

## ВВЕДЕНИЕ

---

Добыча нефти на месторождениях России осуществляется с искусственным поддержанием пластового давления путем нагнетания в разрабатываемый пласт воды. В 1988 г. в стране был достигнут ее максимальный уровень. На 1994 г. в России извлекалось нефти из продуктивных коллекторов около 12 % от мирового уровня. Бурное падение добычи нефти после достижения ее максимума составляло в среднем по 7,38 % в год. Средняя обводненность добываемой жидкости по стране превышает 81,3 %, самая высокая – свыше 90 % – в АНК “Башнефть”. Большинство уникальных и крупных месторождений в нефтяных регионах России находятся в поздней и конечной стадиях разработки. При самом высоком в мире запроектированном конечном коэффициенте нефтеотдачи в выработанных пластах старых месторождений остается нефти до 50 % и более [128].

Для снижения темпов падения добычи нефти в отрасли наряду с традиционными мероприятиями наращиваются объемы применения физико-химических методов повышения нефтеотдачи пластов. В нагнетаемую в пласт для поддержания пластового давления воду добавляются в небольших количествах химические соединения: поверхностно-активные вещества, щелочи, полимеры синтетического и биологического происхождения; композиции этих реагентов и др. Основная доля дополнительно добытой нефти по России – 76,9 % обеспечивается этими методами. В США ситуация другая – большая часть дополнительно добытой нефти (70 %) приходится на долю тепловых методов.

Исследование, разработка и практическое использование физико-химических методов повышения нефтеотдачи в нашей стране начато в начале 60-х годов прошлого века и связано с именами профессора Г.А. Бабаляна и его учеников. После 80-х годов была подвергнута научному сомнению состоятельность заводнения с реагентами этих методов, т.е. эффективность воздействия данных реагентов на запасы нефти в продуктивном коллекторе от точки нагнетания в пласт больших

оторочек водных растворов реагентов до точки отбора жидкости. До сих пор окончательно не установлена целесообразность применения больших оторочек водных растворов композиций реагентов (модификация метода), в частности, композиций на основе неионогенных поверхностно-активных веществ. В модифицированном методе подход к вытеснению нефти основан на механизме максимально возможного снижения межфазного натяжения между нефтью и водой.

В отличие от рассмотренных методов, направленных на увеличение коэффициента вытеснения нефти, в последнее десятилетие на приоритетные позиции выдвинулись методы, связанные с использованием реагентов осадкогелеобразующего действия, теоретически обеспечивающие увеличение охвата пласта заводнением, т.е. вытеснение нефти водой из менее проницаемых участков пласта (потокоотклоняющие технологии). В этом направлении активно работает школа академика РАН А.Т. Горбунова. Получены положительные результаты на ряде месторождений России от обработок призабойной зоны пласта по различным технологиям с использованием осадкогелеобразующих реагентов.

Применение таких реагентов за пределами призабойной зоны в межскважинном пространстве пласта представляется проблематичным. Этот вопрос находится в стадии изучения. Абстрагируясь от научной стороны данной проблемы, можно предположить, что после использования больших оторочек водных растворов осадкогелеобразующих реагентов в межскважинном пространстве нефтеносного пласта неизвлеченная из него нефть окажется заблокированной (погребенной) коллоидными осадками типа  $\text{CaSiO}_3\downarrow$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3\downarrow$ , сшитого полимерного состава (вязкоупругого состава) и др. В будущем – это может стать непреодолимым препятствием при доработке данных пластов с целью полного извлечения из них нефти. Этому аспекту проблемы не уделяется должного внимания.

К настоящему времени физико-химические основы применения активных химических агентов в целях вытеснения остаточной нефти слабо разработаны. По сравнению с начальным периодом практического применения физико-химических методов прогресс в этом направлении незначительный. Основные принципы применения реагентов этих методов остаются неизменными – для реагентов, направленных на увеличение коэффициента вытеснения нефти, – максимально возможное снижение межфазного натяжения на границе раздела нефти с водой; увеличение соотношения подвижностей нефти и воды –

для реагентов, предназначенных обеспечить увеличение охвата пласта заводнением. При существующем состоянии научной стороны проблемы – возможность реализации этих принципов в условиях природного нефтеносного коллектора не подвергается сомнению, хотя результаты опытно-промышленных испытаний больших оторочек водных растворов нефтевытесняющих реагентов свидетельствуют об обратном. Положение осложняется отсутствием общепринятой теории, позволяющей строго оценить возможный эффект от применения названных реагентов в конкретных геолого-физических условиях нефтяных месторождений.

