

УДК 622

Интернет-магазин


<http://shop.rcd.ru>

- физика
- математика
- биология
- нефтегазовые технологии

Басниев К. С., Дмитриев Н. М., Каневская Р. Д., Максимов В. М.

Подземная гидромеханика. — М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. — 488 с.

Излагается гидродинамическая теория фильтрации жидкостей и газов в однородных и неоднородных, изотропных и анизотропных пористых и трещиноватых средах. Рассмотрены задачи стационарной и нестационарной фильтрации и основы расчета интерференции скважин. Изложены основные положения теории упругого режима, постановки задач и их аналитические и приближенные решения. Описаны гидродинамические методы повышения нефтеотдачи. Рассмотрены вопросы теории двухфазной фильтрации, подземного хранения газа, основы математического моделирования гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов. Рассмотрены задачи фильтрации вязкопластичных жидкостей.

Для студентов, обучающихся по направлению «Нефтегазовое дело», аспирантов и преподавателей нефтяных вузов и факультетов, широкого круга научных работников и инженеров, работающих в нефтегазовой отрасли.

ISBN 5-93972-547-3

© К. С. Басниев, Н. М. Дмитриев, Р. Д. Каневская, В. М. Максимов, 2006

© Институт компьютерных исследований, 2006

<http://rcd.ru>

<http://ics.org.ru>

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	13
Глава 1. Основные определения и понятия фильтрации жидкостей и газов. Опыт и закон Дарси	19
§ 1. Особенности движения флюидов в природных пластах	19
§ 2. Исходные модельные представления подземной гидромеханики жидкости и газа	21
§ 3. Фильтрационно-емкостные свойства пористых и трещиноватых сред. Коэффициенты пористости и просветности. Удельная поверхность	23
§ 4. Опыт и закон Дарси. Проницаемость. Понятие «истинной» средней скорости и скорости фильтрации	25
§ 5. Структурные модели пористых сред	30
§ 6. Границы применимости закона Дарси. Анализ и интерпретация экспериментальных данных	37
§ 7. Нелинейные законы фильтрации	41
§ 8. Закон Дарси для анизотропных сред	47
Глава 2. Основы моделирования процессов фильтрации нефти, газа и воды	54
§ 1. Цели и задачи моделирования фильтрационных процессов	54
§ 2. Физическое моделирование процессов фильтрации пластовых флюидов	55
§ 3. Аналоговое моделирование	56
§ 4. Понятие о математическом моделировании и компьютерных моделях пластовых систем	58
§ 5. Основы анализа размерностей и теории подобия. π -теорема	62
§ 6. Вывод некоторых законов фильтрации с помощью π -теоремы	68
§ 7. Понятие о режимах нефтегазоводоносных пластов	72
Глава 3. Математические модели однофазной фильтрации	77
§ 1. Вводные замечания. Понятие о математической модели физического процесса	77
§ 2. Закон сохранения массы. Интегральная и дифференциальная формулировка	79
§ 3. Закон Дарси — дифференциальное уравнение движения флюида	82
§ 4. Замыкающие уравнения. Математические модели изотермической фильтрации	83

4.1.	Модели однофазной фильтрации по закону Дарси в недеформируемом пласте	84
4.2.	Вывод дифференциальных уравнений фильтрации газа по закону Дарси. Функция Л. С. Лейбензона	86
4.3.	Модели однофазной фильтрации в недеформируемом пласте при нелинейных законах фильтрации	88
§ 5.	Зависимость параметров флюидов и пористой среды от давления	89
§ 6.	Начальные и граничные условия	97
Глава 4. Одномерная установившаяся фильтрация несжимаемой жидкости и газа в пористой среде		
§ 1.	Схемы одномерных фильтрационных потоков	100
§ 2.	Прямолинейно-параллельная фильтрация несжимаемой жидкости	101
§ 3.	Плоскорадиальная фильтрация несжимаемой жидкости	106
§ 4.	Радиально-сферическая фильтрация несжимаемой жидкости	111
§ 5.	Аналогия между фильтрацией несжимаемой жидкости и газа	113
§ 6.	Фильтрационное одномерное течение совершенного газа	114
§ 7.	Фильтрационное плоскорадиальное течение реального газа по закону Дарси	121
§ 8.	Плоскорадиальный фильтрационный поток несжимаемой жидкости и газа по двухчленному закону фильтрации	123
§ 9.	Плоскорадиальный фильтрационный поток несжимаемой жидкости и газа по степенному закону фильтрации	127
§ 10.	Одномерные фильтрационные потоки несжимаемой жидкости и газа в неоднородных пластах по закону Дарси	131
10.1.	Прямолинейно-параллельный поток в неоднородных пластах	133
10.2.	Плоскорадиальный поток в неоднородных пластах	140
Глава 5. Плоские установившиеся фильтрационные потоки		
§ 1.	Основные определения и понятия	147
§ 2.	Потенциал точечного источника и стока на изотропной плоскости. Метод суперпозиции	148
§ 3.	Приток жидкости к группе скважин в пласте с удаленным контуром питания	150
§ 4.	Приток жидкости к скважине в пласте с прямолинейным контуром питания	152
§ 5.	Приток жидкости к скважине в пласте вблизи прямолинейной непроницаемой границы	155

