МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи

ПОГРЕБНЯК Лариса Александровна

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ

Специальность 05.26.05 - инженерная экология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Макеевка - 1996

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена на кафедре ЭКОЛОГИИ Донбасской государственной академии строительства и архитектуры (ДонГАСА) и кафедре физики и экологии Донецкого коммерческого института (ДКИ).

Научные руководители: Заслуженный деятель науки Украины, чл.-корр. Национальной АН Украины, профессор, доктор технических наук Иван Лукич Повх; кандидат физико-математических наук, доцент Николай Петрович Иваницын.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор — Бойко Василий Степанович;
академик АН ВШ Украины, доктор химических наук, профессор — Высоцкий Юрий Борисович

Ведущая организация - Украинский нефтегазовый институт, г. Киев.

Защита диссертации состоится "6" марта 1996 г. в 13^{00} час. на заседании специализированного ученого совета Д 27.01.01 в Донбасской государственной академии строительства и архитектуры. Адрес академии: 339023, г.Макеевка, ул.Державина 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донбасской государственной академии строительства и архитектуры.

Автореферат разослан "2" февраля 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета,
доктор технических наук, профессор — Братчун В.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Основные направления экономического и социального развития Украины ставят перед топливоэнергетической отраслью страны задачу по увеличению объемов добычи нефти. Одним из условий успешного выполнения этой задачи есть введение в эксплуатацию новых месторождений и увеличение эффективности разработки уже существующих. Но в погоне за нефтью безжалостно уничтожается природа. Уже сейчас, по выражению Дж. Марша, "Земля близка к тому, чтобы сделаться непригодной для лучших своих представителей".

Основные методы увеличения нефтеотдачи при разработке нефтяных месторождений не соответствуют элементарным экологическим требованиям. Прежде всего это методы закачки в пласт высококонцентрированной серной и соляной кислот, различных щелочей, жидких углеводородов и углеводородных газов высокого давления, а также методы внутрипластового движущегося очага горения и ядерного стимулирования в результате ядерного взрыва в скважине. Сплошь и рядом осуществляется загрязнение природной среды в процессе добычи нефти. Большой вред природной среде наносится, например, от химических реагентов (кислот, щелочей, углеводородов), закачиваемых в пласт и от потерь при их транспортировке к месторождениям. До последнего времени считалось допустимым, что 5% химических реагентов естественным путем теряется при их хранении и перевозке. (За 15 лет в пласты месторождений Татарии через 491 нагнетательную скважину закачано 448,4 тыс. тонн серной кислоты). Использование метода внутрипластового горения, помимо существующих потерь нефти в результате ее сгорания, приводит к загрязнению атмосферы продуктами сгорания нефти. Ядерное же стимулирование приводит к загрязнению нефти продуктами радиоактивного взрыва. Все это наносит непоправимый ущерб природной среде. Поэтому проблема разработки экологических технологий повышения нефтеотдачи в настоящее время уже становится в один ряд с проблемой увеличения ее добычи, а, следовательно, актуальность и своевременность рассматриваемой в диссертации задачи становится очевидной и несомненной.

Цель работы. Исследование физико-химической природы проявления эффектов упругих деформаций при течении растворов полимеров (отвечающих соответствующим экологическим требованиям) в пористых средах и на этой основе выработка основных принципов экологических технологий повышения нефтедобычи.

Методы исследования. В работе использовались: для реологических измерений - капиллярная и ротационная вискозиметрия; для исследования структуры течений во входной области щелей и коротких капилляров - оптико-механический комплекс, поляризационная установка, стробоскопический метод и лазерная анемоме́трия; динамика макромолекулярных клубков в условиях растягивающего потока излучалась с помощью поляризационно-оптического метода (о степени развернутости полимерных цепей судили по величине отношения измеренного двулучепреломления к предельно возможному, рассчитываемому для используемой концентрации и мол.массы полимера); поля скоростей и их градиентов получили с помощью лазерной анемометрии; использование большого числа традиционных физико-химических методов (спектрофотометрии, микрокалориметрии, светорассеяния, потенциометрического титрования, вискозиметрии и реометрии) позволило изучить особенности влияния различных гидродинамических полей на молекулярные и межмолекулярные взаимодействия в растворах, структуру и конформацию макромолекул; процесс вытеснения нефти изучался на специально разработанной оптико-механической установке со сменными гидрорезисторами, моделирующими нефтеносные пласты с различной пористостью и слоистой неоднородностью.

Научная новизна. Работа является оригинальным исследованием в области инженерной экологии и подземной гидромеханики, направленным на выработку системы взглядов и научных принципов, позволяющих объяснить происходящие "аномальные" процессы при фильтрационном течении полимерных растворов, а также сделать выводы, необходимые для более эффективного решения технической задачи защиты природной среды, наряду с обеспечением высоких уровней добычи нефти. **Основные из представленных в работе результатов получены впервые. К ним, в частности, относятся вынесенные на защиту следующие научные результаты и положения:**

- разработанные основные физико-химические принципы экологических технологий повышения нефтеотдачи пластов;
- экологические и технологические требования, предъявляемые к полимерам, используемым при нефтедобыче;
- полученные новые данные по вопросу динамики линейных макромолекул в сложных гидродинамических полях, генерируемых при сходящемся течении, позволившие доказать наличие сильного (до 60%) деформационного воздействия гидродинамического поля на макромолекулы, и, как следствие, проявление значительных эффектов упругих деформаций при течении растворов полимеров в пористых средах;

- впервые установленные закономерности поведения растворов полимеров в гидродинамическом поле с растяжением, заключающиеся в том, что полимерная система в условиях сходящегося потока в закритическом режиме течения является саморегулирующейся диссипативной системой с отрицательными обратными связями. Последнее проявляется в следующем: возрастающие продольные градиенты скорости приводят к таким изменениям в полимерном растворе, которые способствуют перестройке структуры потока и тем самым уменьшают продольные градиенты скорости, но не ниже некоторого критического значения, определяемого временем релаксации раствора;
- молекулярно-надмолекулярный механизм нелинейности при фильтрационном течении растворов полимеров, который обеспечивает выравнивание фронта в слоистых неоднородных пластах вытесняющей полимерной жидкости и широкий охват при нефтедобыче.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Установленные закономерности поведения макромолекул при течении с продольным градиентом скорости и проявляющиеся при этом эффекты упругих деформаций имеют определяющее значение при разработке экологических технологий на основе метода полимерного заводнения нефтеносных пластов. Используя полученные в работе данные о физико-химических основах экологических технологий увеличения нефтеотдачи можно проводить расчеты технико-экономических показателей разработки нефтяных месторождений при выполнении экологических требований по защите природной среды.

Результаты работы нашли применение: при выполнении государственной научно-технической программы "Ресурсосбережение" - проект 5.53.01/197-93 "Изучение нелинейной фильтрации растворов полимеров с целью выработки рекомендаций по оптимизации процесса вытеснения нефти", выполняемый по заданию ГКНТ Украины, ответственным исполнителем которого с 1992 по 1995гг. была автор диссертации (долевой вклад соискателя 40%); в Институте высокомолекулярных соединений РАН (г.С-Петербург) для формирования требований к новым синтезируемым полимерам, применяемым в нефтедобыче; в "Гипровостокнефть" (г.Куйбышев) физико-химические аспекты вытеснения нефти водорастворимыми полимерами для прогнозирования процесса заводнения трещиноватопористых коллекторов; в Специальном конструкторско-технологическом бюро "Турбулентность" для анализа и отбора наиболее оптимальных вариантов щелевых пакетов; в Институте научно-прикладных проблем "АЭРО" (г.Ижевск) при разработке экологической технологии повышения нефтеотдачи месторождений Удмуртской Республики;

в Ижевском филиале ЦНИИБУММАШ при совместной разработке новой конструкции экструзионной головки, позволяющей получать полимерную пленку улучшенного качества (долевой вклад соискателя-30%); научные результаты, полученные в диссертации, используются в учебных курсах, читаемых на кафедре прикладной экологии ДГАСА.

