

НЕФТЕГАЗОВЫЙ ИНЖИНИРИНГ

**ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ ПРОФЕССОРА
А. Х. МИРЗАДЖАНЗАДЕ
ТОМ I**

**НЕНЬЮТОНОВСКИЕ
СИСТЕМЫ
В НЕФТЕГАЗОДОБЫЧЕ**



СОДЕРЖАНИЕ

От редакционного совета серии..... xv

А. Х. Мирзаджанзаде

*Вопросы гидродинамики вязко-пластичных и вязких жидкостей
в применении к нефтедобыче*

Введение..... 2

**Часть 1. Гидродинамика вязкопластичной жидкости и ее применение
в бурении нефтяных скважин..... 5**

Глава 1. Физические свойства глинистых растворов..... 5

1.1. Структурно-механические свойства глинистых растворов..... 5

1.1.1. Механизм и виды структурообразования..... 5

1.1.2. Структурно-механические свойства глинистых растворов
при весьма малых напряжениях сдвига..... 7

1.1.3. Структурно-механические свойства глинистых растворов
при больших напряжениях сдвига..... 11

1.2. Предельное напряжение сдвига..... 18

1.3. Удельная электропроводность..... 21

1.4. Теплоемкость..... 26

**Глава 2. Различные формы уравнений движения вязко-пластичной
жидкости и закон гидродинамического подобия..... 28**

2.1. Некоторые сведения из векторного и тензорного исчисления..... 28

2.2. Некоторые сведения из теории подобия и размерности..... 34

2.3. Напряженное состояние..... 37

2.4. Деформация и скорость деформации..... 38

2.5. Уравнение неразрывности..... 41

2.6. Дифференциальные уравнения движения сплошной среды..... 42

2.7. Обобщенная гипотеза Шведова – Бингама..... 44

2.8. Различные формы уравнений движения вязко-пластичной жидкости..... 46

2.9. Закон гидродинамического подобия..... 48

2.10. Уравнение притока тепла..... 50

Глава 3. Частные случаи предельного равновесия вязко-пластичной жидкости.....	51
3.1. Равновесие вязко-пластичной жидкости на наклонной плоскости	51
3.2. Равновесие вязко-пластичной жидкости на вращающемся диске.....	52
3.3. Равновесие шара, погруженного в безграничную вязко-пластичную жидкость.....	55
3.4. Равновесие круглого конуса, вдавливаемого в плоскую границу вязко-пластичной жидкости.....	57
3.5. Равновесие глинистого и цементного растворов в скважине.....	59
Глава 4. Точные решения уравнений стационарного движения вязко-пластичной жидкости для частных случаев.....	62
4.1. Общий случай прямолинейно-параллельного движения вязко-пластичной жидкости в прямых трубах.....	62
4.2. Прямолинейное движение вязко-пластичной жидкости в круглой цилиндрической трубе.....	66
4.3. Прямолинейно-параллельное движение вязко-пластичной жидкости между двумя параллельными бесконечными пластинками (плоская труба)	70
4.4. Прямолинейное движение вязко-пластичной жидкости между двумя соосными круглыми цилиндрами.....	73
4.5. Круговое вращательное движение вязко-пластичной жидкости между двумя соосными круглыми цилиндрами.....	78
4.6. Движение вязко-пластичной жидкости между двумя вращающимися круглыми конусами.....	82
4.7. Движение вязко-пластичной жидкости между искривленными стенками.....	84
Глава 5. Приближенные решения уравнений стационарного движения вязко-пластичной жидкости для частных случаев.....	87
5.1. Приближенный метод расчета движения вязко-пластичной жидкости на начальном участке круглой и плоской труб при структурном режиме.....	87
5.2. Погружение цилиндрической трубы в вязко-пластичную жидкость... ..	90
5.3. Приближенный способ решения уравнений движения вязко-пластичной жидкости.....	95
5.4. Об определении гидравлических сопротивлений при турбулентном режиме движения вязко-пластичных жидкостей в трубах.....	97
5.5. Влияние изменения вязкости и предельного напряжения сдвига вязко-пластичной жидкости в зависимости от давления на расход жидкости.....	99