Из краткого обзора состояния физико-химических методов следует, что механизм нефтеотдачи пластов с применением больших оторочек водных растворов нефтевытесняющих реагентов (композиций реагентов) недостаточно исследован и слабо обоснован. Из основных составляющих механизма нефтеотдачи при вытеснении нефти из пласта с использованием реагентов доминирующую роль играет физико-химический фактор. Гидродинамический и геологический факторы имеют второстепенное значение. Эти факторы влияют на величину эффекта по дополнительной добыче нефти, но если испытуемый реагент не способен вытеснять нефть в конкретных геолого-физических условиях нефтяного пласта, то не может быть и речи о каком-либо эффекте по дополнительной добыче нефти, разве только что об отрицательном.

Действующий комплекс лабораторных испытаний нефтевытесняющих реагентов включает в себя физико-химические исследования в условиях, далеких от пластовых, и гидродинамическое моделирование процесса вытеснения нефти на образцах горных пород из нефтеносного интервала пласта. При вытеснении нефти водой из моделей пласта (обычное заводнение) такие характеристики этого процесса, как коэффициент вытеснения нефти и кривые относительных фазовых проницаемостей нефти и воды для горной породы исследуемого пласта, как правило, подтверждаются практикой разработки месторождения в режиме заводнения. В пластовых условиях нефть и вода химически относительно инертные вещества. Поэтому при вытеснении нефти водой из горной породы основную роль в перестройке воды и нефти играют физические, а не химические процессы. Для подтверждения результатов лабораторных испытаний заводнения практикой разработки месторождения достаточно соблюдения гидродинамического подобия процесса вытеснения нефти водой в модели пласта и реальном продуктивном коллекторе, т.е. механизм нефте-

отдачи пласта при заводнении объясним в основном на уровне законов гидродинамики пористых сред.

При применении физико-химических методов повышения нефтеотдачи пластов установлено, что результаты прогнозирования по данным действующего комплекса лабораторных испытаний нефтевытесняющих реагентов – характеристик вытеснения нефти и возможности протекания в пласте физико-химических процессов типа адсорбции реагента на поверхности пор, внутрислового эмульгирования нефти, солюбилизации нефти, химических реакций и других – часто не подтверждаются практикой разработки нефтяных месторождений. Можно заключить, что в общепринятой в настоящее время схеме механизма нефтеотдачи пластов с применением реагентов влияние на эффективность вытеснения нефти из пласта физико-химического фактора, т.е. физико-химического взаимодействия реагентов (композиций реагентов) во времени и пространстве с пластовой нефтью, связанной водой, поверхностью порового пространства и структурных изменений в вытесняющем агенте (водный раствор реагентов), происходящих в процессе вытеснения нефти, учитывается неадекватно по отношению к реальному процессу вытеснения нефти в реальном пласте.

В лабораторных условиях можно получить более надежные данные о механизме нефтеотдачи пластов при использовании нефтевытесняющих реагентов. Для этого необходимо реализовать подобие по степени структурирования насыщающих флюидов в модели нефтеносного пласта и в натуральном продуктивном коллекторе. Но эта задача относится к числу трудноразрешимых. В то же время, подсказывается путь экспериментального исследования механизма нефтеотдачи – использовать для этой цели коллоидно-дисперсное состояние насыщающих нефтяной коллектор флюидов (пластовая нефть и связанная вода), в том числе структурные изменения во времени вытесняющего нефть агента и подчинение законам неравновесной термодинамики флюидов в нефтеносном пласте (в частности, вблизи критического состояния вещества его физические свойства меняются скачкообразно). О подобных дисперсных системах имеется информация – определены изменения структуры и некоторые физические свойства, в том числе электрофизические, тонких прослоек и граничных слоев воды (Б.В. Дерягин с сотрудниками и др.); изучены структура и физико-механические свойства граничного слоя нефти (И.Л. Мархасин с сотрудниками). Из физических методов, входящих в комплекс петрофизических исследований, дают

информацию о надмолекулярных образованиях в дисперсных системах, физико-химических, релаксационных процессах и фазовых переходах в них методы радио- и электрорадиоспектроскопии и их разновидности. Диэлектрические свойства горных пород, насыщенных различными флюидами, в том числе с добавками нефтевытесняющих реагентов, других дисперсных систем успешно исследованы профессором Н.Н. Непримеровым с учениками. Научные работы этой школы послужили одним из оснований для включения метода диэлектрической спектроскопии в число физических методов для исследования механизма нефтеотдачи пластов при применении нефтевытесняющих реагентов.

