

И.Н. Евдокимов

Структурные  
характеристики  
промысловых  
водонефтяных  
эмульсий



РГУ нефти и газа  
им. И.М. Губкина

НАУЧНОЕ  
ПОСОБИЕ

**И.Н. Евдокимов**

**СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ПРОМЫСЛОВЫХ ВОДОНЕФТЯНЫХ  
ЭМУЛЬСИЙ**

*«Допущено Учебно-методическим объединением вузов  
Российской Федерации по нефтегазовому образованию в качестве  
учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению подготовки магистров 131000  
«Нефтегазовое дело», по представлению Ученого совета  
Российского государственного университета нефти и газа  
имени И.М. Губкина».*



**ИЗДАТЕЛЬСКИЙ  
ЦЕНТР**

**РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина**

**I.N. Evdokimov**

**STRUCTURAL FEATURES OF OILFIELD  
W/O EMULSIONS**



**ИЗДАТЕЛЬСКИЙ  
ЦЕНТР**

**РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина**

УДК 622.276  
ББК 65.304.13  
Е15

Рецензенты:

декан факультета нефти и газа ГБОУ ВПО «Альметьевский государственный нефтяной институт», заслуженный деятель науки Республики Татарстан, профессор, д.ф.-м.н. *Н.К. Двояшкин*;  
профессор ГБОУ ВПО «Альметьевский государственный нефтяной институт», д.т.н. *В.А. Иктисанов*;  
заведующий лабораторией стимуляции скважин Татарского научно-исследовательского и проектного института нефти «ТатНИПИнефть», лауреат Государственной премии Республики Татарстан, д.т.н. *М.Х. Мусабиров*

**Евдокимов И.Н.**

**Е15** Структурные характеристики промысловых водонефтяных эмульсий: Учебное пособие для вузов. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина 2012. – 477 с.

ISBN 978-5-91961-056-4

С современных позиций отечественной и зарубежной нефтепромысловой науки и практики обсуждаются механизмы стабилизации капель воды и механизмы их флокуляции в промысловых В/Н эмульсиях. Описаны экспериментальные доказательства существования многообразных структур дисперсной фазы в этих эмульсиях. Рассмотрены условия существования подобных структур и их влияние на измеряемые свойства эмульсий. В результате анализа промысловых данных выявлена очевидная связь изменений показателей нефтедобычи и характеристик работы оборудования с изменениями структур дисперсной фазы в добываемых водонефтяных эмульсиях.

Книга предназначена для студентов старших курсов, магистрантов и аспирантов вузов нефтегазового профиля, а также может оказаться полезной для научных сотрудников и специалистов нефтегазовой отрасли.

Данное издание является собственностью РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина и его репродуцирование (воспроизведение) любыми способами без согласия университета запрещается.

ISBN 978-5-91961-056-4

© Евдокимов И.Н., 2012

© Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012

© Голубев В.С., оформление серии, 2007

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	11
<b>ЧАСТЬ 1. УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ СТРУКТУР ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ В ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЯХ. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ НАБЛЮДАЕМЫХ СТРУКТУР.....</b>	<b>19</b>
Глава 1.1. Способы классификации эмульсий и используемая терминология.....	21
1.1.1. «Прямые эмульсии» и «обратные эмульсии».....	21
1.1.2. «Разбавленные», «концентрированные» и «высококонцентрированные» эмульсии.....	24
1.1.3. «Рыхлые», «промежуточные» и «плотные» эмульсии.....	29
1.1.4. «Стабильные» и «мезостабильные» водонефтяные эмульсии. Дисперсии «удержанной воды» в нефти и «нестабильные» В/Н дисперсии.....	30
1.1.5. «Фазы эмульсии», «термодинамические фазы» и «агрегатные состояния».....	32
Глава 1.2. Особенности механизмов стабилизации капель воды в промысловых водонефтяных эмульсиях.....	38
Глава 1.3. Условия осуществления и механизмы флокуляции капель воды в промысловых В/Н эмульсиях.....	54
Глава 1.4. Основные типы структур дисперсной фазы в промысловых водонефтяных эмульсиях.....	63
1.4.1. Свобододисперсные системы.....	63
1.4.2. Порог перколяции.....	68
1.4.3. Связнодисперсные системы.....	71
1.4.4. Некоторые особенности процессов механического диспергирования.....	80
<b>ЧАСТЬ 2. ВЛИЯНИЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ СТРУКТУР ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ НА СВОЙСТВА СВЕЖЕПРИ-</b>	<b>5</b>



