

# ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ НЕФТИ В ПРОЦЕССЕ ВЫТЕСНЕНИЯ НА ПРОГНОЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗРАБОТКИ

ТИМЧУК А.С.  
ФГУП «ЗапСибНИИГГ»  
СОРОКИН А.В., СОРОКИН В.А.  
ООО «Омега-К»

**В** последнее время появился ряд обобщающих работ по уточнению знаний о физико-химических свойствах пластовой нефти, что позволяет прогнозировать динамику изменения свойств нефти, происходящего в пласте при разработке залежи.

В научной литературе описаны две модели свойств пластовой нефти: одна декларирует однородность и изотропность ее в пласте, другая — основана на неоднородности ее свойств на уровне порового пространства.

Первая модель пластовой нефти основана на лабораторном изучении свойств нефти в свободном объеме без учета особенностей ее взаимодействия с поровым пространством. Равенство значений подвижной составляющей пластовой нефти (падающей сначала в скважину,

затем в пробоотборник) и пластовой нефти базируется на модели нефти, основанной на предположении однородности состава и изотропности ее свойств в пласте. Но тождественность значений физико-химических свойств подвижной составляющей пластовой нефти и пластовой нефти пока никем не доказана.

С точки зрения данной модели нельзя объяснить многочисленные экспериментальные данные о неоднородности начальных значений физико-химических свойств нефти по площади и разрезу залежи, слабую повторяемость результатов исследований свойств нефти на одной и той же скважине, а также экспериментально наблюдаемые изменения параметров нефти в процессе разработки нефтяной залежи.

Вторая модель пластовой нефти учитывает энергетическое взаимодействие ее отдельных компонентов с поверхностью коллектора. Основные результаты экспериментов лабораторного моделирования структурированных слоев нефти приведены в работе [4], а структура пластовой нефти в рамках данной модели приведена в работах [1, 2]. Избирательное взаимодействие компонентов нефти с поверхностью гидрофобного коллектора приводит к возникновению «структурированных» слоев нефти, расположенных вблизи поверхности коллектора (терминология автора [4]). Нефть, находящаяся в данных слоях, в основном состоящих из смол и асфальтенов, имеет переменные по толщине и более высокие значения следующих показателей: молярной массы, вязкости и более низкие значения газосодержания по сравнению с нефтью, находящейся вне структурированного слоя. Чем ближе к поверхности коллектора, тем значения свойств нефти структурированного слоя сильнее отличаются от значений свойств

нефти вне него. Схематично строение слоев нефти приведено на рис.1.

Толщина структурированного слоя зависит как от наличия и соотношения компонентов в составе нефти, так и от свойств коллектора (минералогического состава, радиуса пор и т.д.) и может достигать 5 мкм, при наиболее характерной толщине в реальных условиях 0,2–1 мкм. На месторождениях Западной Сибири до 50% пор имеют размер менее 1 мкм. Поэтому доля нефти, находящейся в структурированном слое реального коллектора, лежит в пределах 20–99%. Данная модель нефти, учитывающая энергию взаимодействия своих отдельных компонентов между собой и с поверхностью коллектора, в статическом состоянии является термодинамически равновесной. Структура пластовой нефти приведена на рис.2. В процессе разработки пластовая нефть разделяется на подвижную и неподвижную.

Свойства структурированных слоев нефти, находящейся в гидрофобном коллекторе, лабораторными исследованиями изучены достаточно хорошо. Значения ее интегральных характеристик (молярной массы, плотности, вязкости) могут быть оценены расчетными методами. Энергетические связи взаимодействия молекул нефти с поверхностью гидрофильного коллектора к настоящему времени изучены недостаточно. Как известно, в большинстве реальных случаев смачиваемость коллектора водой имеет промежуточные значения, поэтому, в известной степени, можно оценить долю нефти и ее свойства в структурированных слоях, а следовательно, и реальные значения свойств пластовой нефти. И эти знания физико-химических свойств пластовой нефти должны быть учтены при определении ее запасов. По данным работ [3, 5, 6,