§ 6. Приток жидкости к скважине, эксцентрично расположенной в круговом пласте	156
§ 7. Об использовании метода суперпозиции при фильтрации газа	158
§ 8. Приток жидкости к бесконечным цепочкам и кольцевым батареям скважин	161

Глава 6. Приток жидкости и газа к несовершенным, горизонтальным и многоствольным скважинам. Учет несовершенства скважин

§ 1. Виды несовершенства скважин. Скин-эффект	168
§ 2. Приток жидкости и газа к несовершенным скважинам	172
§ 3. Интенсификация скважин	178
§ 4. Приток флюида к скважине, пересеченной трещиной гидравлического разрыва	180
§ 5. Приток флюида к горизонтальным и разветвленным скважинам	186

Глава 7. Неустановившееся движение упругой жидкости и газа в упругом пласте

§ 1. Упругий режим пласта и его характерные особенности	191
§ 2. Подсчет упругого запаса жидкости в пласте	192
§ 3. Математическая модель неустановившейся фильтрации упругой жидкости в упругой пористой среде	194
§ 4. Вывод дифференциального уравнения фильтрации упругой жидкости в упругой пористой среде по закону Дарси	196
§ 5. Одномерные фильтрационные потоки упругой жидкости. Точные решения уравнения пьезопроводности. Основная формула теории упругого режима	198
5.1. Прямолинейно-параллельный фильтрационный поток упругой жидкости	198
5.2. Плоскорадиальный фильтрационный поток упругой жидкости. Основная формула теории упругого режима фильтрации	205
§ 6. Интерференция скважин в условиях упругого режима	210
§ 7. Определение коллекторских свойств пласта по данным исследования скважин при упругом режиме	215
§ 8. Приближенные методы решения задач теории упругого режима	219
8.1. Метод последовательной смены стационарных состояний	219
8.2. Метод А. М. Пирвердяна	225
8.3. Метод интегральных соотношений	228
8.4. Метод «усреднения»	231

§ 9. Математическая модель неустановившейся фильтрации газа .	232
§ 10. Линеаризация уравнения Лейбензона и основное решение линеаризованного уравнения	235
§ 11. Точное решение одной автомодельной задачи об осесимметричном притоке газа к скважине с постоянным дебитом . . .	239
§ 12. Решение задачи о притоке газа к скважине методом последовательной смены стационарных состояний	241
§ 13. Решение задачи о притоке газа к скважине методом усреднения	244
§ 14. Применение принципа суперпозиции к задачам неустановившейся фильтрации газа	247
§ 15. Приближенное решение задач об отборе газа из замкнутого пласта при помощи уравнения материального баланса	249
§ 16. Приток упругой жидкости к укрупненной скважине	252
Глава 8. Движение границы раздела при взаимном вытеснении жидкостей и газов	262
§ 1. Кинематические условия на подвижной границе раздела при взаимном вытеснении жидкостей	263
§ 2. Прямолинейно-параллельное вытеснение нефти водой	266
§ 3. Плоскорадиальное вытеснение нефти водой	271
§ 4. Устойчивость движения границы раздела жидкостей	276
§ 5. Движение границы раздела в пористой среде под действием гравитационных сил	278
5.1. Дифференциальное уравнение границы раздела	278
§ 6. Образование конуса подошвенной воды	284
Глава 9. Особенности фильтрации неньютоновской жидкости . .	290
§ 1. Реологические свойства фильтрующихся жидкостей. Классификация неньютоновских жидкостей	290
§ 2. Структура течения вязкопластичной жидкости в круглой трубе	292
§ 3. Закон фильтрации вязкопластичной жидкости в идеальной пористой среде	293
§ 4. Математическая модель фильтрации ВПЖ. Прямолинейно-параллельный фильтрационный поток вязкопластичной жидкости	296
§ 5. Плоскорадиальный фильтрационный поток вязкопластичной жидкости	303
§ 6. Неустановившаяся фильтрация вязкопластичной жидкости . .	306
§ 7. Образование застойных зон при вытеснении нефти водой . .	311
§ 8. Особенности фильтрации вязкопластичной жидкости в анизотропных пористых средах	312