**ГОТОВЛЕННЫХ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**..... 85

Глава 2.1. Экспериментальные свидетельства неприменимости традиционных методов расчета свойств промысловых водонефтяных эмульсий на основе уравнений материального баланса и правила аддитивности. Аномалии плотности эмульсий..... 87

2.1.1. Традиционные методы расчета свойств эмульсий..... 87

2.1.2. Исследованные объекты..... 88

2.1.3. Нелинейность зависимостей плотности эмульсий от водосодержания..... 90

2.1.4. Влияние водосодержания и температуры на относительную избыточную плотность водонефтяных эмульсий..... 92

2.1.5. Очевидное влияние размеров частиц «природных ПАВ» нефти на избыточную плотность водонефтяных эмульсий..... 94

2.1.6. Молекулярные механизмы возникновения аномалий плотности водонефтяных эмульсий..... 96

Глава 2.2. Необходимость отказа от стереотипных представлений при изучении промысловых водонефтяных эмульсий..... 101

2.2.1. Искажение результатов исследования плотности промысловых водонефтяных эмульсий для «подтверждения» стереотипных представлений..... 101

2.2.2. Отказ от стереотипных представлений позволяет выявить неаддитивность свойств промысловых водонефтяных эмульсий любого географического происхождения..... 103

Глава 2.3. Влияние структур дисперсной фазы на термические свойства промысловых водонефтяных эмульсий в статических условиях..... 106

2.3.1. Аномалии коэффициента объемного расширения..... 106

2.3.2. Аномалии температуры застывания..... 110

Глава 2.4. Микроскопические исследования и гранулометрический анализ свежеприготовленных водонефтяных эмульсий с различными структурами дисперсной фазы..... 112

2.4.1. Методы гранулометрического анализа..... 113

2.4.2. Микрофотографии свежеприготовленных эмульсий с различными структурами дисперсной фазы..... 120

2.4.3. Распределения числа капель по размерам и гранулометрические параметры популяции капель воды, сформированной в результате механического диспергирования..... 127

2.4.4. Генетическая диаграмма гранулометрических параметров для популяции капель воды, сформированных в результате механического диспергирования..... 137

2.4.5. Распределения объема (массы) капель по размерам в исследованных водонефтяных эмульсиях..... 144

**ЧАСТЬ 3. ВЛИЯНИЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ СТРУКТУР ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕСТАБИЛИЗАЦИИ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ.....** 149

**Глава 3.1. Естественная дестабилизация (старение) мезостабильных эмульсий.....** 151

**3.1.1. Визуально наблюдаемые особенности процесса дестабилизации и формирования «промежуточного слоя» в исследованной эмульсии.....** 152

**3.1.2. Зависимость от времени количества свободной воды, выделяющейся при дестабилизации исследованной эмульсии.....** 155

**3.1.3. Особенности строения остаточной стабильной эмульсии – основы «промежуточных слоев» в состаренных образцах.....** 156

**Глава 3.2. Механизмы взаимодействия микроволнового излучения с жидкими средами.....** 164

**3.2.1. Тепловые и нетепловые эффекты воздействия микроволнового излучения.....** 164

**3.2.2. Особенности поглощения микроволнового излучения в непрерывных жидких средах.....** 166

**3.2.3. Особенности поглощения микроволнового излучения в водонефтяных эмульсиях.....** 172

**Глава 3.3. Экспериментальные исследования дестабилизации водонефтяных эмульсий с различными структурами дисперсной фазы под действием микроволнового излучения.....** 177