Апробация работы. Отдельные положения работы докладывались и получили одобрение научной общественности на Международной научно-технической конференции "Ресурсосбережение и экология промышленного региона" (г.Макеевка,1995г.), на Республиканской конференции "Физико-химические основы применения ПАВ в промышленности" (г.Донецк, 1981г.), на II и IV Всесоюзных конференциях "Водорастворимые полимеры и их применение" (г.Иркутск, 1982 и 1991гг.), на Республиканской конференции по физико-химии, технологии получения и применения промывочных жидкостей, дисперсных систем и тампонажных растворов (г.Ивано-Франковск, 1985г.), на 17 Международном симпозиуме по реологии (г.Саратов, 1994г.), на II Международной конференции "Циклические процессы в природе и обществе (г. Ставрополь, 1994г.), на 2-м Международном симпозиуме "Физические проблемы экологии, природопользования и ресурсосбережения" (г.Ижевск,1994г.), а также на семинаре "Problems of hydrobionics", Ist International workshop ARPA-Cortana-IHM(г. Киев, 1994г.)

Публикации. Основные материалы диссертации изложены в 14 работах, включающих статьи в журналах, в научных сборниках, работы в сборниках материалов конференций и 1 методпособие для студентов-экологов.

Структура и объем. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы из 185 наименований. Работа содержит 150 страниц, в том числе: 101 страницу текста, 21 страницу библиографии, остальное - рисунки, таблицы и фотографии.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы исследования и значимость рассматриваемых вопросов, сформулирована цель работы.

Первая глава представляет собой обзор имеющихся данных по физико-химическим методам увеличения нефтеотдачи продуктивных пластов. Рассмотрены вопросы, связанные с защитой природной среды при использовании на практике вышеуказанных методов увеличения нефтеотдачи. В плане решения технической задачи по установлению физико-химических основ экологических технологий повышения нефтеотдачи пластов обоснована необходимость изучения особенностей течения растворов полимеров в модельных условиях пористой среды - в условиях растягивающего потока.

Критический обзор литературных данных свидетельствует о том, что наши современные представления об ориентационно-деформационном поведении макромолекул при течении с растяжением, особенно в условиях сходящегося течения полуразбавленных и умеренно концентрированных растворов, далеки от совершенства. Это обусловливает непонимание процессов, происходящих в пористых средах (особенно в нефтеносных пластах со слоистой неоднородностью) при вытеснении нефти растворами полимеров, и зачастую порождает массу недоразумений и заблуждений при интерпретации экспериментальных результатов. В гидродинамике растворов полимеров совершается переход от накопления экспериментальной информации к пониманию физической сущности и установлению основных закономерностей проявления эффектов упругости и памяти. Для решения поставленной технической задачи по установлению физико-химических основ экологических технологий повышения нефтеотдачи пластов необходимы дальнейшие исследования течений сложной геометрии, в которых возникают упругие деформации растворов полимеров.

Представляется очень важным анализ особенностей возникновения и нелинейной стадии развития неустойчивостей, связанных со способностью макромолекул к почти полному разворачиванию их цепей. Последнее обусловливает накопление растворами полимеров значительной упругости, что и приводит к проявлению "аномальных" эффектов в их гидродинамическом поведении в условиях фильтрационного течения. Эффекты упругости и памяти по своей природе нелинейны.

Среди попыток объяснить природу повышенной диссипации энергии при фильтрационном течении растворов полимеров особое место занимает гипотеза, основанная на сильном деформационном воздействии гидродинамического поля на макромолекулы. Для обоснования этой гипотезы необходимы экспериментальные доказательства наличия больших степеней деформации у макромолекул в определенных зонах фильтрационного потока. Скептицизм в отношении сильного деформационного воздействия гидродинамического поля фильтрационного потока на макромолекулы обусловлен еще и тем, что, как правило, анализируются сдвиговые воздействия, а не гидродинамическое поле с продольным градиентом скорости. Имеются все основания считать, что новые данные о динамике цепей макромолекул в гидродинамических полях с продольным градиентом скорости позволят на более полной научной основе подойти к решению вопроса о механизме фильтрационного течения растворов полимеров, обусловливающем нелинейную фильтрацию.

Рассмотрено также соответствие полимеров предъявляемым экологическим требованиям при нефтедобыче.

Анализ литературы о закономерностях ламинарных течений с растяжением растворов полимеров и состояния работ в области использования физико-химических методов (с учетом их соответствия экологическим требованиям) при разработке нефтяных месторождений позволил сформулировать задачи настоящей работы.

Во второй главе излагается описание оригинальной экспериментальной техники, использованной при проведении исследований, методика получения фотографий картин течения, двулучепреломляющих зон и диаграмм физических параметров, а также описание нестандартных методик проведения экспериментов и обработки результатов. Приведены характеристики исследуемых в работе полимеров, методы стабилизации растворов полимеров с помощью химических добавок и изложены результаты, характеризующие влияние температуры и концентрации стабилизирующих добавок на скорость старения полимера в воде при его хранении. Показано, что иодистый калий практически полностью исключает процесс старения полиэтиленоксида (ПЭО) и полиакриламида (ПАА) в воде как при комнатной температуре, так и в условиях повышенных температур. Предложенный метод стабилизации растворов полимеров позволяет существенно повысить эффективность полимерного нефтевытеснения при высоких температурах нефти. Для корректного приготовления растворов и их использовании в нефтедобыче необходимо было изучить и закономерности процесса растворения полимера в воде. Результаты такого изучения также изложены в этой главе.

В третьей главе изложены результаты исследований течений растворов ПЭО мол.масс - 10^6, $3\cdot10^6$, $4\cdot10^6$, $6\cdot10^6$, полимерсодержащей пасты - 2ПО-87 (мол.масса ПЭО - $2\cdot10^6$), гидролизованного ПАА (ГПАА) мол.массы $4,5\cdot10^6$ со степенью гидролиза 5%, негидролизованного ПАА мол.масс $6\cdot10^6$, $13,5\cdot10^6$ и полистирола мол. массы $2,3\cdot10^6$ через модельные элементы пористой среды - короткие капилляры и щели. Концентрация полимера варьировалась от 0 до 0,2%, температура - от 4 до 90°С, скорость течения - от 0,2 до 10м/с.

Работа имела двоякую цель: во-первых, получить данные, характеризующие особенности поведения полимерных растворов в модельных условиях пористой среды, и, во-вторых, предполагалось, что новые данные о динамике цепей макромолекул в гидродинамических полях с продольным градиентом скорости позволят на более полной научной основе подойти к решению вопроса о механизме, обусловливающем отклонения от закона Дарси.

Естественно, без понимания механизма возникновения нелинейной фильтрации растворов полимеров невозможно сформулировать основные принципы технологии нефтедобычи методом заводнения с добавками полимера.

