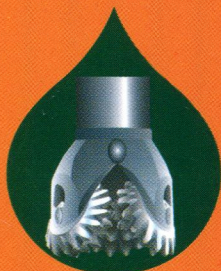


В. В. Тетельмин
В. А. Язев

НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО

Полный курс



Долгопрудный 2014

Нефтегазовая инженерия

В.В. ТЕТЕЛЬМИН

В.А. ЯЗЕВ

НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО ПОЛНЫЙ КУРС

Второе издание

СЕРИЯ

«Нефтегазовая инженерия»



Долгопрудный
2014

УДК 547.665.9

БК 35.514

T 37

Рецензент:

заведующий кафедрой

техники и технологии нефтегазового производства

Московского государственного открытого университета (МГОУ),

доктор технических наук, профессор Ю.Н. Захаров

Тетельмин В.В., Язев В.А.

T 37 Нефтегазовое дело. Полный курс. Учебное пособие / Тетельмин В.В., Язев В.А. – 2 изд. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2014. – 800 с.: ил. (Серия «Нефтегазовая инженерия»).

ISBN 978-5-91559-063-8

Второе издание основополагающего учебного пособия, широко используемого в ведущих российских университетах и на предприятиях нефтегазового комплекса.

Книга содержит систематическое и полное описание нефтегазовых технологий и сопряженных с ними дисциплин. Сведения по общей и нефтепромысловый геологии включают динамику земной коры. Рассмотрены состав и свойства нефти и природных газов, звенья глобального цикла углерода и эволюция органического вещества в осадочных породах.

Изложение основных стадий производства буровых работ, испытания и обустройства нефтяных и газовых скважин дополнено сведениями о механике разрушения горных пород и инженерном обеспечении бурения на континентальном шельфе.

Рассмотрены физика нефтяного пласта и процессы разработки месторождений. Описаны способы эксплуатации скважин, системы промыслового сбора и подготовки углеводородов к транспортировке. Вводятся реологические модели для нефти, нефтепродуктов, буровых и тампонажных растворов. Дается анализ течения «неньютоновской» нефти в трещинах горных пород.

Описаны нефте- и газохранилища, сооружения и оборудование магистральных нефте- и газопроводов. Изложены способы переработки нефти и газа. Проанализировано техногенное воздействие процессов добычи и использования углеводородов на геосферу Земли.

Для студентов и преподавателей нефтегазовых и геологических факультетов, специалистов - технологов и инженеров, разработчиков оборудования.

БК 35.514

УДК 547.665.9

ISBN 978-5-91559-063-8

© 2009, Тетельмин В.В., Язев В.А.

© 2014, ООО Издательский Дом
«Интеллект», оригинал-макет

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	14
Глава 1	
Прошлое, настоящее и будущее мировой добычи углеводородов	18
1.1. Объемы добычи и потребления углеводородных ресурсов	18
1.2. Транснациональные нефтегазодобывающие компании	26
1.3. Первые нефтяники России	32
1.4. История первого барреля нефти	35
1.5. Нефтяные топлива и масла	38
1.6. Биотопливо	41
1.7. Возможности водородной энергетики	45
1.8. Энергетика будущего	48
Глава 2	
Элементы общей и нефтепромысловой геологии	53
2.1. Геосферы Земли	53
2.1.1. Планета Земля	53
2.1.2. Атмосфера Земли	56
2.1.3. Гидросфера Земли	57
2.1.4. Земная кора — литосфера	57
2.1.5. Биосфера Земли	62
2.2. Геохронологическая шкала — геологическое время	63
2.3. Физико-механические свойства осадочных пород	65
2.3.1. Разновидности осадочных пород	65
2.3.2. Плотность, упругость и прочность пород	66
2.3.3. Классификация горных пород по твердости и абразивности	71
2.3.4. Пористость и проницаемость осадочных пород	75
2.3.5. Теплофизические свойства и тепловой режим горных пород	81
2.3.6. Горное и пластовое давление	84



