.

7. Разработан алгоритм объема утечек воды.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Quliyev R.A., Novruzova S.H. Özlü-plastik mühitlərin struktur-mexaniki xassələrinin təyini üsulunun təkmilləşdirilməsi //ANT, №11, 2013, səh.73-78
2. Səmədov T.Ə., Mustafayev S.D., Novruzova S.H. Subasqılı lay rejimli zolaqvari özlü-plastik neft yataqlarının işlənməsi nəzəriyyəsinin bəzi məsələləri //Eko-Energetika jurnalı, №2, 2013, səh.47-54
3. Мустафаев В.Т., Мустафаев С. Д., Новрузова С.Г. Определение коэффициентов проницаемости пласта по промысловым исследованиям различных стационарных потоков вязко-пластичных нефтей к галерее и к скважине //Ухтинский Государственный Технический Университет. Международная научно-техническая конференция «Проблемы разработки и эксплуатации месторождений высоковязких нефтей и битумов», 14-15 ноября, 2013, стр.30-36
4. Новрузова С.Г. Новый подход по определению давления насыщения нефти газом. //Неньютоновские системы в нефтегазовой отрасли, Материалы Международной Научной Конференции, посвященной 85-летию юбилею академика Азада Халил оглы Мирзаджанзаде, Баку, 21-22 ноября 2013 г., стр.191-193
5. Новрузова С.Г. Об особенностях продуктивности галерей и скважин, эксплуатирующих вязко-пластичные нефтяные залежи

- //Нефтепромысловое дело. Москва ОАО, ВНИИОЭНГ, №1, 2014, стр. 23 -25.
6. Новрузова С.Г. Способ определения давления насыщения нефти газом в работающем фонтанном подъёмнике //Тезисы доклада. Десятая международная научно-практическая нефтегазовая конференция. Ставрополь, 21-24 октября 2013 г., 73-75 стр.
 7. Новрузова С.Г. Определение утечек воды закачиваемой в пласт вязко-пластичной нефти при законтурном и приконтурном заводнениях //Азербайджанское Нефтяное хозяйство, 2014, №5, стр. 19-24.
 8. Новрузова С.Г. О повышении нефтеотдачи круговой залежи вязко-пластичной нефти с учётом геолого-физических условий её разработки //Россия, Нефтепромысловое дело, №12, 2014, стр.23-26
 9. Новрузова С.Г. Определение утечек воды закачиваемой в круговую залежь вязко-пластичной нефти с водонапорным режимом пласта //Известия Высших технических учебных заведений Азербайджана «Нефть и газ», Том 16, №6, 2014, стр.10-14.
 10. Самедов Т.А., Мустафаев С.Д.,Новрузова С.Г. О простых фильтрационных потоках несжимаемых вязко-пластичных нефтей в однородном пласте //Ухтинский государственный технический университет, межрегиональная конференция «Проблемы разработки и эксплуатации месторождений высоковязких нефтей и битумов», Россия, г.Ухта, 14-15 ноябрь, 2014
 11. Новрузова С.Г. Оценка объема утечек воды для залежи, продуцирующей вязко-пластичную нефть при водонапорном режиме //Ухтинский государственный технический университет, материалы научно-технической конференции, 22-25 апреля, 2014, Ухта, стр.81-84
 12. Самедов Т.А., Мустафаев С.Д.,Новрузова С.Г. О значении и роли простых фильтрационных потоков несжимаемой вязко-пластичных нефтей в однородном пласте, при решении задач разработки залежей //Nəzəri və Tətbiqi Mexanika, Bakı, № 3-4, 2015, стр.114-120
 13. Самедов Т.А., Мустафаев С.Д., Гулиев Р.А., Ханалиев В.Б., Новрузова С.Г. Определение статического давления пластов, содержащих высоковязкие ньютоновские и вязко-пластичные нефти

методом двустороннего восстановления давления //Россия, Нефтепромысловое дело, №1, 2016 г., стр. 4-48

14. Самедов Т.А., Мустафаев С.Д., Новрузова С.Г. О мероприятиях по уменьшению объема утечек воды, закачиваемой в пласт при законтурном и приконтурном заводнении //EKOENERGETİKA, Ekologiya, energetika və iqtisadiyyat akademiyasının jurnalı, №1, 2016, стр.7-12
15. Новрузова С.Г. О результатах определения давления насыщения нефти газом способом снятия графика распределения давления в фонтанирующем подъемнике //Россия, Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, №10, 2016 г, стр.90-96
16. Səmədov T.Ə., Mustafayev S.D., Novruzova S.H. Özlü-plastik neft yataqlarının işlənmə xüsusiyyətlərini nəzərə almaqla neftvermənin yüksəldilməsi yolları, Rəhbər sənəd, MS018-001, 2016, Azneft İstehsalat Birliyi, 2016, 42 səh.