**3.3.1. Зависимости температуры образцов от времени микроволнового облучения.....** 178

**3.3.2. Влияние исходных структур дисперсной фазы водонефтяных эмульсий на характеристики микроволнового поглощения.....** 181

**3.3.3. Влияние исходных структур дисперсной фазы на закономерности нагрева и на особенности разрушения водонефтяных эмульсий, подвергаемых микроволновому облучению.....** 185

**3.3.4. Влияние исходных структур дисперсной фазы на эффективность микроволновой дезэмульсификации.....** 197

**3.3.5. Очевидное влияние структур дисперсной фазы эмульсий на эффективность традиционных термических методов ликвидации нефтяных разливов.....** 198

**ЧАСТЬ 4. ВЛИЯНИЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ СТРУКТУР ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТАРЕНИЯ СТАБИЛЬНЫХ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ.....** 201

**Глава 4.1. Равновесные состояния стабильных эмульсий, подвергнутых долговременному старению.....** 203

4.1.1. Основные характеристики исследованных эмульсий .....	203
4.1.2. Влияние структур дисперсной фазы на характер нарушения однородности водонефтяных эмульсий после долговременного отстаивания (старения) .....	206
4.1.3. Особенности состава субфаз нефти в состаренных водонефтяных эмульсиях .....	210
4.1.4. Особенности строения дисперсной фазы в различных слоях состаренных водонефтяных эмульсий .....	220
<b>Глава 4.2. Особенности кинетики старения (отстаивания) стабильных водонефтяных эмульсий .....</b>	<b>225</b>
4.2.1. Наблюдаемые перемещения границ раздела слоев в отстаиваемых эмульсиях .....	225
4.2.2. Анализ результатов измерений на основе теоретических моделей оседания «коллоидных гелей» .....	238

**ЧАСТЬ 5. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ. ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ СТРУКТУР ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ В ПОТОКАХ ЭМУЛЬСИЙ. ФОРМИРОВАНИЕ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПОТОКА .....**

**259**

<b>Глава 5.1. Методика реологических исследований водонефтяных эмульсий. Характерные особенности кривых течения .....</b>	<b>261</b>
---	------------

<b>Глава 5.2. Реологические параметры эмульсий с начальными свободнодисперсными структурами .....</b>	<b>270</b>
---	------------

<b>Глава 5.3. Реологические параметры эмульсий с начальными связнодисперсными структурами пористых гелей .....</b>	<b>279</b>
--	------------

5.3.1. Особенности начальных участков кривых течения. Ложные свидетельства «ньютоновских» свойств эмульсий при измерениях малой продолжительности. Радиальное расслаивание потока эмульсий .....	279
--	-----

5.3.2. Универсальные закономерности разрушения структур пористых гелей в потоках эмульсий .....	290
---	-----

<b>Глава 5.4. Реологические параметры эмульсий с начальными связнодисперсными структурами сплошных гелей .....</b>	<b>297</b>
--	------------

5.4.1. Сплошные гели с рыхлой упаковкой капель воды .....	297
---	-----

5.4.2. Пластичные сплошные гели с плотной упаковкой капель воды .....	300
---	-----

5.4.3. Измеряемая вязкость хрупких сплошных гелей с плотной упаковкой капель воды. Ложные выводы об «инверсии фаз» в промысловых водонефтяных эмульсиях .....	302
---	-----