2.4. Геодинамика земной коры	86
2.4.1. Тектоника литосферных плит	86
2.4.2. Лунно-солнечные приливы	92
2.4.3. Геодинамика земной коры и добыча углеводородов	94
2.4.4. Тектоника земной коры и нефтегазоносность пород	101
2.5. Складкообразование и типы складок	103
2.6. Формирование залежей углеводородов	105
2.7. Аномальное пластовое давление в осадочной толще бассейна	111
2.8. Физика нефтяного пласта	113
2.8.1. Структурные модели продуктивного пласта	113
2.8.2. Геолого-промысловая характеристика продуктивного пласта	116
2.8.3. Условия залегания флюидов в продуктивных пластах	120
2.8.4. Упругий запас флюидов в продуктивном пласте	125
2.8.5. Капиллярно-реологические эффекты в пористом пласте	129
2.9. Поиск и разведка месторождений углеводородов	132
Глава 3	
Образование углеводородов, их состав и свойства	138
3.1. Углерод и формы его нахождения на Земле	138
3.2. Основные циклы углерода на Земле	141
3.2.1. Общий глобальный цикл углерода	141
3.2.2. Круговорот вещества и энергии в биосфере	143
3.2.3. Фотосинтез как основной процесс образования органического вещества	146
3.2.4. Органическое вещество в осадочных породах	149
3.3. Концепция образования углеводородов	152
3.4. Эволюция органического вещества в осадочных породах	155
3.4.1. Исходный материал органического вещества осадочных пород	155
3.4.2. Накопление и преобразование органического вещества в диагенезе	158
3.4.3. Трансформация органического вещества в катагенезе	161
3.4.4. Миграция нефти и газа в горных породах	162
3.5. Состав нефти	165
3.5.1. Групповой состав нефти	165
3.5.2. Фракционный состав нефти	170
3.5.3. Неуглеводородные составляющие нефти	171
3.5.4. Нефть как коллоидно-дисперсная система	173
3.6. Водонефтяные дисперсные системы	176
3.7. Газонефтяные дисперсные системы	178
3.8. Физические свойства нефти	181
3.8.1. Плотность и молекулярная масса нефти	181
3.8.2. Характерные температуры нефти и нефтепродуктов	184



3.8.3. Вязкость и поверхностное натяжение нефти	186
3.8.4. Теплофизические свойства нефти	188
3.9. Состав и свойства углеводородных газов	190
3.9.1. Состав природных и попутных газов	190
3.9.2. Плотность и вязкость газов	192
3.9.3. Критические параметры газов	194
3.9.4. Газовые гидраты в осадочных бассейнах	196
3.9.5. Тепловые свойства углеводородных газов	198
Глава 4	
Реология нефти, буровых и тампонажных растворов	202
4.1. Основные реологические модели текучих сред	202
4.1.1. Реологические модели Гука, Ньютона и Сен-Венана	202
4.1.2. Степенное уравнение Оствальда де-Вилля	205
4.1.3. Реологические модели Максвелла и Фойгта—Кельвина. Релаксация напряжений	208
4.1.4. Реологическая модель Бингама. Тиксотропия	211
4.2. Техника реометрии текучих сред	213
4.2.1. Классификация методов реометрии	213
4.2.2. Причины неинвариантности реологических параметров жидкостей	222
4.3. Реологические свойства нефти и нефтепродуктов	225
4.3.1. Нефть как вязкопластичная жидкость	225
4.3.2. Реологические свойства нефти	228
4.3.3. Реологические свойства нефтепродуктов	231
4.3.4. Способы улучшения реологических свойств нефти	235
4.4. Реологические свойства буровых и тампонажных растворов	238
4.4.1. Вязкость суспензий	238
4.4.2. Реологические свойства буровых растворов	240
4.4.3. Реологические свойства тампонажных смесей	242
4.5. Особенности течения вязкопластичных жидкостей в трещинах	245
4.5.1. Кинетика поступательного течения вязкопластичной жидкости в трещине	245
4.5.2. Радиальное течение вязкопластичной жидкости в трещине	251
4.5.3. Дальность проникновения коллоидно-дисперсных систем при нагнетании их в трещину	256
4.5.4. Силовое воздействие радиального потока вязкопластичной жидкости в трещине на пласт	258
Глава 5	
Породоразрушающие инструменты и механизм разрушения горных пород бурением	263
5.1. Буровые скважины и их классификация	263
5.2. Классификация породоразрушающих инструментов	265



