



СОВРЕМЕННЫЕ
НЕФТЕГАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

И. А. Чарный

ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОГАЗОДИНАМИКА



И. А. Чарный

ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОГАЗОДИНАМИКА



Москва ♦ Ижевск

2006



Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту №07-05-07057.

Чарный И. А. Подземная гидрогазодинамика. — М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2006. — 436 стр.

Книга посвящена основным вопросам гидродинамической теории фильтрации однородных и неоднородных жидкостей, связанных с современными задачами разработки нефтяных и газовых месторождений. Рассмотрены методы расчета интерференции совершенных и несовершенных скважин, вопросы образования и устойчивости водяных и газовых конусов, а также ряд задач вытеснения жидкостей и газов в пористых средах. Приведены методы исследования некоторых вопросов неизотермической фильтрации применительно к задачам термометрии скважин и к методам термического воздействия на пласт.

Книга предназначена для студентов газонефтяных вузов и университетов, в которых изучаются элементы подземной гидрогазодинамики, а также для инженерно-технических и научных работников нефтяной и газовой промышленности. Отдельные разделы книги могут представить интерес также для гидрогеологов, гидротехников и работников газонефтехимической промышленности, которым приходится встречаться с процессами фильтрации в различных технологических процессах.

Репринтное издание (оригинальное издание: М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1963 г.).

ISBN 5-93972-591-0

© Институт компьютерных исследований, 2006

<http://shop.rcd.ru>

<http://ics.org.ru>

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
И. А. Чарный — ученый и педагог	vii
П р е д и с л о в и е	3
Глава I. Основные понятия теории фильтрации	9
§ 1. Пористая среда. Связь скорости фильтрации с действительной физической скоростью частиц жидкости. Закон Дарси. Коэффициенты фильтрации и проницаемости	9
§ 2. Одномерное течение. Приток несжимаемой жидкости к стоку и источнику на плоскости и в пространстве	17
§ 3. Одномерное установившееся движение однородной сжимаемой жидкости в трубке тока переменного сечения	24
§ 4. О распределении скоростей в поперечном сечении фильтрационного потока	27
Глава II. Дифференциальные уравнения теории фильтрации однородной жидкости	31
§ 1. Дифференциальные уравнения изотермической фильтрации без учета массовых сил	31
§ 2. Вывод Н. Е. Жуковского дифференциальных уравнений изотермического движения жидкости в пористой среде с учетом массовых сил из дифференциальных уравнений Эйлера для идеальной жидкости	33
§ 3. Замечания о системе уравнений для общего случая неизотермической фильтрации	40
§ 4. Закон сохранения массы фильтрационного потока	41
§ 5. Закон изменения количества движения фильтрационного потока	42
§ 6. Закон сохранения энергии для фильтрационного потока	48
§ 7. Частные случаи	57
§ 8. Примеры практического использования уравнения энергии для неизотермической фильтрации	61
Глава III. Плоские задачи теории фильтрации о притоке к совершенным скважинам	66
§ 1. Связь теории функции комплексного переменного с плоской задачей теории фильтрации. Функция тока. Комплексный потенциал	66
§ 2. Приток к точечным стокам и источникам на плоскости. Случай равнодебитных стока и источника. Приток к скважине, эксцентрично расположенной в круговом пласте	72
§ 3. Вывод некоторых формул для притока к скважинам при помощи конформного отображения	78
§ 4. Течение между конфокальными эллипсами	88

	Стр.
§ 5. Приток к скважинам в пласте овальной формы	89
§ 6. Приток к скважинам в круговом пласте при переменном давлении на контуре питания	92
Глава IV. Практические методы расчета притока к совершенным скважинам	100
§ 1. Вводные замечания. Потенциал нескольких точечных стоков в неограниченном пласте	100
§ 2. Приток к совершенной скважине в пласте с прямолинейным контуром питания. Метод отражения	103
§ 3. Приток к группе совершенных скважин в пласте с удаленным контуром питания. Потенциал и скорость фильтрации результирующего течения	106
§ 4. Приток к бесконечным цепочкам и кольцевым батареям скважин	110
§ 5. Метод эквивалентных фильтрационных сопротивлений	111
Глава V. Приток к несовершенным скважинам при линейном и нелинейном законах фильтрации	117
§ 1. Виды несовершенства скважин. Приток к одной необсаженной скважине с открытым забоем в центре кругового пласта	117
§ 2. Интерференция несовершенных скважин. Приведенный радиус несовершенной скважины	124
§ 3. Расчет фильтрационного сопротивления, обусловленного несовершенством скважины в однородно-анизотропном пласте	129
§ 4. Приток к скважинам с двойным видом несовершенства	139
§ 5. Случай обсаженной скважины, вскрытой небольшим числом перфораций	142
§ 6. Индикаторные кривые дебит — депрессия для однородной несжимаемой жидкости и для газа при линейном и нелинейном законах фильтрации. Интерференция скважин при двухчленном законе фильтрации	145
Глава VI. Безнапорное движение жидкости в пористой среде	157
§ 1. Особенности безнапорного движения. Предпосылки гидравлической теории безнапорного движения	157
§ 2. Гидравлическая теория безнапорного движения через прямоугольную перемычку на горизонтальном непроницаемом основании	161
§ 3. Гидравлическая теория безнапорного притока к совершенной скважине	162
§ 4. Строгое доказательство формул Дюпюи для безнапорного движения через перемычку и притока к скважине.	163
§ 5. Сведение безнапорного движения к равнодебитному напорному	168
§ 6. Интегральные соотношения между фильтрационным расходом и граничными потенциалами при плоском и осесимметричном движении в пласте переменной мощности	172
§ 7. Дифференциальные уравнения гидравлической теории нестационарной безнапорной фильтрации. Аналогия с неустановившейся фильтрацией идеального газа	174
Глава VII. Движение и равновесие границы раздела двух жидкостей в пористой среде	178
§ 1. Введение	178
§ 2. Уравнения движения отмеченных частиц в потоке однородной жидкости	180