Приведенные в этой главе экспериментальные данные свидетельствуют о ряде характерных особенностей поведения растворов полимеров в сходящихся потоках. Существуют некоторые критические характеристики потока, такие как расходная скорость, продольный градиент скорости $\varepsilon_{кр}$, время пребывания макромолекул в потоке с растяжением и пороговые характеристики полимерного раствора - мол. масса, концентрация раствора, температура, тип растворителя и его вязкость, ионная сила, pH среды, когда начинают проявляться "аномалии" в их гидродинамическом поведении. К таким "аномалиям" относятся - резкое увеличение (до 3 порядков) эффективной вязкости $\eta_{эф}$, т.е. увеличение диссипации энергии в системе, неоднозначность зависимости $\eta_{эф}$ от средней скорости истечения $\overline{U}$ через проточный элемент, появление нестабильного автоколебательного режима течения, выражаемого в возникновении пульсаций расходной скорости и интенсивности ДЛП возникающей двулучепреломляющей зоны.

Данные, характеризующие влияние длины капилляра и его диаметра на $\eta_{эф}$ растворов ПЭО, свидетельствуют о том, что длина капилляра практически не влияет на $U_{кр}$, в то время как увеличение диаметра капилляра существенно повышает критическую скорость. Зависимость усредненного градиента скорости, определяемого как $j_{кр}=8\cdot U_{кр}/d_к$ и соответствующего началу резкого возрастания $\eta_{эф}$ от концентрации и мол. массы ПЭО для разбавленных и полуразбавленных растворов при 25°С, может быть представлена в виде:

$$j_{кр}= 3,1\cdot 10^{23}\cdot M^{-3.1}\cdot C^{-0.82}\ . \qquad (3.1)$$

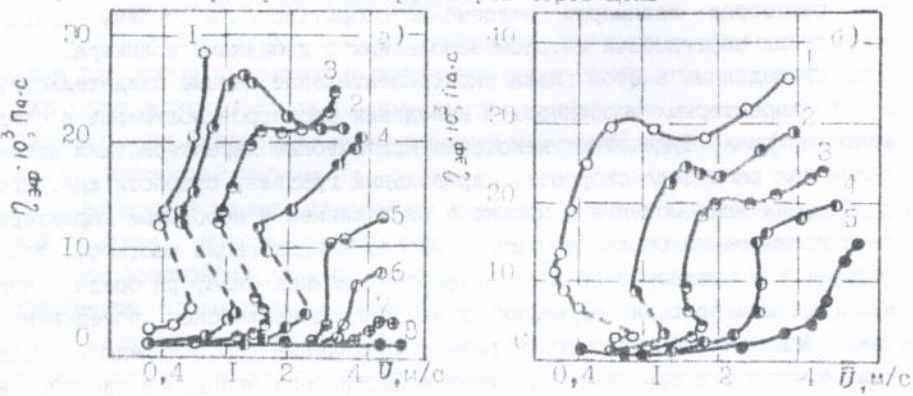
Зависимость градиента скорости j_{max}, соответствующего максимуму на кривой $\eta_{эф}=f(j)$, от концентрации ПЭО мол. массы $3\cdot 10^6$ при 25°С выглядит следующим образом:

$$j_{max} = 3,75\cdot 10^3\cdot C^{-0.82}\ . \qquad (3.2)$$

Обращает на себя внимание одинаковый вид концентрационных зависимостей $j_{кр}$ и j_{max} (формулы (3.1) и (3.2)).

На рис. 1 показано влияние концентрации ПЭО и угла входа на эффективную вязкость при протекании растворов через щели. Откуда следует, что наибольшее значение $\eta_{эф}$ наблюдается в случае щели с углом раскрытия 180°, т.е. когда имеется внезапное сужение. Уменьшение угла приводит к снижению $\eta_{эф}$ и смещению критической скорости в область боль-

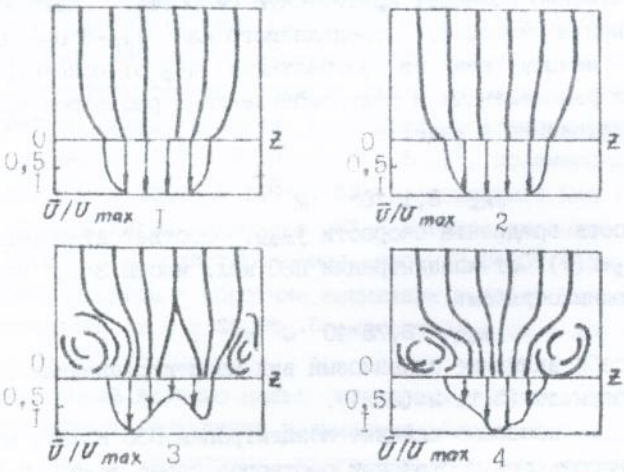
Влияние концентрации ПЭО и угла входа на эффективную вязкость при протекании растворов через щель



а) щель 1: β^{o}=180°, $M_{пэо}=4\cdot10^{6}$, $C_{пэо}$:1-0,2%, 2-0,1%, 3-0,08%, 4-0,06%, 5-0,04%, 6-0,03%, 7-0,02%, 8-вода;
б) щель 2: $M_{пэо}=6\cdot10^{6}$, $C_{пэо}$= 0,1%, β^{o}: 1-180°, 2-150°, 3-98°, 4-65°, 5-35°.

Рис. 1.

Влияние режима истечения на равномерность подачи раствора ПЭО через щель



Щель: b= $0,3\cdot10^{-3}$м, x=$9\cdot10^{-3}$м, β^{o}=38°, $M_{пэо}=6\cdot10^{6}$, $C_{пэо}$=0,1%;
1- вода, $\bar{U}$=2 м/с; 2- р-р ПЭО, $\bar{U}$=0,7 м/с; 3 и 4 р-р ПЭО, $\bar{U}$=2 м/с.

Рис.2.

ших значений. Отмечается также одинаковый вид концентрационно-молекулярной зависимости $U_{кр}$ при истечении растворов ПЭО через щели и капилляры.

Интерпретация полученных данных потребовала решения вопроса о структуре гидродинамического поля сходящихся течений разбавленных и умеренно концентрированных растворов полимеров, а также вопроса о степени деформационного воздействия гидродинамического поля на макромолекулярные клубки. С помощью визуализации течений, лазер-доплеровской анемометрии и стробоскопического метода установлено, что повышение диссипации энергии сопровождается своеобразным изменением структуры гидродинамического поля. При переходе от одного режима истечения к другому существенным образом изменяется картина линий тока во входной области проточного элемента. Во входной области возникают затопленная струя в виде "шнура" (или "ленты" при истечении через щель) и вторичные течения в виде торообразного вихря, окружающего эту струю.

Результаты при визуализации течения растворов полимеров , а также анализ диаграмм динамического напора выходящей из капилляра струи и пульсаций интенсивности лазерного излучения, вследствие эффекта двойного лучепреломления на входе в капилляр, позволяют заключить, что нестабильный режим течения - это автоколебательный процесс.

На рис.2 приведены графические копии линий тока, отражающие распределение скорости вдоль щели при истечении водного раствора ПЭО. Видно, что на докритическом режиме течения распределение скорости на выходе из щели такое же, как и у воды. В закритическом режиме протекания полимерного раствора прослеживается неравномерность расхода полимера через щель не только во времени, как при истечении через капилляр, но и в пространстве (вдоль щели). На рис.2 (3 и 4) приведено распределение скорости в разные моменты времени с интервалом 5 сек.