5.4.4. Экспериментальные свидетельства «растрескивания» хруп-	
---	--



<i>ких плотноупакованных гелей и вихревого расслаивания потока эмульсий</i> .....	307
<i>5.4.5. Возможные механизмы «пластично-хрупкого перехода» в высококонцентрированных водонефтяных эмульсиях</i> .....	311
<i>5.4.6. Особенности тиксотропии водонефтяных эмульсий с начальными структурами сплошных гелей</i> .....	318
<b>Глава 5.5. Диаграммы состояния потока промышленных водонефтяных эмульсий в условиях реологических исследований</b> .....	321
<b>Глава 5.6. Реологические свидетельства общности структур дисперсной фазы в промышленных водонефтяных эмульсиях из различных регионов мира</b> .....	327
<b>Глава 5.7. Влияние температуры на реологические параметры структурированных водонефтяных эмульсий. Особенности участия коллоидных частиц парафинов в процессах формирования флокуляционных структур капель воды</b> .....	334
<i>5.7.1. Влияние температуры формирования эмульсии на ее вязкость при стандартной температуре потока</i> .....	334
<i>5.7.2. Зависимость вязкости водонефтяных эмульсий с различными структурами дисперсной фазы от температуры потока</i> .....	341
<b>ЧАСТЬ 6. ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ СОСТОЯНИЙ ПРОМЫСЛОВЫХ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ И ДИСПЕРСИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕДОБЫЧИ И НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ</b> .....	351
<b>Глава 6.1. Особенности течения водонефтяных дисперсий и эмульсий в горизонтальных трубопроводах</b> .....	354
<i>6.1.1. Характеристики течения статически неустойчивых дисперсий воды и нефти</i> .....	354
<i>6.1.2. Характеристики течения статически устойчивых водонефтяных эмульсий</i> .....	364
<b>Глава 6.2. Особенности течения водонефтяных эмульсий в пористых средах</b> .....	369
<i>6.2.1. Потoki заранее сформированных эмульсий в пористых средах</i> .....	
<i>6.2.2. Свидетельства возможности образования водонефтяных эмульсий при совместном течении воды и нефти в пористых средах</i> .....	375
<b>Глава 6.3. Влияние структурных состояний водонефтяных эмульсий на характеристики процессов нефтедобычи на индивидуальных скважинах</b> .....	382

<b>Глава 6.4. Выявление эффектов, обусловленных структурированием В/Н эмульсий, по базам промысловых данных для различных скважин</b> .....	394
<i>6.4.1. Методы выявления общих закономерностей при значительных разбросах данных</i> .....	394
<i>6.4.2. Анализ баз данных по дебитам обводненных скважин для отдельных месторождений</i> .....	403
<i>6.4.3. Анализ «сверхбазы» данных об усредненных характеристиках разработки месторождений в различных нефтедобывающих компаниях</i> .....	414
<b>Глава 6.5. Выявление эффектов, обусловленных структурированием В/Н эмульсий, по базам промысловых данных для показателей работы скважинных насосов и промысловых трубопроводов</b> .....	419
<i>6.5.1. Скважинные штанговые насосы (СШН)</i> .....	419
<i>6.5.2. Скважинные электроцентробежные насосы (ЭЦН)</i> .....	432
<i>6.5.3. Интенсивность коррозии промысловых трубопроводов</i> .....	437
<b>Об авторе</b> .....	439
<b>Литература</b> .....	441

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Печальный опыт обводнения нефтяных месторождений начал копиться практически вместе с началом нефтедобычи в царской России и продолжался в годы Советской власти (Григулецкий, 2007). Так, уже в своих ранних публикациях академик И.М. Губкин отмечал срочную необходимость начать борьбу с врагом, «который грозит нам не только временным нефтяным голодом, но и гибелью наших богатейших нефтяных районов. Этот враг – вода, которая угрожает залить наши буровые скважины и превратить их из нефтяных в водяные» (Губкин, 1920, 1922).

В настоящее время увеличивающаяся из года в год обводненность месторождений продолжает оставаться одной из наиболее серьезных проблем нефтедобывающей отрасли России. Из четырех тонн добываемой нефтяными компаниями пластовой жидкости на чистую нефть приходится всего одна тонна. Остальное – вода. Около 25 % запасов нефти – это объекты со средней обводненностью более 90 %. Высокая обводненность продукции и низкий дебит нефти являются основными причинами перевода скважин в категорию бездействующих и в консервацию (Гарипов и др., 2003).