Глава 10. Основы теории фильтрации многофазных систем . . .	319
§ 1. Практическая важность изучения многофазных течений в пористых средах	319
§ 2. Основные характеристики макроскопического описания многофазной фильтрации. Обобщенный закон Дарси	320
§ 3. Математическая модель многофазной фильтрации	328
§ 4. Одномерные модели вытеснения несмешивающихся жидкостей	331
4.1. Прямолинейно-параллельное течение	331
4.2. Плоскорадиальное вытеснение	333
4.3. Начальные и граничные условия	335
4.4. Оценка влияния гравитационных и капиллярных сил .	336
4.5. Модель Бакли–Леверетта	337
§ 5. Классическая задача Бакли–Леверетта	337
5.1. Одномерные течения несжимаемых жидкостей	337
5.2. Построение задачи Бакли–Леверетта	340
§ 6. Практическое применение решения уравнения Бакли–Леверетта	346
6.1. Определение фронтальной насыщенности	348
6.2. Определение средней насыщенности в безводный период добычи	349
6.3. Расчет средней насыщенности после прорыва воды . .	350
6.4. Расчет коэффициента нефтеотдачи	352
§ 7. Расчет параметров вытеснения при заданном перепаде давления на границах пласта	354
§ 8. Лабораторные измерения функций, определяющих процесс вытеснения	357
8.1. Нахождение вида функции $f(s)$ по интегральным характеристикам, измеренным в экспериментах	357
8.2. Определение относительных фазовых проницаемостей	358
§ 9. Математическое описание фильтрации трехфазной смеси . .	359
§ 10. Движение газированной жидкости в пористой среде	365
Глава 11. Движение жидкостей и газов в трещиноватых и трещиновато-пористых средах	377
§ 1. Особенности фильтрации в трещиноватых и трещиновато-пористых средах	377
1.1. Законы фильтрации в трещиноватых средах	380
1.2. Зависимость проницаемости от давления в трещиноватых и трещиновато-пористых средах	383
1.3. О перетоке флюида в трещиновато-пористых средах .	385

§ 2. Вывод дифференциальных уравнений движения жидкости и газа в трещиноватых и трещиновато-пористых средах	387
§ 3. Установившаяся одномерная фильтрация жидкости и газа в трещиноватом и трещиновато-пористом пласте	389
§ 4. Неустановившееся движение жидкости и газа в трещиноватом и трещиновато-пористом пласте	393
§ 5. Вытеснение нефти водой из трещиновато-пористых и неоднородных сред	399
Глава 12. Численные методы решения гидродинамических задач разработки месторождений нефти и газа	403
§ 1. Методы дискретизации уравнений фильтрации	403
§ 2. Погрешности дискретизации	407
§ 3. Типы сеток и задание граничных условий	408
§ 4. Неявный метод решения системы уравнений многофазной фильтрации	412
§ 5. Неявный по давлению, явный по насыщенности метод решения системы уравнений многофазной фильтрации	414
§ 6. Учет скважины в сеточной модели пласта	415
Глава 13. Гидромеханика подземного хранения газа	419
§ 1. Особенности гидродинамического расчета ПХГ	419
§ 2. Модели расчета параметров ПХГ и их развитие	421
§ 3. Модельная задача о работе подземного хранилища газа	423
§ 4. О гистерезисных диаграммах работы ПХГ	428
§ 5. Двухфазные модели гидродинамических процессов в ПХГ	433
§ 6. Постановка задачи о циклическом взаимном замещении воды газом в рамках одномерной модели двухфазной фильтрации	434
§ 7. Метод расчета показателей ПХГ в горизонтальном пласте	438
§ 8. Динамика выхода хранилища на режим предельного цикла в наклонном пласте	444
Приложение 1. Специальные функции, используемые в подземной гидромеханике	450
Приложение 2. Основные сведения по высшей математике	456
Приложение 3. Дифференциальные уравнения и их характеристики. Определения	477
Литература	481