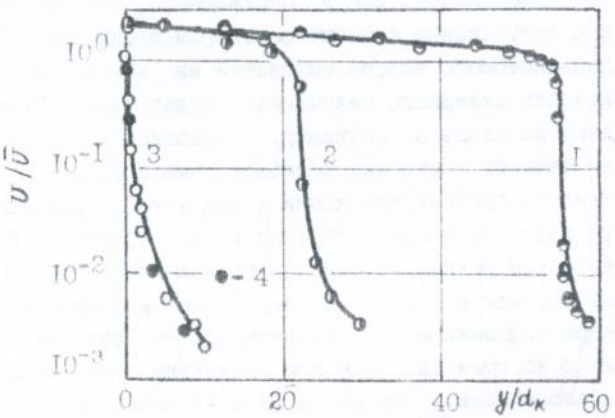
В случае водных растворов полиакриламида характерные особенности их поведения при истечении через капилляры и щели сохраняются, но есть и некоторые отличия. Обращает на себя внимание значительное понижение $U_{кр}$ у растворов ГПАА, что объясняется наличием большой характеристической вязкости $[\eta]_0$, которая служит характеристикой размеров непродеформированных молекулярных клубков.

Сравнение максимальных значений $\eta_{эф}$ растворов ПЭО, ПАА и ГПАА показывает, что величина эффективной вязкости определяется не $[\eta]_0$, а контурной длиной молекул полимера и их количеством в единице объема. При совпадении последних величины вязкости, соответствующие экстремуму

на зависимости $n_{эф}$ от $\bar{U}$, практически совпадают. Отличительная особенность структуры потока наблюдается только у растворов ГПАА. При течении этих растворов разрушение образующегося "шнура" происходит как бы под действием колеблющейся из стороны в сторону циркуляционной зоны. Нестабильный режим истечения (пульсации выходящей струи) возникает из-за циркуляционных зон, периодически запирающих предвходную область капилляра, и характеризуется незатухающей во времени амплитудой осцилляций динамического напора выходящей из капилляра струи с определенным набором частот. Что касается растворов ПАА, то их поведение практически совпадает с поведением растворов ПЭО.

На рис.3 представлены результаты, отражающие развитие скорости вдоль оси потока во входной области капилляра в безразмерных координатах.

Распределение скорости на оси потока



$M_{ПЭО}=4\cdot10^6$; 1- 0,05%, $d_к=0,5\cdot10^{-3}$м, $l_к=0,21\cdot10^{-3}$м, $\bar{U}=2,5$м/с;
2- 0,05%, 3- вода, $d_к=0,37\cdot10^{-3}$м, $l_к=1,1\cdot10^{-3}$м, $\bar{U}=0,9$м/с;
4- 0,05%, $d_к=0,37\cdot10^{-3}$м, $l_к=1,1\cdot10^{-3}$м, $\bar{U}=0,5$м/с;

Рис 3.

Для полимерного раствора на докритических режимах течения распределение осевой скорости практически такое же, как и у воды (кривая 3 и точки 4). На закритическом режиме истечения наблюдается существенная деформация кривых, характеризующих развитие осевой скорости (см. кривые 1 и 2). Эти кривые имеют по крайней мере два участка с линейным изменением скорости. Сопоставление распределения скорости на оси потока с картинами линий тока, соответствующими данному режиму течения,

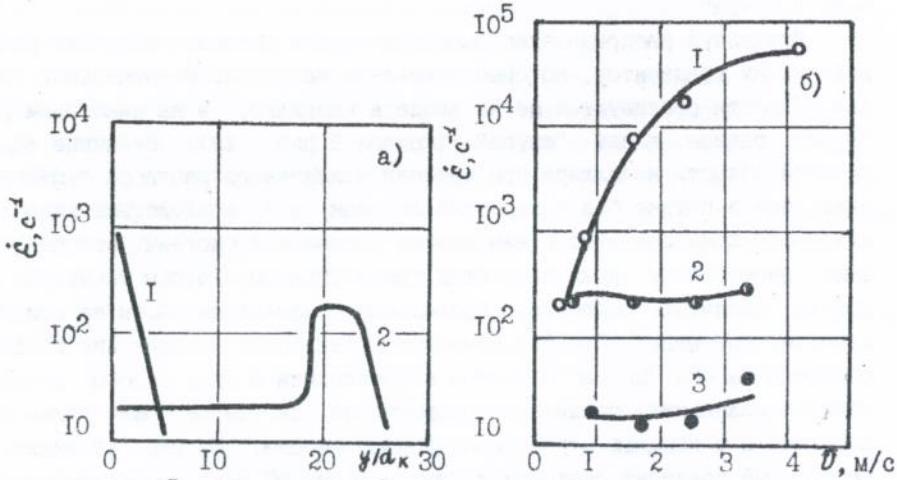
показывает, что участок с резким падением скорости относится к входной зоне " шнура".

Используя распределение скорости на оси потока, получили распределение их градиентов, которые приведены на рис.4. Максимальный градиент скорости реализуется не на входе в капилляр, а на некотором расстоянии, равном длине "шнура" (кривая 2 рис. 4а). Величина ε_{max} во входной области капилляра при течении полимерного раствора существенно ниже, чем в потоке без полимерных добавок, т.е. воздействие гидродинамического поля приводит к изменениям полимерной системы, которые вызывают перестройку поля скоростей таким образом, чтобы уменьшить продольные градиенты скорости. Продольный градиент скорости на оси "шнура" не превышает 30 $с^{-1}$. Отмечается тенденция к понижению градиента скорости на оси "шнура" с ростом концентрации и мол. массы полимера. Наличие маленьких градиентов скорости на оси "шнура" было также подтверждено и с помощью стробоскопического метода. Из рис. 4б видно, что продольный градиент скорости в "шнуре" (кривая 3), как и максимальные значения градиента скорости во входной области капилляра (кривая 2), в случае течения полимерного раствора в закритическом режиме слабо зависит от $\bar{U}$.

Результаты, представленные на рис. 5 и 6, доказывают возможность перехода в сильно развернутое состояние макромолекул в условиях сходящегося потока. Отношение измеренного ДЛП к предельно возможному достигает 0,3, что соответствует 55% степени развернутости макромолекул. Возрастание концентрации приводит к уменьшению деформационного фактора. Результаты измерений диаметра анизотропной зоны d_a (зоны развернутых цепей) на расстоянии одного диаметра от входа в капилляр показали, что он близок к диаметру капилляра $d_к$. Отношение $d_a/d_к$ для режимов, характеризуемых рис.5 (1 и 3), составило 0,8 и практически 1, соответственно.