5.3. Конструктивные особенности долот	269
5.3.1. Шарошечные долота	269
5.3.2. Лопастные долота	276
5.3.3. Алмазные долота	278
5.3.4. Бурильные головки	282
5.3.5. Долота для специальных целей	283
5.4. Напряженное состояние и устойчивость горных пород в прискважинной зоне	285
5.5. Развитие трещин с позиций механики хрупкого разрушения	287
5.6. Особенности разрушения горных пород бурением	292
5.6.1. Механизм образования трещин в горных породах при вдавливании инденторов	292
5.6.2. Механизм разрушения горных пород при вдавливании элемента вооружения долота	295
5.6.3. Механизм разрушения горных пород при ударном воздействии элемента вооружения долота	298
5.7. Гидравлический разрыв горных пород	300
5.8. Воздействие высокоскоростной струи промывочной жидкости на горную породу	304
5.9. Техничко-экономические показатели работы долот. Выбор рациональных типов долот	306

Глава 6

Буровые промывочные жидкости и технология промывки скважин	310
6.1. Функции буровых промывочных жидкостей	310
6.2. Растворы на глинистой основе	311
6.2.1. Водные дисперсии глин	311
6.2.2. Свойства буровых растворов на основе глин	313
6.2.3. Глинистые растворы с добавками	316
6.3. Буровые растворы на нефтяной основе	317
6.4. Утяжеление буровых растворов	318
6.5. Бурение с очисткой забоя водой	319
6.6. Бурение с очисткой забоя воздухом	320
6.7. Оборудование для приготовления и очистки буровых растворов	321
6.8. Гидравлические расчеты при промывке скважин	323
6.9. Предупреждение и борьба с поглощениями бурового раствора	325
6.10. Критерии назначения плотности бурового раствора	326
6.11. Выбор типа бурового раствора	327

**Глава 7**

Вращательное бурение на нефть и газ	329
7.1. Технологическая схема бурения вращательным способом	329
7.2. Установки глубокого бурения	332
7.3. Буровые вышки и спускоподъемное оборудование	336
7.4. Оборудование и инструмент для бурения скважин	341
7.5. Полный цикл строительства скважин	345
7.6. Подготовительные работы к бурению скважины	347
7.7. Бурильная колонна	350
7.7.1. Конструкция элементов бурильной колонны	350
7.7.2. Условия работы колонны бурильных труб	356
7.7.3. Комплектование и эксплуатация бурильной колонны	360
7.8. Режимы бурения скважин	361
7.8.1. Влияние параметров режима бурения на показатели бурения	361
7.8.2. Особенности режима бурения роторным способом	365
7.8.3. Особенности режима бурения турбинным способом	366
7.8.4. Особенности режима бурения винтовыми забойными двигателями	370
7.8.5. Особенности режима бурения электробурами	372
7.8.6. Контроль параметров режима бурения и каротажные работы	373
7.9. Нарушение целостности стенок скважины	377
7.10. Бурение наклонных скважин	380
7.10.1. Самопроизвольное искривление скважин и его предупреждение	380
7.10.2. Бурение наклонно-направленных скважин	383
7.10.3. Кустовое и многозабойное бурение скважин	386
7.11. Крепление скважин	388
7.11.1. Конструкция скважин	388
7.11.2. Обсадные колонны	391
7.11.3. Цементирование скважин	393
7.12. Заканчивание и освоение скважин	396
7.12.1. Опробование и испытание пластов	396
7.12.2. Вскрытие продуктивных горизонтов и заканчивание скважин	398
7.12.3. Освоение скважин после цементирования эксплуатационной колонны	401
7.13. Газовые и нефтяные проявления	402

Глава 8

Бурение скважин на шельфе	406
8.1. Особенности разработки морских месторождений нефти и газа	406
8.2. Инженерное обеспечение буровых работ на море	409
8.3. Искусственные острова	413
8.4. Самоподъемные плавучие буровые установки	414