Обводнение продуктивных пластов нефтяных месторождений вызывает серьезные осложнения при добыче, сборе и подготовке нефти, обусловленные образованием стойких водонефтяных эмульсий. Проводившиеся в 20-м веке интенсивные научные исследования (Ребиндер, 1946, 1966; Левченко и др, 1967; Тронов, 1974; Мархасин, 1977; Позднышев, 1982; Медведев, 1987; и др.) показали, в частности, что многие практически важные свойства промысловых эмульсий (например, вязкость, температура застывания,

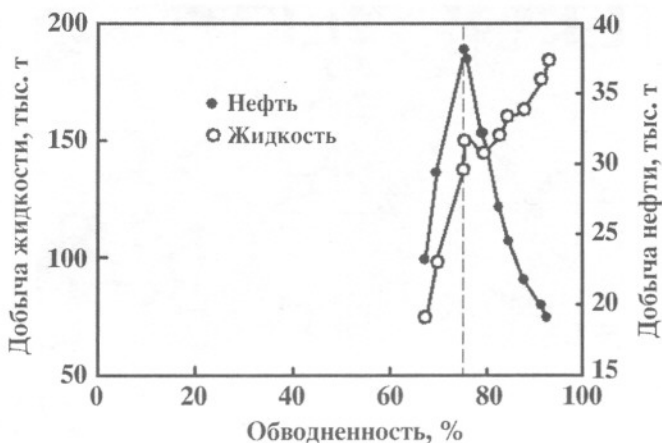
склонность к образованию отложений) могут зависеть от наличия в эмульсиях пространственных структур, образуемых элементами дисперсной фазы (каплями воды). К сожалению, в связи с последовавшим сокращением объемов экспериментальных исследований, детали подобной зависимости и механизмы структурирования эмульсий остались недостаточно изученными, хотя их понимание существенно для совершенствования технологий разработки обводненных месторождений. В результате, при анализе промысловых данных чаще всего используют упрощенные представления об отсутствии пространственных структур в добываемой продукции, не позволяющие заметить очевидного влияния этих структур на показатели нефтедобычи и на характеристики работы промыслового оборудования. Так, при обсуждении работы нефтяных компаний, низкую величину добычи нефти часто принято считать прямым следствием высокой обводненности (табл. П.1).

Внимательный же анализ промысловых данных (с использованием математических методов сглаживания слу-

Таблица П.1

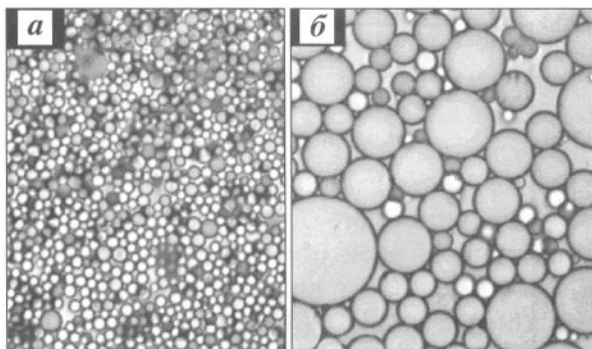
**Объемы добычи жидкости, нефти и обводненность продукции основных нефтяных компаний России за 2000 г. (из публикации Григулецкий, 2007)**

Компании	Добыча жидкости, тыс. т.	Добыча нефти, тыс. т.	Обводненность, %
НК «Башнефть»	139,4	12,26	91,2
«ЛУКОЙЛ»	217,2	62,18	75,4
«Роснефть»	40,8	13,51	69,5
«Сибнефть»	49,8	17,20	67,2
«СИДАНКО»	92,8	12,95	79,1
«Славнефть»	96,2	12,27	87,6
«Сургутнефтегаз»	248,3	40,62	84,5
«Тюменская НК»	263,3	28,58	92,4
«Татнефть»	136,6	24,34	82,4
«ЮКОС»	182,9	49,58	75,9