Данные рис.6 позволяют выяснить поведение макромолекул при различных скоростях течения. Видно, что зависимость $(\Delta n/\Delta n^{\infty})_{max}$ от $\bar{U}$ можно разделить на три области. Области 1 и 3 характеризуются монотонным увеличением размеров молекулярных клубков полимера с ростом средней скорости, а переходная область (обл.2) - скачкообразным. Сравнительный анализ рис.6 и 4б показывает, что в области 1 возрастание $\bar{U}$ сопровождается ростом ε, что и обусловливает увеличение размеров молекулярных клубков. Реализуемые при этом градиенты скорости во входной области капилляра несколько ниже, чем у воды, текущей с такой же расходной

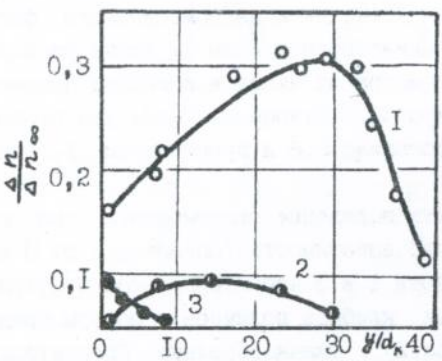
Распределение градиента скорости на оси потока



$d_к = 0{,}5\cdot10^{-3}$м, $l_к = 0{,}21\cdot10^{-3}$м, $M_{пэо} = 4\cdot10^6$; а) 1- вода, 2- 0,05%, U=0,8м/с; б) 1- вода, 2- 0,05%, 3- ε в "шнуре" для 0,05%.

Рис. 4.

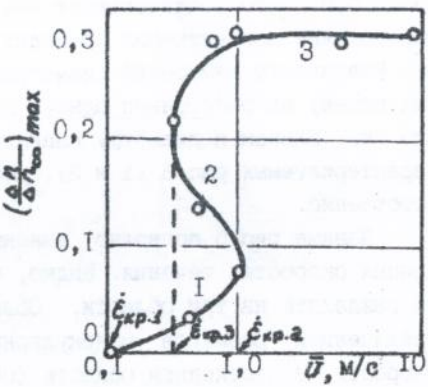
Распределение деформационного фактора во входной области капилляра для водных растворов ПЭО



$d_к = 0{,}5\cdot10^{-3}$м, $l_к = 0{,}21\cdot10^{-3}$м, $M_{пэо} = 4\cdot10^6$; 1- $C_{пэо}$=0,03%, U=2,5м/с; 2-0,1%, U=1м/с; 3- $C_{пэо}$=0,03%, U=1м/с.

Рис.5

Зависимость максимальных значений деформационного фактора во входной области капилляра от средней скорости истечения



$d_к = 0{,}5\cdot10^{-3}$м, $l_к = 0{,}21\cdot10^{-3}$м, $M_{пэо} = 4\cdot10^6$; $C_{пэо}$=0,03% .

Рис.6.

скоростью. При достижении некоторого критического градиента $\varepsilon_{кр2}$ происходит резкая трансформация размеров молекулярных клубков. Последнее приводит к существенной перестройке поля скоростей таким образом, чтобы продольный градиент скорости понизился до $\varepsilon_{кр3}$, но не ниже критического $\varepsilon_{кр1}$, с которого возникает ДЛП, т.е. $\varepsilon_{кр1}<\varepsilon_{кр3}<\varepsilon_{кр2}$. Возрастание концентрации полимера в растворе сглаживает различия между величинами указанных критических градиентов скорости. Дальнейшее возрастание U слабо влияет на деформационный фактор и на ε_{max} в области 3. Тот факт, что значительное изменение скорости не приводит к сильному изменению ε_{max}, свидетельствует о нелинейном (как минимум кубическая нелинейность) влиянии степени развернутости макромолекул на реализуемые при этом градиенты скорости.

Полученные данные показывают, что полимерные растворы в условиях сходящегося потока в закритических режимах течения являются саморегулирующимися диссипативными системами с отрицательными обратными связями. Последнее проявляется в следующем: возрастающие продольные градиенты скорости приводят к деформации молекулярных клубков, а это в свою очередь вызывает перестройку структуры потока таким образом, чтобы уменьшились продольные градиенты скорости. Последние не могут быть ниже некоторого критического значения ($\varepsilon_{кр}=0,5/\theta_c$), достаточного для разворачивания макромолекул и определяемого характерным временем θ_c полимерного раствора. Возрастание скорости течения в результате нелинейных эффектов приводит к незначительному дальнейшему увеличению деформационного фактора, но этого оказывается достаточно, чтобы застабилизировать характерный градиент скорости для данной системы.

В плане решения поставленных в работе задач изучена релаксация развернутых цепей в тех участках потока, где гидродинамическое поле "выключено" ($\varepsilon<\varepsilon_{кр}$). Это позволило установить, что для полуразбавленных и умеренно концентрированных растворов полимеров времена релаксации развернутых цепей и слабодеформированных индивидуальных цепей различаются более, чем на 2 порядка. Причиной столь больших времен сворачивания является генерируемые в растворе надмолекулярные структуры. Природа этих структур выяснена с помощью анализа фазовых равновесий в системе полимер-растворитель. Полученные данные подтверждают концепцию С.Я. Френкеля о смещении кривых фазового разделения под действием гидродинамического поля.

Доказано существенное влияние кинетических факторов на степень развернутости цепи для сходящегося гидродинамического поля. Анализ

проводился в рамках нелинейной гантельной модели с использованием приближения Петерлина-де Жена. Показано, что переход макромолекул в развернутое состояние под действием гидродинамического поля, а, следовательно и образование динамических надмолекулярных структур возможны, если безразмерная скорость деформации превосходит $\varepsilon \cdot \theta_0 > 0,5$ и время деформационного воздействия поля больше $t/\theta_0 > 1$.

Полученные данные о динамике макромолекул в условиях растягивающего гидродинамического поля позволили понять механизм нелинейности при фильтрационном течении растворов полимеров.

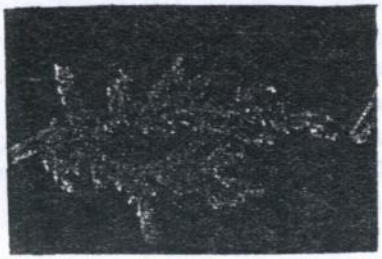
Сделан вывод, что эффекты динамического структурообразования и возникающий при этом автоколебательный режим истечения раствора полимера через гидрореизисторы должны играть важную роль при оптимизации процесса вытеснения нефти из пласта растворами полимеров. Тем не менее в инженерных расчетах при разработке нефтяных месторождений это обстоятельство до настоящей работы не принималось во внимание.

В 4-й главе изложены результаты исследований закономерностей протекания растворов полимеров через пористые среды и процесса вытеснения нефти из пористых сред с различной пористостью и слоистой неоднородностью. Скорость течения варьировалась от 10^{-5} до 1 м/с.

Из полученных в работе результатов следует, что фильтрационное течение представляет собой не что иное, как суперпозицию течений, реализуемых во входной области капилляра, поэтому и основные, по крайней мере, интегральные характеристики таких течений имеют сходные закономерности с отмеченными при протекании полимерных растворов через капилляры или щели. Из-за того, что в пористом материале поры некоторым образом распределены по размерам, переход к течению с повышенным гидродинамическим сопротивлением не происходит скачком при достижении некоторого критического продольного градиента скорости, как это имеет место при истечении через капилляры или щели. В случае пористой среды этот переход совершается относительно плавно.