8.5. Полупогружные плавучие буровые установки	415
8.6. Морские стационарные платформы	418
8.7. Особенности бурения скважин с буровых судов	420
8.8. Конструкции морских скважин	422
8.9. Особенности бурения на Арктическом шельфе	425
Глава 9	
Разработка месторождений углеводородов.....	431
9.1. Режимы работы залежей углеводородов	431
9.2. Эксплуатационные объекты и системы их разработки	436
9.3. Гидродинамические методы исследования скважин	438
9.3.1. Цели исследования скважин и пластов	438
9.3.2. Исследование скважин на приток при установившихся режимах фильтрации	439
9.3.3. Исследование скважин при неустановившихся режимах фильтрации	441
9.4. Особенности разработки нефтяных месторождений	442
9.5. Особенности упругого режима работы пласта	446
9.6. Добыча тяжелой нефти и битумов	449
9.7. Особенности разработки газовых и газоконденсатных месторождений	452
9.8. Искусственные методы воздействия на нефтяные пласты	455
9.9. Нормы отбора углеводородов из скважин и пластов	460
9.10. Реологические аспекты разработки месторождений нефти	461
9.10.1. Режим установившейся фильтрации нефти в пласте	461
9.10.2. Приток вязкой нефти к галерее в упругом режиме фильтрации	464
9.10.3. Приток вязкой нефти к скважине в упругом режиме фильтрации	466
9.10.4. Приток вязкопластичной нефти к скважине в жестком и упругом режимах фильтрации	469
9.10.5. Образование застойных зон в пласте при добыче нефти	471
9.10.6. Увеличение нефтеотдачи за счет улучшения реологических свойств пластовых флюидов	472
Глава 10	
Эксплуатация добывающих скважин, системы сбора и промысловой подготовки углеводородов.....	476
10.1. Подготовка скважины к эксплуатации	476
10.2. Эксплуатация нефтедобывающих скважин	479
10.2.1. Движение газожидкостной смеси в скважине	479
10.2.2. Фонтанный способ эксплуатации добывающих скважин	481
10.2.3. Газлифтный способ эксплуатации скважин	484
10.2.4. Насосный способ эксплуатации скважин	487



10.2.5. Оборудование ствола добывающих скважин	492
10.2.6. Оборудование устья добывающих скважин	495
10.3. Особенности конструкции газовых скважин и добычи природного газа	500
10.4. Измерение количества добываемой и перекачиваемой жидкости.....	503
10.5. Системы промыслового сбора углеводородов	506
10.5.1. Промысловый сбор скважинной продукции	506
10.5.2. Системы промыслового сбора природного газа	509
10.6. Системы промысловой подготовки углеводородов	511
10.6.1. Промысловая подготовка нефти	511
10.6.2. Установка комплексной подготовки нефти	514
10.6.3. Промысловая подготовка газа	515
Глава 11	
Переработка и хранение углеводородов	518
11.1. Переработка нефти	518
11.1.1. Продукты переработки нефти	518
11.1.2. Первичная переработка нефти	520
11.1.3. Вторичная переработка нефти	524
11.1.4. Очистка нефтепродуктов	529
11.1.5. Типы нефтеперерабатывающих заводов	530
11.2. Переработка газов и газофракционирующие установки	533
11.3. Производство нефтехимического сырья	537
11.4. Хранение нефти и нефтепродуктов	544
11.4.1. Классификация нефтебаз	544
11.4.2. Объекты нефтебаз и их размещение	545
11.4.3. Резервуары и их оборудование	547
11.4.4. Потери нефти и нефтепродуктов из резервуаров	550
11.5. Хранение и распределение газа	552
11.6. Автозаправочные и газонаполнительные станции	555
Глава 12	
Основные сооружения магистральных трубопроводов, оборудование и системы перекачивающих станций	558
12.1. Состав сооружений магистральных трубопроводов	558
12.1.1. Магистральные нефтепроводы	558
12.1.2. Магистральные газопроводы	561
12.2. Проектирование и конструктивные решения магистральных трубопроводов	563
12.2.1. Порядок проектирования магистральных трубопроводов	563
12.2.2. Конструктивные решения магистральных трубопроводов	567
12.3. Трубы и арматура для магистральных трубопроводов	570