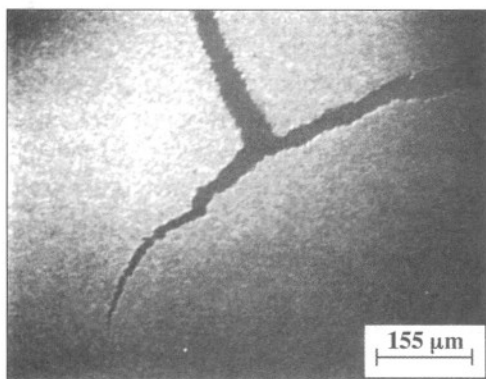
**Рис. П.1.** При внимательном анализе, в промысловых данных табл. П.1 обнаруживается немонотонная зависимость показателей добычи от обводненности продукции с экстремумом при содержании воды  $\approx 74\%$  (отмечен вертикальной пунктирной линией)

чайных разбросов) позволяет выявить сложный, полиэкстремальный характер зависимостей показателей добычи от обводненности (рис. П.1). Как будет показано в части 6 данной книги, некоторые общие особенности подобных полиэкстремальных зависимостей наблюдаются в базах данных для различных нефтяных месторождений России. Подробные лабораторные исследования характеристик стабильности, гранулометрических показателей и реологических свойств водонефтяных эмульсий (описанных в частях 2–5 книги) позволили сделать вывод о возможной связи резких изменений промысловых показателей с изменениями конкретных типов структур дисперсной фазы добываемых эмульсий. В частности, экстремумы добычи при обводненности  $\approx 74\%$  на рис. П.1 коррелируют с достижением условия гексагональной плотной упаковки одинаковых сфер, при превышении которого резко возрастает полидисперсность эмульсий (рис. П.2). При этом в условиях внешних механических нагрузок начинается отделение свободной воды по механизму «хрупкого» растрескивания (рис. П.3).



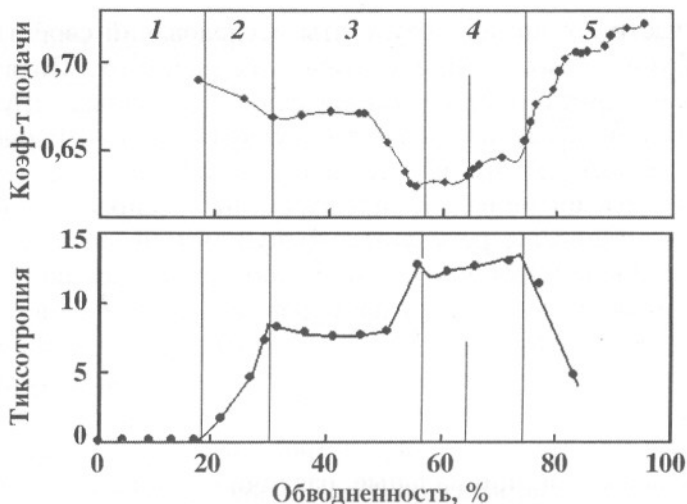
**Рис. 11.2.** При увеличении обводненности выше 74 % формируются эмульсии с плотноупакованными структурами капель воды, характеризующимися повышенной полидисперсностью (воспроизведение рис. 1.4.12 данной книги)

Выявление в лабораторных исследованиях различных структур дисперсной фазы водонефтяных эмульсий позволило установить и очевидную связь изменений показателей работы различного промышленного оборудования с вероятными изменениями типа этих структур в добываемой продукции (см. часть 6 данной книги). В качестве примера, на рис. 11.4 показано, как детали увеличения/уменьшения коэффициента подачи штангового насоса коррелируют с деталями уменьшения/увеличения степени тиксотропии, обусловленными структурными преобразованиями в эмульсии. Цифрами 1–5 на рисунке обозначены основные типы



**Рис. 11.3.** Для плотноупакованных полидисперсных структур эмульсий характерно выделение части свободной воды по механизму «хрупкого» растрескивания (воспроизведение рис. 1.4.14 данной книги)





**Рис. 11.4.** Очевидная корреляция изменений коэффициента подачи штангового насоса с изменениями показателя тиксотропии в водонефтяных эмульсиях с различными структурами дисперсной фазы (воспроизведение части рис. 6.5.3 данной книги)

структур, выявленных в лабораторных исследованиях, вертикальными линиями – характерные величины обводненности, соответствующие условиям изменения этих структур.