Результаты по вытеснению нефти из однородной пористой среды (рис.7) свидетельствуют, что при вытеснении водой (1) и растворами полимеров(2) на докритических режимах образуются характерные фрактальные структуры. Они отличаются сильной разветвленностью, наличием большого числа тупиковых ветвей. Чем ниже вязкость нефти, тем быстрее раствор полимера (или вода) доходит до выходного штуцера по одной из ветвей с наименьшим сопротивлением. Если же вытеснение нефти из пористой среды осуществляется на закритическом режиме фильтрации (рис.7(3)), то поли-

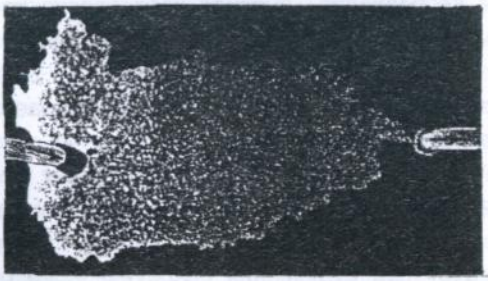
Картины вытеснения нефти из модельных нефтеносных пластов с однородной пористостью



1

2

3



4

1- водой, 2- водным раствором ПЭО на докритическом режиме,
3- водным раствором ПЭО на закритическом режиме,
4- водным раствором глицерина; $M_{ПЭО}=4\cdot10^{6}$, $C_{ПЭО}=0,05\%$, $C_{гл.}=53,2\%$, $\eta_{нефти}=144\cdot10^{-3}$ Па·с, $d_{зёрен}=0,5\cdot10^{-3}$ м.

Рис.7.

мерный раствор образует широкий, ровный фронт вытеснения, охватывающий всю ширину ячейки. Как и следовало ожидать, наблюдается высокое нефтевынесение водно-глицериновым раствором с вязкостью близкой или выше $\eta_{эф}$ растворов полимеров при $\varepsilon > \varepsilon_{кр}$, хотя фронт вытеснения у водно-глицериновых растворов уже, чем у растворов полимеров(рис.7(4)).

Таким образом для достижения высокой продуктивности при вытеснении нефти необходимо, чтобы рабочая жидкость имела вязкость равную или больше вязкости нефти. У растворов ПЭО (относительно низких концентраций) это условие может выполняться только на закритических режимах течения в пористой среде.

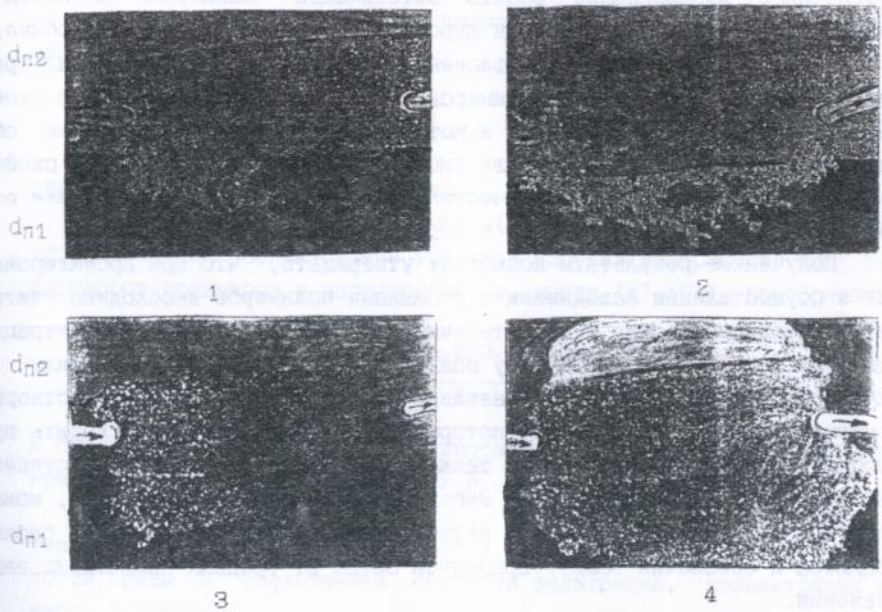
Отмечается также несколько иной характер вытеснения нефти растворами ГПАА. Даже при очень малых скоростях фильтрации этот раствор имеет довольно высокий коэффициент вытеснения нефти, который с ростом скорости фильтрации вначале уменьшается, а затем, как и с растворами ПЭО или ПАА начинает довольно резко увеличиваться. При достижении некоторой критической скорости фильтрации указанная зависимость коэффициета нефтеотдачи от скорости фильтрации для растворов ГПАА полностью согласуется с наблюдаемой зависимостью $\eta_{эф}$ от $\bar{U}$ при истечении растворов ГПАА через короткий капилляр. Эффективность использования растворов ГПАА,ПАА и ПЭА определяется конкретными условиями при которых происходит нефтевытеснение - скоростью фильтрации, температурой, ионной силой и pH среды.

Наблюдается несравненно высокая нефтеотдача,которая не обеспечивается другими методами,на месторождениях со слоистой неоднородностью пластов. Об этом свидетельствуют данные рис. 8. Видно, что при вытеснении нефти из таких пластов водой (или водными растворами глицерина), нефть вытесняется в основном в слое с большей пористостью (рис.8(1и2)). Растворы же полимеров обеспечивают относительно ровный фронт вытеснения (рис.8 (3 и 4)), при $\varepsilon > \varepsilon_{кр}$ для среды с большей пористостью. Выравнивание фронта наблюдается даже в трещиноватопористых средах, естественно, при реализации закритического режима течения протекания через трещины (щели).

Показано также, что существенное сокращение расхода полимера осуществляется организацией полимерной оторочки, т.е. использованием раствора полимера только в начальный момент заводнения нефтеносного месторождения.

На основании данных, характеризующих динамику макромолекул в модельных условиях фильтрационного течения, и доказанного сильного де-

Вытеснение нефти из модельных нефтеносных пластов со слоистой неоднородностью



1 и 2 - водой, 3 и 4 - водным раствором ГПАА (картины вытеснения соответствуют разным моментам времени); $M_{ГПАА}=4,5\cdot10^6$, $d_{п1}/d_{п2}=4$.

Рис.8.

формационного воздействия на макромолекулы гидродинамического поля фильтрационного течения, а также используя данные исследований процесса вытеснения нефти из пористой среды с различной пористостью и слоистой неоднородностью, предложен молекулярно-надмолекулярный механизм отклонений от закона Дарси, заключийся в возникновении автоколебательного режима обратимых процессов разворачивания макромолекул под действием квазирегулярно возникающих продольных градиентов скорости в пористой среде и влиянии разворачивающихся макромолекул как на молекулярном (при $C\cdot[\eta]_C\leqslant0,2$), так и на надмолекулярном (при $C\cdot[\eta]_C\geqslant0,2$) уровнях на структуру фильтрационного течения, т.е. в результате осцилляций деформации макромолекул и растворимости динамических надмолекулярных образований, возникающих под действием растягивающих течений возникает повышенная диссипация энергии и нелинейность фильтрационного

течения. Нелинейность при фильтрационом течении растворов полимеров и обеспечивает выравнивание фронта вытесняющей полимерной жидкости в слоистых неоднородных пластах и широкий охват пласта при нефтедобыче.

Разработанный подход к объяснению механизма нелинейности фильтрационного течения растворов полимеров хорошо укладывается в общую схему саморегулирующихся процессов, в которых доминируют отрицательные обратные связи, что характерно для систем, способных изменять свои свойства под действием внешних фивических воздействий , в данном случае под действием локально возникающих в порах течений с растяжением.