Рис. 1

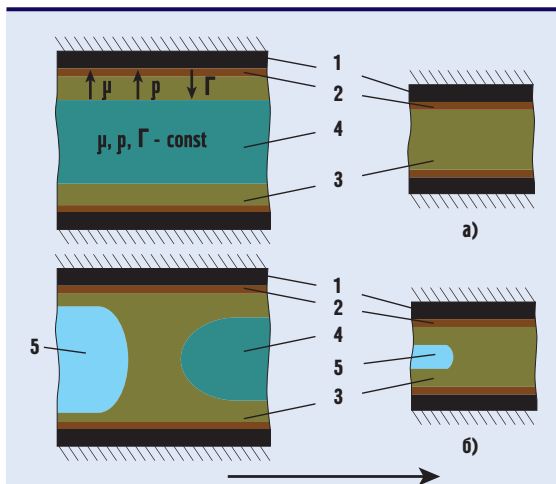


Рис.1. а) Строение слоев нефти у поверхности в крупнопористом и мелкопористом коллекторе (статическое состояние):

- 1 – поверхность коллектора;
- 2 – адсорбционный слой нефти;
- 3 – структурированный слой нефти;
- 4 – нефть вне структурированного слоя.

- б) Особенности вытеснения нефти из крупнопористого и мелкопористого коллектора при внедрении воды:
- 5 – внедренная вода

7] учет значений физико-химических свойств нефти структурированных слоев в пластах групп Б и Ю месторождений Западной Сибири приводит к росту геологических запасов, определенных объемным методом, на 10–20%.

С точки зрения второй модели пластовой нефти достаточно хорошо объяснимы различия в начальных значениях физико-химических свойств подвижной нефти и их изменчивость, которая наблюдается на всех месторождениях Западной Сибири в процессе их разработки.

Рис. 2. Структура пластовой нефти в процессе разработки залежи



## Дорогие друзья!



От имени депутатов Тюменской областной Думы приветствую трудовой коллектив института в связи с 35-летием со дня основания!

Ваша деятельность включает в себя множество направлений — это изучение геологического строения региона, поиск новых и усовершенствование имеющихся методик геофизических исследований, проектирование разработки месторождений, анализ эффективности использования запасов нефти и газа.

Современное состояние материально-технической базы института, высокопрофессиональный кадровый состав, имеющаяся уникальная база геолого-геофизической информации по изученности территории Западной Сибири и современный уровень ее обработки и интерпретации, позволяют институту участвовать в выполнении крупных федеральных и региональных проектов по дальнейшему изучению и освоению минерально-сырьевой базы Западно-Сибирского региона.

Депутаты Тюменской областной Думы активно сотрудничают со специалистами института при работе над законопроектами и программами, направленными на рациональное и эффективное недропользование, учитывают мнение ученых при рассмотрении прогнозов социально-экономического развития региона.

Во все годы своего существования институт «ЗапСибНИИГГ» являлся своеобразной лабораторией по разработке и внедрению передовых технологий. Институтом сделано немало открытий, в том числе — мирового значения. В практику геологоразведочных работ и нефтедобычи привнесен спектр теоретических и практических разработок, которые способствуют развитию прогресса в области воспроизводства и освоения минерально-сырьевой базы Западно-Сибирского региона. ЗапСибНИИГГ является кузницей подготовки высокопрофессиональных кадров: многие известные ученые начинали здесь свой творческий научный путь.

Ежегодно институт представляет свои новые достижения на международной выставке «Нефть и газ. Топливо-энергетический комплекс» которые вызывают большой интерес среди научной общественности и бизнес-сообщества.

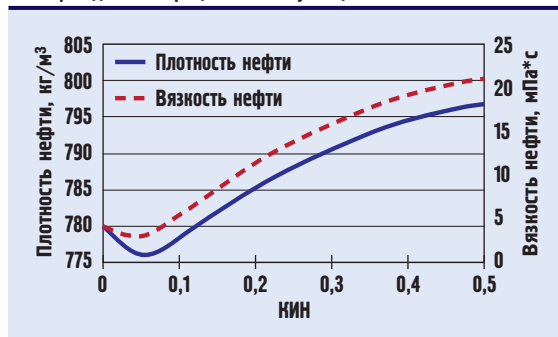
Убежден, что плодотворное сотрудничество законодателей и ученых — разработчиков высоких технологий будет способствовать дальнейшему прогрессу при бережном и рачительном использовании природных ресурсов региона.

Желаю сплоченному творческому коллективу Федерального Государственного унитарного предприятия «Западно-Сибирский научно-исследовательский институт геологии и геофизики» новых научных горизонтов, масштабных открытий, высоких достижений во благо Тюменской области и России.