В части 1 данной книги показано, что серьезные недоразумения и нежелательные ошибки интерпретации результатов промысловых наблюдений могут возникать при использовании классической терминологии описания эмульсий, заимствованной из коллоидной химии. В связи с этим обсуждаются существующие способы классификации эмульсий и уточняется смысл используемых в дальнейшем наименований. В этой же части книги приведен обзор имеющихся сведений о механизмах стабилизации капель воды и о механизмах образования флокуляционных структур. В главе 1.4 содержится краткое описание основных типов структур дисперсной фазы, наблюдавшихся при лабораторных исследованиях промысловых водонефтяных эмульсий.

В части 2 описаны результаты исследований свойств водонефтяных эмульсий в статических условиях. Показано, что в результате формирования флокуляционных структур дисперсной фазы наблюдаются существенные отклонения ряда свойств эмульсий (плотности, коэффициента термического расширения) от предсказаний распространенных моделей. Описаны результаты гранулометрического анализа, выявившие наличие в эмульсиях двух популяций капель воды, предположительно формируемых по механизмам самопроизвольного (спонтанного) эмульгирования и по механизмам механического дробления. Для популяции механического дробления построена генетическая диаграмма гранулометрических параметров, позволившая отчетливо выявить принципиальные различия процессов формирования водонефтяных эмульсий со свободнодисперсными структурами и со связнодисперсными структурами.

В главе 3.1 части 3 описаны закономерности естественной дестабилизации (выделения свободной воды) водонефтяных эмульсий при отстаивании в статических условиях. Установлено, в частности, что общей особенностью процессов формирования так называемых промежуточных слоев является стадия образования структур «двужидкостной пены». В главах 3.2 и 3.3 приведены результаты исследований дестабилизации водонефтяных эмульсий под действием микроволнового излучения. Показано, что воздействие излучения наиболее эффективно при условии перехода от свободнодисперсных структур эмульсий к связнодисперсным и при условии формирования сплошных структур капель воды.

В части 4 описаны особенности старения (отстаивания) стабильных водонефтяных эмульсий, происходящего без выделения свободной воды. Показано, что при отсутствии начальных плотноупакованных структур дисперсной фазы (содержание воды менее 64 %), в процессе отстаивания наблюдается расслоение образцов – отделяется слой свободной нефти и от одного до трех слоев плотноупакованной эмульсии. При этом субфаза свободной нефти и субфазы нефти, связанной в различных слоях эмульсии, заметно

отличаются друг от друга и от исходной нефти по плотности, молекулярной массе, оптическим характеристикам и химическому составу. В частности, наблюдается обогащение одного из эмульсионных слоев ванадием. Сравнение измеренных параметров кинетики отстаивания с теоретическими моделями позволило определить величины фрактальных размерностей связнодисперсных структур водонефтяных эмульсий.

В части 5 приведены результаты реологических исследований водонефтяных эмульсий с различными структурами дисперсной фазы. Эти исследования показали, что зависимость вязкости эмульсий от содержания в них воды не может быть описана теоретическими моделями, используемыми в настоящее время для прогнозирования свойств промысловых водонефтяных эмульсий. В частности, неправомерна трактовка спада вязкости при высоких содержаниях воды как свидетельства инверсии фаз в эмульсиях. На самом деле вязкость убывает в результате частичного разрушения эмульсии по механизму «хрупкого» растрескивания (рис. П.3) с выделением прослоек свободной воды.