Полученные результаты позволяют утверждать, что при проектировании и осуществлении заводнения с добавками полимеров необходимо учитывать гидродинамические режимы течения рабочего раствора, концентрацию полимера в растворе, мол. массу полимера, температуру, ионную силу и pH среды. Необходимо также правильно готовить полимерные растворы, исключая процесс старения, который может интенсивно происходить при высоких температурах нефти, а также обеспечивать необходимую степень растворимости полимера в воде. Варьируя перечисленные параметры, можно добиться высокой эффективности нефтедобычи, уменьшив при этом расход полимера и обеспечив защиту природной среды от вредных химических загрязнений.

Приводятся разработанные научно-обоснованные принципы расчета гидродинамических режимов заводнения с добавками полимеров нефтеносных месторождений. Расчет режимов полимерного заводнения основан на использовании установленного критерия , характеризующего начало возникновения повышенного гидродинамического сопротивления. В этот критерий, который трактуется как число Деборы $\varepsilon\cdot\theta_c > De_{кр}$ (4.1) входят время релаксации полимерного раствора θ_c и продольный градиент скорости ε.

Для θ_c получено следующее аналитическое выражение

$$\theta_c = \begin{cases} \theta_o \cdot \exp(k) & \text{при } k<1 \\ \theta_c \cdot [\exp(k^{2/3})]/k^{1/3} & \text{при } k>1 \end{cases} , \qquad (4.2)$$

где θ_o- время релаксации при $C \to 0$, определяемое экспериментально (гл.3) или, как было показано в главе 3, может быть рассчитано по формуле Зимма $\theta_o = 0{,}42\cdot(M\cdot[\eta]_o\cdot\eta_o)/RT^o$, $[\eta]_o$- характеристическая вязкость, $k=[\eta]_o\cdot C$, η_o - вязкость растворителя, M -мол. масса, T^o - температура, R- универсальная газовая постоянная. Справедливость найденного соотношения, позволяющая связать θ_c с концентрацией, температурой и характе-

ристической вязкостью (мол. массой), подтверждают результаты исследований $\theta_c=f(k)$ трех фракций ПЭО в воде. Для продольного градиента скорости на расстоянии $d_п/2$ ($d_п$ - характерный размер пор) можно записать выражение:

$$\varepsilon \approx \frac{2\cdot \vartheta_Ф}{K\cdot d_п}, \qquad (4.3)$$

где $\vartheta_Ф$- скорость фильтрации, а K - коэффициент пористости среды.

Тогда, используя соотношение (4.2), (4.3) и подставляя в (4.1), условие начала возникновение эффектов упругих деформаций при течении растворов полимеров в пористой среде, когда $[\eta]_o\cdot C \geqslant 1$, приобретает вид:

$$\frac{\theta_o\cdot \exp\{([\eta]_o\cdot C)^{2/3}\}}{([\eta]_o\cdot C)^{1/3}}\cdot\frac{2\vartheta_Ф}{K\cdot d_п} \geqslant De_{кр}. \qquad (4.4)$$

В соответствии с полученными в диссертации экспериментальными данными, критическое число Деборы равно 2,5.

Из соотношения (4.4) следует, что способность к повышенному нефтевытеснению полимерными растворами увеличивается с уменьшением пористости среды и увеличением скорости фильтрации, концентрации и мол. массы полимера.

Для прогнозирования технологических показателей разработки нефтяных месторождений с применением растворов полимеров показана возможность использования обычного метода расчета технологических показателей, основанного на использовании основного закона фильтрации - закона Дарси. Для этого в уравнении Дарси обычную вязкость заменили на эффективную, учитывающую проявление эффектов упругих деформаций при $\varepsilon > \varepsilon_{кр}$. Тогда, учитывая что $\eta_{эф}=0,5\cdot(\eta_j+\eta_{\dot\varepsilon})$, закон Дарси можно представить в виде двух слагаемых, ответственных за разные виды течений - сдвигового и с растяжением:

$$\frac{\Delta P}{L} = \eta_j\,\frac{\vartheta_Ф}{2A} + \eta_{\dot\varepsilon}\,\frac{\vartheta_Ф}{2A}, \qquad (4.5)$$

где ΔP - перепад давления на длине L, A- коэффициент проницаемости, η_j - вязкость при сдвиговом течении, а $\eta_{\dot\varepsilon}$ -вязкость при течении с растяжением.

Обсуждается возможность использования эмпирических формул в виде степенного закона для $\eta_j \sim j^{n-1}$ и $\eta_{\dot\varepsilon} \sim \varepsilon^{3n-3}$. При n=1 имеем ньютоновс-

кую жидкость, а $\eta_j = \eta_\ell$. Уравнением (4.5) довольно хорошо описываются экспериментальные данные, полученные при фильтрационном течении растворов полимеров.

В целом, представленные в главе данные свидетельствуют о том, что с помощью растворов полимеров можно получить высокие коэффициенты нефтеотдачи, а, следовательно, отказаться от применения технологий, не удовлетворяющих экологическим требованиям. Технология полимерного нефтевытеснения является ресурсосберегающей и природозащитной, т.е. экологической по определению. Таким образом, поставленная цель в работе достигнута, т.к. научно решена сформулированная в диссертации задача.

ВЫВОДЫ

1. Сопоставлением полученных полей скоростей и их градиентов, картин течения и результатов измерений степени развернутости макромолекулярных клубков, а также времен релаксации полимерных систем выяснена динамика макромолекул в гидродинамическом поле с растяжением. Установлено, что при сходящемся течении в закритическом режиме для области концентраций, лежащих между очень разбавленными и умеренно концентрированными растворами, происходит весьма сильное деформационное воздействие поля на молекулярные цепи. Отношение измеренного двулучепреломления Δn к предельно возможному Δn_∞ при воздействии на макромолекулы гидродинамических полей, генерируемых при сходящемся течении, достигает 0,3 , что соответствует степени развернутости полимерных цепей 55%.

2. Получены новые данные о структуре сходящегося течения растворов гибкоцепных линейных полимеров. Переход к режиму течения с повышенной диссипацией энергии сопровождается образованием входной затопленной струи. При истечении полимерного раствора через щель возникает неравномерность расхода полимера не только во времени, как при истечении через капилляр, но и в пространстве (вдоль щели).

3. Получены данные, показывающие, что полимерная система в условиях сходящегося потока в закритическом режиме течения является саморегулирующейся диссипативной системой с отрицательными обратными связями. Последнее проявляется в следующем: возрастающие продольные градиенты скорости приводят к таким изменениям в полимерном растворе, которые способствуют перестройке структуры потока и тем самым уменьшают

продольные градиенты скорости, но не ниже некоторого критического значения, определяемого временем релаксации раствора. Наблюдается существенное влияние разворачивающихся макромолекул на структуру гидродинамического поля при течении даже разбавленных растворов полимеров.

4. Установлено, что закономерности поведения макромолекул при течении с продольным градиентом скорости и проявляющиеся при этом эффекты упругих деформаций имеют определяющее значение в понимании механизма вытеснения нефти из пористой среды полимерными растворами. Молекулярно-надмолекулярный механизм отклонений от закона Дарси заключается в возникновении автоколебательного режима обратимых процессов разворачивания макромолекул под действием квазирегулярно возникающих продольных градиентов скорости в пористой среде и влиянии разворачивающихся макромолекул как на молекулярном (при $C\cdot[\eta]_0 \leqslant 0,2$), так и на надмолекулярном (при $C\cdot[\eta]_0 > 0,2$) уровнях на структуру фильтрационного течения, т.е. в результате осцилляций деформации макромолекул и растворимости динамических надмолекулярных образований, возникающих под действием растягивающих течений возникает повышенная диссипация энергии и нелинейность фильтрационного течения. Нелинейность при фильтрационном течении растворов полимеров и обеспечивает выравнивание фронта в слоистых неоднородных пластах вытесняющей полимерной жидкости и широкий охват пласта при нефтедобыче.