5.6. Плоское движение вязко-пластичной жидкости между двумя эксцентричными окружностями.....	102
Глава 6. Нестационарные движения вязко-пластичной жидкости.....	105
6.1. Нестационарное прямолинейно-параллельное движение вязко-пластичной жидкости в плоской трубе.....	106
6.2. Нестационарное прямолинейное движение вязко-пластичной жидкости в круглой цилиндрической трубе.....	111
6.3. Нестационарное круговое движение в цилиндрической трубе, заполненной вязко-пластичной жидкостью.....	115
6.4. Автомодельное решение задачи о вращении круглого цилиндра в вязко-пластичной жидкости.....	118
6.5. Круговое нестационарное движение вязко-пластичной жидкости между двумя соосными цилиндрами.....	120
6.6. Приближенные решения задач о круговом нестационарном движении вязкой и вязко-пластичной жидкостей.....	124
Глава 7. Теплообмен при движении вязко-пластичной жидкости.....	129
7.1. Средняя температура в сечении круглой цилиндрической трубы при движении вязко-пластичной жидкости	130
7.2. Средняя температура в системе круглая цилиндрическая труба – кольцевое пространство при движении в ней вязко-пластичной жидкости.....	132
7.3. Теплообмен при структурном режиме движения вязко-пластичной жидкости между двумя параллельными пластинами.....	140
7.4. Теплообмен при структурном режиме движения вязко-пластичной жидкости в трубе круглого сечения.....	145
7.5. Приближенные способы определения параметра Нуссельта.....	149
7.6. Точное решение задачи для распределения температуры в вязко-пластичной жидкости, движущейся прямолинейно-параллельно в плоской трубе.....	161
7.7. Точное решение для распределения температуры в вязко-пластичной жидкости, движущейся прямолинейно в круглой цилиндрической трубе.....	164
7.8. Подъемная сила, обусловленная температурным полем.....	166
Глава 8. Гидродинамические основы цементирования скважин.....	167
8.1. Вытеснение вязко-пластичных жидкостей из круглой цилиндрической трубы.....	169
8.2. Вытеснение вязко-пластичных жидкостей из кольцевого пространства.....	175
8.3. Общие соображения о влиянии отдельных факторов на качество цементирования скважин.....	181
8.4. Гидравлический расчет цементирования буровых скважин.....	182

Глава 9. Применение гидравлики вязко-пластичных жидкостей в бурении нефтяных скважин	187
9.1. Гидравлический расчет желобной системы.....	187
9.2. Теоретическая схема явления ухода раствора.....	191
Литература	197
Часть 2. Решение частных задач гидродинамики вязких жидкостей в применении к разработке нефтяных месторождений	203
Глава 1. К гидродинамическому расчету газовых сепараторов, газовых якорей и трапов	203
1.1. Движение эксцентрично расположенного пузырька в круглой цилиндрической трубе.....	203
1.2. Движение множества пузырьков между двумя круговыми коаксиальными цилиндрами	207
1.3. Нестационарное движение концентрично расположенного пузырька в круглой цилиндрической трубе.....	210
1.4. Нестационарное движение эксцентрично расположенного пузырька в круглой цилиндрической трубе.....	212
Глава 2. Движение вязких жидкостей в трубах и каналах	214
2.1. Исследование процесса вытеснения одной вязкой жидкости другою в круглой цилиндрической трубе.....	214
2.2. Гидравлические сопротивления при движении парафинистых нефтей по трубам.....	225
2.3. Равномерное движение вязкой жидкости в трубе с незаполненным сечением при ламинарном режиме.....	227
2.4. Равномерное раздельное движение двух вязких жидкостей в каналах прямоугольного сечения при ламинарном режиме.....	244
2.5. Стационарное раздельное движение двух вязких жидкостей в трубах прямоугольного сечения при ламинарном режиме.....	251
2.6. Стационарное раздельное движение трех вязких жидкостей в трубах прямоугольного сечения при ламинарном режиме.....	261
2.7. Стационарное раздельное движение трех вязких жидкостей в плоской трубе при ламинарном режиме.....	267
2.8. Приближенный способ решения задач о стационарном движении вязких жидкостей в трубах прямоугольного сечения при ламинарном режиме.....	270
2.9. Стационарное раздельное движение двух вязких жидкостей в круглых цилиндрических трубах при ламинарном режиме.....	276

2.10. Решение задач о стационарном раздельном движении двух вязких жидкостей при ламинарном режиме в каналах и трубах на электрической модели.....	280
2.11. Турбулентное движение двух вязких жидкостей в трубах.....	287
2.12. Движение двух цилиндрических слоев вязких жидкостей в круглой цилиндрической трубе.....	291
2.13. Теплообмен при движении двух цилиндрических слоев вязких жидкостей в круглой цилиндрической трубе.....	293
Литература.....	301
Часть 3. Решение некоторых частных задач подземной гидромеханики... 303	
Глава 1. Влияние изменения вязкости в зависимости от давления и температуры на дебит скважины.....	303
1.1. Влияние изменения вязкости газированных нефтей в зависимости от давления на дебит скважины при стационарном режиме.....	303
1.2. Влияние изменения вязкости газированных нефтей в зависимости от давления на дебит скважин при упругом режиме.....	307
1.3. Влияние изменения вязкости в зависимости от температуры на фильтрацию несжимаемой жидкости.....	312
Глава 2. Фильтрация жидкостей в неоднородных по проницаемости пластах.....	314
2.1. К исследованию свойства стабильности фильтрационного потока ..	314
2.2. Решение задачи о притоке несжимаемой жидкости к несовершенной скважине, расположенной в пласте с переменной по вертикали проницаемостью.....	322
2.3. Приближенный способ решения некоторых задач подземной гидравлики.....	327
2.4. Влияние неполного перекрытия фильтра на дебит скважины.....	334
2.5. Влияние перекрытия фильтра на дебит скважины при упругом режиме.....	358
2.6. Приближенный способ решения задач о фильтрации сжимаемой и несжимаемой жидкостей в пористой среде.....	369
Глава 3. Вытеснение газа водой из пористой среды.....	372
3.1. Нагнетание воды в галерею, расположенную в полубесконечном газоносном пласте.....	373
3.2. Нагнетание воды в скважину, расположенную в бесконечном газоносном пласте.....	375