Часть 6 книги посвящена анализу доступных баз промысловых данных. Продемонстрирована явная связь характеристик нефтедобычи и показателей работы скважинного насосного оборудования с выявленными в лабораторных исследованиях особенностями внутренних структур добываемых водонефтяных эмульсий. Обнаружение подобной связи уже может иметь непосредственное практическое значение для повышения эффективности эксплуатации обводненных скважин, для прогнозирования нагрузок на оборудование и для проектирования новых установок глубиннонасосной добычи. Конкретные же механизмы влияния внутренних структур В/Н эмульсий на производственные показатели пока не ясны и их установление требует осуществления дальнейших исследований с учетом особенностей нефтедобычи на каждом месторождении.

Данное учебное пособие написано, в основном, на материале курсов лекций, прочитанных автором в РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина при подготовке бакалавров и ма-

гистров по направлению «Нефтегазовое дело» и дипломированных специалистов (инженеров-исследователей) по направлению «Горное дело». В учебном пособии использованы и оригинальные научные результаты исследований, проведенных автором на кафедре физики РГУ нефти и газа совместно с Н.Ю. Елисеевым, Я.О. Ефимовым, А.М. Крониним, А.П. Лосевым, М.А. Новиковым и другими преподавателями, аспирантами и студентами.

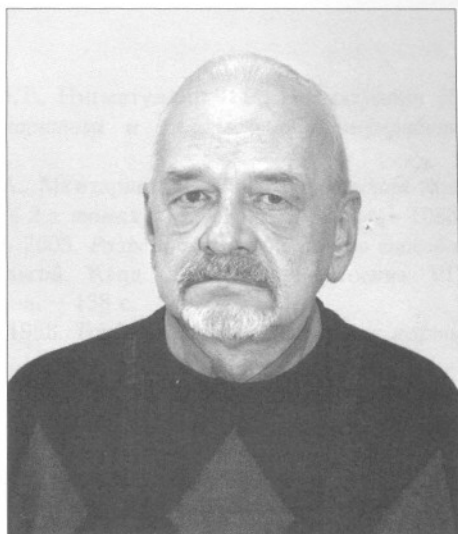
Эта книга предназначена, прежде всего, для использования студентами старших курсов, магистрантами и аспирантами. Так как книга содержит подробное изложение результатов многих современных научно-исследовательских работ, она может также представить интерес для научных сотрудников и специалистов нефтегазовой отрасли.

Для того чтобы учебное пособие было максимально полезным при выборе студентами тематики квалификационных исследовательских работ, при написании обзорных разделов магистерских и кандидатских диссертаций, в тексте приведены ссылки на все источники оригинальных данных. Перечень литературы составлен в более подробном формате, чем в обычных библиографических стандартах – приведены фамилии и инициалы всех авторов, полные заголовки статей и наименования изданий без сокращений.

Огромную благодарность хочу выразить коллективу кафедры физики РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, поддерживавшему меня на всех этапах работы над учебным пособием.

---

## ОБ АВТОРЕ



**Евдокимов Игорь Николаевич** окончил физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова (1967) и аспирантуру там же (1970). Кандидат физико-математических наук (1970), доктор физико-математических наук (1991). С 1970 г. – преподаватель кафедры физики РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, с 1992 г. – профессор кафедры физики. Научный руководитель магистерских программ «Физика пластовых флюидов» и «Нефтегазовые нанотехнологии для разработки и эксплуатации месторождений». Научный руководитель лаборатории «Физические методы исследования пластовых флюидов и промысловых дисперсных систем».

Автор более 200 печатных работ, в том числе трех монографий и двух авторских свидетельств. Почетный нефтяник (2004). В 2008 г. за комплекс исследовательских работ и публикаций по созданию научной базы для перспективных нанотехнологий добычи, транспорта и хранения нефтегазового сырья награжден премией МТЭА имени Н.К. Байбакова.