Научный вклад, внесённый соискателем в работы, а также подготовленные в соавторстве

Работы [3, 4, 6-9, 11, 16]- выполнены самостоятельно, работы [1, 2, 3, 10, 12-15] в соавторстве.

XÜLASƏ

Anomal neft yataqlarının işlənmə xüsusiyyətlərini nəzərə
almaqla neft vermə əmsalının artırılması

Dissertasiyada anomal neft yataqlarının geoloji-fiziki şəraitlərini nəzərə almaqla zolaqvari və dairəvi yataqlar üçün bir sıra yeni hidrodinamiki məsələlər həll edilmişdir, özü də həmin yataqlarda işləyən quyular cərgələrinin sayını dəyişdirməklə müxtəlif işlənmə variantlarına baxılmışdır.

Bütün variantlarda hər bir istismar quyuları cərgələri üçün ayrılıqda debit-düsturları çıxarılmışdır. Bu düsturların köməyiylə ədədi hesablamalar aparılmışdır və təhlil edilərək özlü-plastik neft yataqlarının özünə məxsus işlənmə xüsusiyyətləri aşkar edilmişdir və neftvermə əmsalının artırılması məqsədilə tədbirlər təklif edilmişdir.

Həmin yataqlarda konturaxası və konturyanı sulaşdırmada laya vurulan suyun yatağın sulu zonasına sızan həcmnin hesablanması məsələləri də həll edilmişdir və onun azaldılması üçün tədbirlər işlənmişdir.

Bundan başqa dissertasiyada neftin qazla doyma təzyiqini təyin etmək üçün yeni üsul təklif edilmişdir. İsbat edilmişdir ki, fontan quyusunun ən yaxşı iş rejimi onun dibində qazın neftdən ayrılmağa başladığı iş rejimidir. İşdə drenaj zonasında qazın neftdən ayrılmağa başladığı yerin təyini üçün də üsul təklif edilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, özlü-plastik neft yataqlarının işlənməsində neftvermə əmsalının artırılması üçün bütün bu məsələlərin böyük praktiki əhəmiyyəti vardır.

SUMMARY

Increase in oil recovery of the deposits of anomalous oils
taking into account the specifics of the development

In this dissertation, a number of new hydrodynamic issues have been resolved for liner and circular fields, taking into account the geological and physical conditions of viscous-plastic oil fields, in addition, various processing options have been considered by changing the number of rows of wells operating in those fields.

Debit formulas have been prepared individually for every operation well rows in all variants.

The numerical calculations were carried out and analyzed with the help of the formulas and the properties of viscous-plastic oil fields were discovered in their own development, and measures have been proposed in order to increase the oil production coefficient.

In those fields, during edge and trans-contour (marginal) water flooding, the calculation issues of the leaking volume of the injection water in the lush zone of the oil field have been resolved and developed measures to reduce it.

Furthermore, in the dissertation, a new method has been proposed to determine the oil saturation pressure of gas. It has been proven that the best operating regime of the fountain wells is an operation mode that the gas begins to separate from the oil at the bottom of the well. Here is the method has been proposed for the determination the place where oil and gas begin to separate in the drainage zone.

It should be noted that in the development of the viscous-plastic oil fields all of these issues have great practical importance for increasing the oil production factor.

Azərbaycan Respublikasının Təhsil Nazirliyi
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Əlyazma hüququnda

NOVRUZOVA SÜDABƏ HACI QIZI

ANOMAL NEFT YATAQLARININ İŞLƏNMƏ
XÜSUSİYYƏTLƏRİNİ NƏZƏRƏ ALMAQLA NEFT VERMƏ
ƏMSALININ ARTIRILMASI

İxtisas: 2526.01-«Dəniz faydalı qazıntı yataqlarının
işlənməsi texnologiyası»

texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2017