**Председатель Тюменской областной Думы**

**С.Е. Корепанов**

Рис. 4. Изменение свойств подвижной нефти Верхнечонского месторождения в процессе эксплуатации залежи



Используемые в практике методики построения гидродинамических моделей вытеснения нефти, как правило, не учи-

**Первой моделью нельзя объяснить многочисленные экспериментальные данные о неоднородности начальных значений физико-химических свойств нефти по площади и разрезу залежи**

тывают динамику изменения свойств подвижной нефти, а используют начальные значения ее свойств в виде констант.

**Изменения значений свойств нефти, обусловленные внутрислоевой структурой нефти и внутрислоевыми массообменными процессами, на порядок выше, чем изменения, обусловленные изменением давления и температуры в залежи**

Вместе с тем, в первую очередь в процесс дренирования вовлекается более легкая и подвижная нефть, находящаяся вне структурированного слоя (в

**Учет изменения свойств нефти при гидродинамическом моделировании крайне необходим. Для этого следует предусмотреть в программных комплексах возможность задания свойств нефти в динамике**

центральной части поры), и нефть наиболее удаленной от поверхности коллектора части структурированного слоя. Структурированные слои нефти посте-

пенно переходят в подвижное состояние с увеличением градиента давления и степени промывки поры.

При разработке залежи с использованием вытесняющих агентов — воды или газа (как поверхностной закачки, так и газом горения) — взаимодействие пластовых жидкостей еще более усложняется. При замещении части порового пространства газом или водой на уровне поры состав содержимого в ней изменяется, а так как и вода, и газ являются массообменно-активными компонентами, то для установления термодинамического равновесия внутри поровой системы происходит массообменные процессы: легкие компоненты нефти (неуглеводородные газы, метан, этан, пропан) растворятся в воде, а газы закачки или горения — в нефти, что приведет к изменению компонентного состава и значений ее свойств.

Таким образом, при разработке нефтяной залежи в разные ее периоды возникают обширные зоны с различными значениями физико-химических свойств вмещающих жидкостей, которые имеют существенную разницу таких важных параметров, как вязкость пластовой нефти, ее плотность и газосодержание.

В работе [3] предложена экспериментально-теоретическая методика расчета прогнозных значений свойств нефти в пласте, которая позволяет получить значение свойств нефти на определенном периоде разработки залежи.

На рис.4 приведен прогноз динамики изменения значений плотности подвижной нефти и динамической вязкости при пластовых условиях в зависимости от доли отбора начальных извлекаемых запасов нефти одного из пластов месторождений Восточной Сибири.

Снижение значений плотности и вязкости нефти в начальный период разработки обусловлены влиянием конденсата газа газовой шапки, добываемого совместно с нефтью.

Как показывает практический опыт авторов в области исследований физико-химических свойств

нефти, изменения значений ее свойств, обусловленные внутрислоевой структурой нефти и внутрислоевыми массообменными процессами, на порядок выше, чем изменения значений свойств нефти, обусловленные изменением давления и температуры в залежи.

Используемые в практике методики построения гидродинамических моделей вытеснения нефти не учитывают динамику изменения свойств подвижной нефти, а используют начальные значения ее свойств в виде констант. Для оценки накопленных величин добычи нефти, КИН данный подход приемлем. Если решать задачи построения постояннодействующей гидродинамической модели, используемой для расчета эффективности ГТМ, изменения режимов закачки вытесняющего агента, и подобных задач, общепринятый подход приводит к значительным ошибкам в прогнозе годовых уровней добычи нефти. Так, результаты гидродинамических расчетов, проведенных для моделей пласта отличающихся только вязкостью нефти от 7мПа·с до 20мПа·с, при неизменных остальных параметрах, свидетельствуют о различии годовых уровней добычи нефти на 20–45% при одинаковых этапах выработки.

Таким образом, учет изменения свойств нефти при гидродинамическом моделировании крайне необходим. Для этого следует предусмотреть в программных комплексах возможность задания свойств нефти в динамике.

Для построения зависимостей изменения свойств нефти на начальном периоде разработки необходимо применение математических моделей нефти с учетом свойств и компонентного состава проб нефти, отобранных на этапе поиска и разведки.

В последующем необходимо уточнение построенных зависимостей по результатам проб нефти периодически отбираемых из пластов, что следует предусматривать при составлении проектных документов на разработку месторождений.