Глава 4. Применение теории подобия и размерностей для решения некоторых задач подземной гидромеханики.....	378
4.1. Применение метода динамического подобия в подземной гидродинамике.....	378
Глава 5. К исследованию гистерезисного явления при режиме растворенного газа.....	387
Литература.....	398

А.Г. Ковалев, Ю.В. Зайцев, А.Х. Мирзаджанзаде
Особенности эксплуатации месторождений аномальных нефтей

Введение.....	402
Глава 1. Реологические и термодинамические свойства «неньютоновских» нефтей	405
1. Механическая характеристика различных систем.....	405
2. Определение структурно-механических свойств вязкопластичных сред.....	414
3. Структурно-механические свойства нефтей	423
4. Модель фиктивной вязкости при турбулентном течении некоторых неньютоновских систем	428
5. Процессы капиллярной пропитки и капиллярного вытеснения жидкостей, обладающих структурно-механическими свойствами.....	433
6. Влияние структурно-механических свойств на термодинамическую характеристику газонефтяных систем.....	439
7. Кинетика изменения давления в упрочняющихся неньютоновских системах.....	446
Глава 2. Обобщенный закон Дарси.....	451
1. Фильтрация аномальных нефтей.....	454
2. Влияние связанной воды на начальный градиент давления при фильтрации аномальных нефтей.....	463
3. Начальный градиент давления при фильтрации жидкостей и газов в глинистых и других малопроницаемых породах.....	466
Глава 3. Фазовые проницаемости при совместном течении в пористой среде «неньютоновской» нефти, воды и газа.....	476
1. Выбор гидравлической модели для расчета фазовых проницаемостей.....	477
2. Относительные проницаемости при совместном течении неньютоновской жидкости и газа.....	486

3. Экспериментальное определение относительной проницаемости для газа при совместном течении газа и неньютоновской жидкости....491
4. Экспериментальное определение относительной проницаемости для воды при совместном течении воды и углеводородных неньютоновских жидкостей496
5. Экспериментальное определение относительной проницаемости для газа при наличии в пористой среде воды и неньютоновской углеводородной жидкости499

Глава 4. Экспериментальные исследования вытеснения

- «неньютоновских» нефтей водой и газом..... 503**
1. Вытеснение «неньютоновских» нефтей водой.....503
 - 1.1. Экспериментальные исследования вытеснения вязко-пластичных сред в щелях..... 503
 - 1.2. Опыты, проведенные для определения нефтеотдачи пластов, содержащих смолистые нефти..... 506
 2. Эксперименты по вытеснению «неньютоновских» нефтей газом.....509
 3. Эксперименты по вытеснению «неньютоновских» нефтей водой с полимерными добавками512
 4. Вытеснение вязко-пластичных сред смешивающимися и несмешивающимися с ними жидкостями..... 516
 5. Коэффициент нефтеизвлечения при разработке месторождений аномальных нефтей523
 - 5.1. Использование запасов при разработке залежей с «ньютоновской» и «неньютоновской» нефтями..... 523
 - 5.2. Зависимость коэффициента использования запасов от структурно-механических свойств нефтей кирмакинской свиты.....527
 - 5.3. Нефтеотдача залежей «ньютоновской» и «неньютоновской» нефтей, разрабатываемых с применением заводнения.....533
 6. Экспериментальное исследование изменения температуры фильтрующихся жидкостей в процессе вытеснения аномальной нефти холодным рабочим агентом..... 534
 7. Анализ эффективности методов воздействия на призабойную зону нефтяных скважин, в том числе и продуцирующих «неньютоновскими» нефтями 540

Глава 5. Исследование пластов и скважин на месторождениях аномальных нефтей..... 545

1. Определение пластового давления..... 545
 - 1.1. Экспериментальное исследование восстановления давления при нестационарной фильтрации неньютоновских жидкостей..... 545

1.2. Методы исследования пластов, содержащих вязко-пластичные жидкости.....	549
2. Новый прием определения пластового давления глубиннонасосных скважин	558
3. Исследование сегрегации газа в аномальных нефтях.....	563
4. Распределение температуры по стволу скважины.....	568
5. Исследование процесса лифтирования «неньютоновских» нефтей.....	574
6. Исследование псевдосжиженных слоев.....	578
Литература.....	585