Стр.

§ 3.	Расчет скорости вытеснения одной жидкости другой из трубок тока, предполагаемых неизменными	181
§ 4.	Замечания о задачах фильтрации с подвижными граничными условиями. Сведение задачи о движении границы раздела к решению интегро-дифференциального уравнения специального типа	186
§ 5.	Вытеснение нефти водой из трубки тока переменного сечения	193
§ 6.	Прямолинейное и плоско-радиальное движение границы раздела в пласте с постоянными мощностью, пористостью и проницаемостью	195
§ 7.	Характер движения водо-нефтяного контакта. Схемы предельно анизотропных пластов. Устойчивость движения границы раздела	198
§ 8.	Конус подошвенной воды. Условия равновесия и прорыва подошвенной воды или верхнего газа в скважину	202
§ 9.	Совместный приток нефти и подошвенной воды к несовершенной скважине	214
§ 10.	Выравнивание возмущенной в начале границы раздела двух жидкостей в пористой среде под действием гравитационных сил. Расчет предельных схем течения	218
§ 11.	Автомодельные решения задачи о прямолинейном и радиальном вытеснении одной жидкости другой в предельно анизотропном пласте $k_y = \infty$	230

Глава VIII. Нестационарная фильтрация однородной упругой жидкости и газа 250

§ 1.	Уравнения движения упругой жидкости в упругой пористой среде. Влияние неподвижных газовых включений на приведенный модуль упругости пластовой системы	250
§ 2.	Вывод формул для притока упругой жидкости к прямолинейной галерее и к точечному источнику на плоскости	258
§ 3.	Приток к точечному стоку и кольцевой галерее при переменном дебите	269
§ 4.	Метод последовательной смены стационарных состояний. Приток к прямолинейной галерее	272
§ 5.	Расчет радиального притока упругой жидкости по методу последовательной смены стационарных состояний	279
§ 6.	Об одном видоизменении метода интегральных соотношений для решения задач упругого режима фильтрации с неподвижными и подвижными граничными условиями	284
§ 7.	Некоторые методы определения параметров пластов и скважин при упругом режиме фильтрации	298
§ 8.	Краткие сведения о нестационарной фильтрации газов	306

Глава IX. Фильтрация смесей нескольких жидкостей 313

§ 1.	Вводные замечания. Основные уравнения фильтрации двухфазной жидкости	313
§ 2.	Теория Баклея — Леверетта	321
§ 3.	Общие соображения о движении скачков насыщенности	327
§ 4.	Одномерная фильтрация двухфазной жидкости в трубке тока переменного сечения без учета массовых сил	330
§ 5.	Одномерная фильтрация двухфазной жидкости с произвольными массовыми силами	335
§ 6.	Фильтрация двухфазной жидкости с учетом капиллярного давления	345

	Стр.
§ 7. Фильтрация трехфазной смеси	348
§ 8. Установившееся движение газированной жидкости в пористой среде. Замечания о практических методах расчета неустановившегося движения	355
§ 9. Уравнения движения многокомпонентных смесей с учетом фазовых превращений	365
Глава X. Некоторые специальные задачи вытеснения в пористой среде	371
§ 1. Влияние фазовых проницаемостей на характер движения при интенсивном темпе вытеснения одной жидкости другой в пористой среде	371
§ 2. Влияние неоднородности пористой среды вдоль вертикали на процесс вытеснения	374
§ 3. Расчет движения газового объема в неограниченном водоносном пласте	378
П р и л о ж е н и я	393



Чарный Исаак Абрамович

ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОГАЗОДИНАМИКА

*Ведущий редактор С. М. Каешкова
Технический редактор А. С. Полосина
Корректор Л. В. Сметанина*

Подписано в печать 27.12.2006. Формат 60 × 84¹/₁₆.

Печать офсетная. Бумага офсетная №1.

Усл. печ. л. 25,34. Уч. изд. л. 25,12.

Гарнитура Таймс. Заказ №0063.

АНО «Институт компьютерных исследований»

426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1.

<http://shop.rcd.ru> E-mail: borisov@rcd.ru Тел./факс: (+73412) 500–295

Отпечатано ГУП УР «Ижевский полиграфический комбинат»

426039, г. Ижевск, Воткинское шоссе, 180