12.4. Сварка, изоляция и профилирование трубопроводов	575
12.5. Классификация, состав и компоновка перекачивающих станций	580
12.6. Центробежные насосы и нагнетатели газа	585
12.6.1. Принцип действия центробежных нагнетателей	585
12.6.2. Гидравлические характеристики центробежных насосов и способы их изменения	586
12.6.3. Конструкции основных магистральных и подпорных насосов	589
12.6.4. Схемы соединения магистральных и подпорных насосов. Рабочая точка системы	596
12.6.5. Приведенные характеристики центробежных нагнетателей газа	597
12.7. Приводы центробежных нагнетателей	601
12.8. Технологические схемы перекачивающих станций	604
12.8.1. Нефтеперекачивающие станции	604
12.8.2. Компрессорные станции	608
12.9. Камеры приема и пуска поточных средств очистки и диагностики	612
12.10. Вспомогательные системы насосного цеха	614
12.11. Силовые расчеты трубопроводов	616
12.11.1. Нагрузки, воздействия и напряжения в трубопроводах	616
12.11.2. Расчет толщины стенок труб	619
12.11.3. Устойчивость подземных трубопроводов	621
12.11.4. Балочные трубопроводы	624
Глава 13	
Основы гидродинамического и технологического расчета магистральных трубопроводов	628
13.1. Гидродинамические основы расчета	628
13.1.1. Основные характеристики потока реальной жидкости	628
13.1.2. Режимы течения потока жидкости	630
13.1.3. Сдвиговое течение вязкопластичной жидкости в трубе	634
13.1.4. Потери напора на трение и местные	636
13.1.5. Коэффициент гидравлического сопротивления при течении вязкой нефти	637
13.1.6. Коэффициент гидравлического сопротивления при течении «неньютоновской нефти»	638
13.1.7. Введение в поток нефти антитурбулентных присадок	640
13.1.8. Гидравлический удар в нефтепроводах	643
13.2. Истечение нефти через отверстие	646
13.3. Основы технологического расчета нефтепроводов	652
13.3.1. Уравнение баланса напоров для участка нефтепровода	652
13.3.2. Последовательное и параллельное соединения трубопроводов	653
13.3.3. Самотечные участки нефтепровода	654



13.3.4. Нефтепроводы с промежуточными перекачивающими станциями и их расстановка по трассе	658
13.3.5. Укрупненный расчет вариантов нефтепровода	661
13.4. Транспорт природного газа	663
13.4.1. Подготовка газа к транспортированию	663
13.4.2. Коэффициент сопротивления трения для потока газа в трубе	665
13.4.3. Расчет изотермического течения газа в трубопроводе	666
13.4.4. Изменение температуры газа по длине газопровода	668
13.4.5. Расчет газопровода в стационарном режиме работы	670
13.4.6. Способы интенсификации перекачки газа	672

Глава 14

Специальные способы транспортирования нефти и нефтепродуктов..... 676

14.1. Последовательная перекачка нефти и нефтепродуктов	676
14.2. «Горячая» перекачка нефти	679
14.2.1. Особенности технологии «горячей» перекачки нефти	679
14.2.2. Теплообмен и коэффициент теплопередачи при стационарном режиме горячей перекачки	682
14.2.3. Распределение температуры вдоль потока транспортируемой нефти	684
14.2.4. Смена режимов течения и потери напора в «горячем» нефтепроводе	686
14.3. Перекачка водонефтяных эмульсий	688
14.4. Применение депрессантов при перекачке нефти	691
14.5. Перекачка газонасыщенной нефти	693
14.6. Мазут как транспортируемая среда	696
14.7. Железнодорожный, водный и автомобильный транспорт углеводородов	698

Глава 15

Особенности эксплуатации магистральных трубопроводов..... 703

15.1. Виды дефектов, неразрушающий контроль и диагностика трубопроводов	703
15.2. Контроль работоспособности оборудования и трубопроводов	709
15.3. Техническое обслуживание и ремонт центробежных нагнетателей	715
15.4. Организация эксплуатации оборудования перекачивающих станций	718
15.5. Структура диспетчерской службы	722
15.6. Пуск, остановка и ведение технологического процесса перекачки	724
15.7. Рыночные аспекты эксплуатации трубопроводов	728

**Глава 16**

Экологические аспекты нефтегазового комплекса	734
16.1. Экологические риски и безопасность нефтегазовых объектов	734
16.2. Техногенное воздействие добычи и использования углеводородов на геосферы Земли	737
16.2.1. Воздействие на водную среду	737
16.2.2. Воздействие на атмосферу	743
16.2.3. Воздействие на почву	747
16.2.4. Воздействие на недра	750
16.3. Проблема глобального потепления	754
16.4. Случаи крупных аварий при обращении с углеводородами	758
16.5. Средства борьбы с нефтяными загрязнениями	763
16.5.1. Методы и техника утилизации отходов бурения	763
16.5.2. Физико-химические средства борьбы с нефтяными загрязнениями на море	767
16.5.3. Сорбционная технология борьбы с нефтяными загрязнениями	769
16.6. Геоэкологическая экспертиза объектов недропользования	772
Глоссарий	775
Приложение	
Размерности использованных в книге физико-механических величин	792
Литература	794