5. Используя разработанный подход к объяснению явления повышенной диссипации при протекании растворов полимеров в пористой среде и выравнивания фронта в слоистых неоднородных пластах вытесняющей жидкости с полимерными добавками, который хорошо укладывается в общую схему саморегулирующихся процессов с доминирующими отрицательными обратными связями, предложен метод расчета технологических показателей разработки нефтяных месторождений с применением растворов полимеров на основе обычного метода для воды и данных, полученных при исследовании течений растворов полимеров в условиях пористой среды.

6. Физико-химические основы поведения макромолекул в условиях сложных гидродинамических полей, реализуемых в нефтеносных пластах при полимерном нефтевытеснении, позволили разработать основные принципы экологической технологии повышения нефтеотдачи пластов, реализация которой будет способствовать защите природной среды при высоких коэффициентах нефтеотдачи.

7. На основании результатов, полученных при изучении физико-химических эффектов упругих деформаций, возникающих при течении растворов

полимеров в модельных условиях пористой среды была совместно с Ижевским филиалом ЦНИИБУММАШ предложена новая конструкция экструзионной головки, позволяющая получать полимерную пленку улучшенного качества.

8. Результаты работы приняты для внедрения в практику проектирования и разработки нефтяных месторождений.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПЕЧАТНЫХ РАБОТАХ:

1. Погребняк Л.А. Изучение нелинейной фильтрации растворов полимеров с целью разработки рекомендаций по оптимизации процесса нефтедобычи // Экологические проблемы промышленного региона:Сб. трудов в 3-х томах.- Макеевка,ДГАСА. - 1995. - т.2 - с.23.

2. Погребняк (Каушнян)Л.А. Ламинарное неразвившееся течение растворов полимеров // Синтез, исследование свойств, модификация и переработка ВМС: Материалы 2-й Межреспубликанской конференции студентов ВУЗов СССР. - Казань, КХТИ. - 1981. - с.101.

3. Погребняк Л.А. и др. Вязкость и диаграммы состояния растворов ПЭО //Изв. ВУЗов. Сер.химия и химическая технология. - 1986. - т.29. -Вып.1. - с.88.

4. Погребняк Л.А. и др. Исследование неразвившегося течения разбавленных растворов ПЭО через короткие капилляры //Гидродинамика разбавленных растворов ВМС. - М.,ИПМ АН СССР. - 1982.- с.10.

5. Погребняк Л.А., Неронова И.А. Надмолекулярная структура растворов ПЭО //Водорастворимые полимеры и их применение: Тезисы докладов II конференции. - Иркутск, СО АН СССР. - 1982. - с.141.

6. Погребняк Л.А. и др. О механизме вытеснения нефти растворами полимеров //Водорастворимые полимеры и их применение: Тезисы IV Всесоюзной конференции. - Иркутск, СО АН СССР. - 1991.- с.130.

7. Погребняк (Каушнян)Л.А.,Наумчук Н.В. Реологические свойства водных и водно-солевых растворов олеата калия и ПЭО //Физико-химические основы применения ПАВ в промышленности: Тезисы докладов Республиканской конференции. - Донецк, ДонГУ. - 1981. - с.59.

8. Погребняк Л.А. и др. Течение растворов полимеров со значительными деформационными эффектами //Материалы Республиканской конференции по физико-химии, технологии получения и применения промывочных жидкостей,дисперсных систем и тампонажных растворов. - Ивано-Франковск. - 1985.- с.49.

9. Погребняк Л.А. Возникновение периодических процессов в жидкостях с гидродинамически активными добавками //Циклические процессы в природе и обществе: Тезисы докладов 2-й Международной конференции. -Ставрополь, СГУ. -1994.- с.89.

10. Погребняк Л.А. и др. Деградация флокулянтов в процессах углеобогащения //Экологические проблемы промышленного региона: Сб. трудов в 3-х томах. - Макеевка, ДГАСА.-1995. - т.2 - с.29.

11. Погребняк Л.А., Погребняк В.Г.Эффекты упругих деформаций при фильтрационном течении растворов полимеров //Материалы 17 Международного симпозиума по реологии/ Под ред. Куличихина В.Г. - М. - Саратов, РАН. - 1994. - с.80.

12. Погребняк Л.А. и др. Локализация в литосфере очагов загрязнений //Экологические проблемы промышленного региона: Сб. трудов в 3-х томах. - Макеевка, ДГАСА. - 1995.-т.2.- 32 с.

13. Погребняк В.Г., Погребняк Л.А. Опорный конспект по экологии: Методпособие. - Макеевка, ДГАСА. - 1993. - с.52.

14. Погребняк Л.А. и др. Механизм перехода клубок-развернутая цепь при сходящемся течении растворов полимеров //Вестник ДГАСА. - 1995. - т.1. - Вып.1. - с.6.

A N N O T A T I O N

Pogrebnyak L.A. The physico-chemical foundations of ecological technologies of increasing the oil recovery of seams.

Candidate of technology (= Ph.D) thesis on speciality 05.26.05 - engineering ecology Donbass State Academy of construction and architecture. Makeevka, 1996.

There have been studied the physico-chemical nature of revealing the effects of elastic deformations during the flow of polymer solutions (meeting the corresponding ecologic requirements) in simulation conditions of porous medium as well as the process of forsing out oil from the seams with different porosity and stratified heterogeneity.

The established regularities of manifestation of elastic deformation effects, arising during the flow of polymer solutions have made it possible to work out the scientifically grounded basic principles of ecological technology to increase the oil recovery of seams. Realization of such technologies will promote the protection of natural surroundings, providing in this case higt rates of oil recovery.

Key words: filtration, hydrodynamic drag, polymer, relaxation time, linear velocity gradient, permeability, development, ecologic requirements, ecological technologies.

А Н Н О Т А Ц И Я

Погребняк Л.А. Физико-химические основы экологических технологий повышения нефтеотдачи пластов.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.05 - инженерная экология. Донбасская государственная академия строительства и архитектуры, Макеевка, 1996.

Изучены физико-химическая природа проявления эффектов упругих деформаций при течении растворов полимеров (отвечающих соответствующим экологическим требованиям) в модельных условиях пористой среды и процесс вытеснения нефти из пластов с различной пористостью и слоистой неоднородностью.

Установленные закономерности проявления эффектов упругих деформаций, возникающих при течении растворов полимеров , позволили разработать научно-обоснованные основные принципы экологической технологии повышения нефтеотдачи пластов. Реализация таких технологий будет способствовать защите природной среды, обеспечивая при этом высокие коэффициенты нефтеотдачи.

Ключевые слова: фильтрация, гидродинамическое сопротивление, полимер, время релаксации, продольный градиент скорости, проницаемость, разработка, экологические требования, экологические технологии.

ПОГРЕБНЯК Лариса Олександрівна

Підписано до друку 13 січня 1996 р. Замовлення № 15
Тираж 100. Спосіб друку офсетний
ПО "Чайка", м. Донецьк- 50, пр.Театральний,13