

НЕФТЕГАЗОВЫЙ ИНЖИНИРИНГ

МАРК Д. ЗОБАК

ГЕОМЕХАНИКА НЕФТЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ



Оглавление

Об авторе	xii
От редакционного совета серии	xiii
Предисловие	xv
Часть I. Основы геомеханики	1
ГЛАВА 1. Поле тектонических напряжений	3
Роль поля напряжений	3
Напряжения в земной коре	4
Основные определения	5
Относительные величины напряжений и классификация Андерсона	8
Изменение напряжений с глубиной	12
Измерение напряжений в пластовых условиях	14
Индикаторы для определения ориентации и относительных величин напряжений	17
Измерение напряжений в скважинах	18
Фокальный механизм землетрясений	19
Геологические индикаторы напряжений	20
Распределение региональных напряжений	20
Поверхности раздела без трения	27
ГЛАВА 2. Поровые давления в осадочных бассейнах	29
Основные определения	30
Разделение залежей в пределах месторождений	33
Механизмы возникновения повышенного порового давления	42
Оценка поровых давлений	47
ГЛАВА 3. Основные законы механики	60
Линейная упругость	64
Упругие модули и скорость сейсмических волн	68
Анизотропия упругости	68
Пороупругость и эффективное напряжение	70
Пороупругость и дисперсия	73

Вязкие деформации в несцементированных песках	75
Термопороупругость	89
ГЛАВА 4. Разрушение пород при сжатии, растяжении и сдвиге	90
Прочность пород при сжатии	92
Критерии прочности на сжатие	99
Линеаризованный критерий Мора – Кулона	100
Критерий Хука – Брауна	101
Модифицированный критерий Ладе	104
Модифицированный критерий Виболса – Кука	105
Критерий Друкера – Прагера	106
Прочность и поровое давление	111
Анизотропия прочностных свойств пород	112
Оценка прочностных свойств пород по данным геофизических исследований	115
Уплотнение со сдвигом	126
Разрушение пород при растяжении	129
Разрушение пород при сдвиге и сила трения	132
Критически напряженное состояние земной коры	134
Ограничения на величину напряжений в пластовых условиях, учитывающие силу трения по разломам	139
Полигон напряжений	147
ГЛАВА 5. Разломы и трещины	150
Разломы, трещины и движение флюидов	151
Данные о состоянии стенок скважин	156
Представление трещин и разломов по глубине	160
Трехмерные диаграммы Мора	165
Фокальные механизмы землетрясений	168
Часть II. Определение ориентации и измерение величин напряжений	175
ГЛАВА 6. Разрушения сжатия и растяжения на стенках вертикальных скважин	177
Концентрация напряжений вокруг цилиндрического отверстия и разрушение стенок скважин	180
Вывалы	185
Трещины растяжения	186
Определение ориентации вывалов по данным профилометрии	192
Система качественного ранжирования индикаторов напряжений	197

Подробнее об трещинах растяжения, образующихся в ходе бурения . . .	202
Трещины растяжения и образование разломов сдвигового типа . . .	202
Термальные эффекты	203
Вывалы на стенках скважин	207
Анизотропия прочности пород	210
Химические эффекты	213
Типы формирования вывалов	215
Проникновение бурового раствора в трещиноватые породы вокруг ствола скважины	217
ГЛАВА 7. Определение величины S_3 на основе мини-гидроразрыва, расширенного теста на утечку и ограничений величины S_{Hmax} по характеру разрушений стенок вертикальной скважины	219
Определение величины S_3 по данным гидроразрыва	221
Применение ГРП для оценки величины S_{Hmax}	235
Разрушение стенки скважины и определение S_{Hmax}	237
Вызванные бурением трещины растяжения и величина S_{Hmax}	241
Оценка прочности пород по вывалам при присутствии трещин растяжения	247
Оценка величины S_{Hmax} по вращению вывалов	247
Заключение	248
ГЛАВА 8. Разрушения стенок и определение напряжений в наклонно- направленных скважинах	251
Состояние напряжений вокруг произвольно направленной наклонной скважины	252
Разрушение стенок произвольно направленных наклонных скважин . . .	255
Главные напряжения S_{Hmax} и S_{hmin}	263
Оценка величины S_{Hmax} по вывалам и трещинам растяжения в наклонно- направленных скважинах	264
Отличие вызванных бурением трещин растяжения от естественных тре- щин	270
Определение ориентации напряжения S_{Hmax} по анизотропии скорости поперечных волн в наклонно-направленных скважинах	273
ГЛАВА 9. Поля напряжений: от тектонических плит до пород-коллекторов	284
Общие модели напряжений	284
Источники напряжений в земной коре	286
Напряжения, движущие плиты	286
Топография и силы плавучести	289
Литосферные флексуры	290

Нормальный режим напряжений в осадочных бассейнах	292
Методы аппроксимации величины S_{hmin} на площадях с нормальным режимом напряжений	299
Напряжение сжатия в осадочных бассейнах	306
Нормальный/сдвиговый режим напряжений	306
Сдвиговый режим напряжений	307
Сдвиговый/надвиговый режим напряжений	309
Надвиговый режим напряжений	310
Дополнительные комментарии о модели двусторонней связи	312
Интерполяция и экстраполяция данных по величинам напряжений	314

Часть III. Практическое приложение геомеханики 319

ГЛАВА 10. Стабильность стволов скважин	321
Предотвращение нестабильности стволов скважин во время бурения	323
Количественная оценка рисков	334
Роль анизотропии прочности пород	338
Взаимодействие бурового раствора с породой	342
Максимизация градиента гидроразрыва	345
Вздутие ствола скважины	352
Проникновение бурового раствора в породу и временная зависимость повреждений стенок скважины	353
Предотвращение выноса песка	355
ГЛАВА 11. Критически напряженные разломы и движение флюидов	363
Залежи с трещинным типом пористости и анизотропия проницаемости	364
Примеры исследований	374
Идентификация критически напряженных разломов и вращение вывалов	382
Искусственно индуцированные микросейсмические события при увеличении проницаемости	384
Изоляция разломом и промытые ловушки	386
Динамические ограничения миграции углеводородов	395
ГЛАВА 12. Эффекты, связанные с истощением залежи	405
Изменения напряжений в истощающихся залежах	407
Траектории напряжений в залежах	407
Вызванная разработкой активация разломов на площадях со сбросовым режимом напряжений	410
Вращение напряжений, связанное с истощением	418
Бурение и гидроразрыв в истощенных залежах	424
Деформации в истощающихся залежах	426

Уплотнение при увеличении прилагаемого давления	427
Шатровые модели и ДАОЗ	428
Потеря проницаемости, вызванная истощением	431
Использование режима уплотнения пласта	438
Вязкопластичная деформация и динамика ДАОЗ	439
Деформации и изменения напряжений за пределами истощающихся залежей	441
Уплотнение и проседание	441
Смещение по разломам за пределами залежи	448
Литература	452
Предметный указатель	474