Влияние различных видов связанной воды на эффективность вытеснения нефти из горной породы с применением реагентов – недостаточно изученный вопрос. Известно, что одной из главных причин низкого извлечения нефти являются специфичные гидрофобные взаимодействия на поверхности горной породы в присутствии воды. В этих условиях связь между гидрофобными соединениями может возрастать в 500 раз и это взаимодействие носит эндотермический характер [104]. Взаимодействие нефти с пористыми средами является гидрофобным и изменение гидрофобных взаимодействий регулирует активность вытеснения нефти. В связи с этим, представляют интерес исследования методами теоретической физики, направленные на получение связи между различными формами воды и нефти в порах, выявление их связи с параметрами среды и внешними воздействиями.

Тема книги – применение физических методов для исследования и обоснования механизма нефтеотдачи пластов (его физико-химического фактора) при использовании больших оторочек водных растворов реагентов (композиций реагентов), физико-химических методов повышения нефтеотдачи.

Теоретические и лабораторные научные исследования по теме книги были начаты и выполнены в значительном объеме авторами во время их работы в НПО “Союзнефтеотдача” (НИИнефтеотдача). Позднее они были продолжены в научно-производственной фирме “Ойл-Инжиниринг”. Результаты проведенных исследований, относящиеся к определению нефтевытесняющей способности реагента, физико-химических процессов и фазовых переходов, сопутствующих вытеснению нефти из пласта, сопоставлялись с подобными, полученными другими исследователями по данным действующего комплекса лабораторных испытаний нефтевытесняющих реагентов, и с данными опытно-промышленных испытаний реагентов (компо-

зий реактивов) физико-химических методов на некоторых месторождениях России по эффективности извлечения нефти из пласта. Промысловые испытания и внедрение разработанных авторами книги технологических процессов осуществлялось успешно в ОАО "Татнефть", АНК "Башнефть", АО "Актобемунгаз". В настоящее время проводятся подготовительные работы еще в ряде нефтедобывающих регионов РФ.

Сформулированные в книге перспективы использования физических методов находятся в сфере идей основоположника техноэкогеофизики Президента РАЕН академика О.Л. Кузнецова по управляемому воздействию на геосреду (пласт) физическими полями с целью интенсификации добычи нефти и повышения нефтеотдачи.

За содействие в проведении всего комплекса работ авторы признательны и благодарны канд. геол.-минер. наук В.С. Асмоловскому, Л.В. Базекиной, А.Б. Баймурзину, доктору физ.-мат. наук Р.З. Бахтизину, канд. хим. наук И.И. Букину, доктору техн. наук М.Д. Валееву, Е.Ш. Васильевой, К.Х. Гайнуллину, канд. техн. наук И.М. Галлямову, канд. техн. наук О.Г. Гафурову, канд. физ.-мат. наук С.С. Гоц, канд. хим. наук Н.В. Давиденко, Р.А. Зайнутдинову, канд. физ.-мат. наук Ю.Ф. Зуеву, В.Я. Иванову, И.А. Исхакову, Н.Г. Камалову, Р.Н. Камалову, О.В. Каптелинину, М.Ш. Каюмову, канд. физ.-мат. наук И.П. Коломийцу, канд. техн. наук Р.С. Латыпову, А.С. Левченко, доктору геол.-минер. наук Е.В. Лозину, Ю.В. Лукьянову, А.П. Лысенкову, канд. хим. наук Т.Н. Максимовой, доктору техн. наук Р.А. Максудову, доктору техн. наук Е.Ю. Марчукову, Д.Р. Мурзагуловой, доктору геол.-минер. наук Р.Х. Муслимову, доктору физ.-мат. наук Р.И. Нигматулину, канд. техн. наук А.Г. Нугайбекову, канд. техн. наук Р.А. Нугайбекову, С.Л. Орловскому, Н.Н. Панферовой, канд. техн. наук И.Ф. Рахимкулову, Д.Н. Репину, М.Б. Сафиной, доктору техн. наук Э.М. Симкину, канд. геол.-минер. наук С.Н. Солоницину, М.М. Суфиярову, канд. физ.-мат. наук Б.К. Сушко, канд. техн. наук А.Ш. Сыртланову, канд. хим. наук А.Г. Телину, канд. техн. наук К.С. Фазлутдинову, доктору физ.-мат. наук В.Д. Федотову, канд. физ.-мат. наук Ю.Д. Фельдман, канд. физ.-мат. наук В.И. Фролову, доктору техн. наук А.Я. Хавкину, канд. техн. наук В.С. Хакимову, К.Г. Хакимуллину, доктору техн. наук М.М. Хасанову, доктору геол.-минер. наук Р.С. Хисамову, канд. техн. наук Р.Я. Шарифуллину, доктору техн. наук Д.М. Шейх-Али.