## Список литературы

1. Сорокин А.В., Сорокин В.Д. Учет физико-химических свойств составляющих пластовой нефти в методиках подсчета запасов и расчета процессов нефтеизвлечения. // Известия вузов. Нефть и газ. — Тюмень, 2005, №6 — с. 34–40.
2. Sorokin A.V., Sorokin V.D. Information structure of in-situ oil. //ROGTEC, 2007, №8. — pp. 12–20.
3. Сорокин А.В., Сорокин В.Д. Исследование процесса изменчивости физико-химических свойств пластовой нефти при разработке месторождений Западной Сибири. — Тюмень: Издательство «Вектор-Бук», 2004, — 237 с.
4. Мархасин И.Л. Физико-химическая механика нефтяного пласта. — М.: Недра, 1977. — 214 с.
5. Сорокин А.В., Сорокин В.Д., Сорокина М.Р. Влияние изменчивости свойств нефти на методику и результаты подсчета запасов углеводородов. // Известия вузов. Нефть и газ. — Тюмень, 2005, №5 — с. 45–50.
6. Сорокин А.В., Сорокин В.Д. Методика расчета физико-химических свойств пластовой нефти при использовании в подсчете запасов углеводородов. // В сб. «Моделирование технологических процессов нефтедобычи». — Тюмень: Издательство «Вектор-Бук», 2005, №5 — с. 93–95.
7. Сорокин А.В., Сорокин В.Д. Учет физико-химических свойств составляющих пластовой нефти в методиках подсчета запасов и расчета процессов нефтеизвлечения. // Известия вузов. Нефть и газ. — Тюмень, 2005, №6 — с. 34–40.
8. Сорокин А.В., Сорокин В.Д., Терешина Т.В. Механизмы изменения плотности газонасыщенной нефти в процессе разработки залежи. // В сб.: «Основные направления научно-исследовательских работ в нефтяной промышленности Западной Сибири». — Тюмень: СибНИИП, 1999. — с. 122–130.

## Уважаемый Игорь Викторович! Уважаемые коллеги! Дорогие земляки!



От имени компании ТНК-ВР, Тюменского нефтяного научного центра и от себя лично сердечно поздравляю Вас и весь коллектив института со славной датой в своей истории — 35-летним Юбилеем!

Ваш институт родился в 1975 году и в настоящий момент обеспечивает решение задач формирования региональной минерально-сырьевой политики Роснедра, участвует в подготовке к лицензированию фонда недр и проводит мониторинг освоения углеводородных и минеральных ресурсов в Западно-Сибирском регионе.

Реорганизация института, проведенная в 2005 году, позволила сохранить кадровый потенциал и усилить позиции института во многих направлениях, например, расширить зоны влияния на три субъекта РФ (Томская, Курганская, Омская области), развить новые направления на стыках традиционных направлений, создать пилотный проект по внедрению сервисно ориентированной архитектуры для адаптации программных комплексов обработки данных по геологии и недропользованию.

ФГУП «ЗапСибНИИГГ» является единственным федеральным научно-производственным предприятием на территории Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Институт состоялся как научный центр, который гордится своими заслуженными людьми, такими, как бывший директор института, заслуженный геолог РФ, участник открытия крупнейших месторождений углеводородов Малый Анатолий Родионович, и многими другими известными людьми.

Разработки института привлекают внимание крупных нефтяных компаний и научно-исследовательских организаций, таких как «Роснефть», «Газпром нефть» и др. Работы по развитию новых технологий позволяют решить новые задачи, расширить представления о границах перспектив нефтегазоносности региона.

Вы несете новые знания, которыми щедро делитесь с коллегами. Начиная с 2004 года ваше предприятие проводит ежегодные научно-практические конференции с самостоятельным статусом по заданию правительства Тюменской области. В работе конференций ежегодно принимают участие около 100 представителей от различных организаций нефтегазового профиля, которые в процессе обсуждений находят свои единственно верные решения. За организацию и проведение этих конференций институт награжден медалями международных выставок «Нефть и газ. Топливо-энергетический комплекс».

Будем надеяться, что институт, имеющий многолетние традиции, заслуженные награды и уважение коллег, будет долго и плодотворно жить, работать и радовать нас плодами своего труда.

Желаем вам огромных творческих успехов!

Здоровья и благополучия вам и вашим близким, успешной работы на благо России!

Генеральный директор ООО «ТННЦ»

И.И. Дьяконов