



### **Шейдеггер А. Э.**

Физика течения жидкостей через пористые среды. — М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. — 254 с.

В книге дается обзор современных теоретических и экспериментальных исследований свойств пористых пород, а также течений через них различных жидкостей (нефти, газа, воды и т. д.). Освещается ряд новых положений по процессам перемещения жидкостей в пористых средах, основанных на данных изучения течения при помощи меченых частиц.

Книга предназначена для инженерно-технических работников по добыче нефти и газа, работников научно-исследовательских и проектных институтов, а также для лиц, работающих в области приложения теории течений в пористых средах к химической технологии, гидрогеологии, горному делу, водному хозяйству и т. д.

Репринтное издание (оригинальное издание: М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1960).

**ISBN 978-5-93972-711-2**

© Институт компьютерных исследований, 2008

<http://shop.rcd.ru>

<http://ics.org.ru>

## О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Предисловие ко 2-му русскому изданию . . . . .	6
<b>П р е д и с л о в и е</b> . . . . .	8
<b>Условные обозначения</b> . . . . .	11
<b>Г л а в а I. Пористые среды</b> . . . . .	13
I.1. Описание и геометрические характеристики пористых сред	13
I.2. Измерение пористости . . . . .	16
I.2.1. Методы . . . . .	16
I.2.2. Частные случаи . . . . .	19
I.3. Измерение удельной поверхности . . . . .	20
I.3.1. Методы . . . . .	20
I.3.2. Частные случаи . . . . .	22
I.4. Определение распределения размеров пор . . . . .	22
I.5. Корреляция между размером зерна и структурой пор . . . . .	24
I.5.1. Измерение размера зерен . . . . .	24
I.5.2. Теория укладки сфер . . . . .	24
I.5.3. Укладка природных материалов . . . . .	26
I.6. Реологические свойства пористых сред . . . . .	27
<b>Г л а в а II. Жидкости</b> . . . . .	30
II.1. Общие замечания . . . . .	30
II.2. Теория неразрывности материи . . . . .	30
II.2.1. Основные уравнения . . . . .	30
II.2.2. Частные случаи течения вязкой жидкости . . . . .	31
II.3. Молекулярное течение . . . . .	34
II.4. Взаимодействие жидкостей с поверхностями . . . . .	35
II.4.1. Адсорбция . . . . .	35
II.4.2. Поверхностное межфазное натяжение . . . . .	36
II.5. Смешивающиеся (взаиморастворимые) жидкости . . . . .	38
<b>Г л а в а III. Гидростатика в пористых средах</b> . . . . .	43
III.1. Принципы гидростатики . . . . .	43
III.2. Адсорбция жидкостей пористыми средами . . . . .	44
III.2.1. Теория изотерм . . . . .	44
III.2.2. Приложение изотерм к измерению площади . . . . .	47
III.3. Капиллярная конденсация жидкостей в пористых средах . . . . .	48
III.3.1. Теория сорбционного гистерезиса . . . . .	48
III.3.2. Распределение пор по размерам . . . . .	50
III.4. Квазистатическое вытеснение одной жидкостью другой в пористой среде . . . . .	51
III.4.1. Теория капиллярного давления . . . . .	51
III.4.2. Эксперименты по капиллярному давлению . . . . .	56
III.4.3. Капиллярное давление и распределение пор по размерам . . . . .	57
III.5. Относительная смачиваемость . . . . .	59

	Стр.
<b>Г л а в а IV. Закон Дарси</b>	61
IV.1. Течение однородных жидкостей в пористых средах	61
IV.2. Экспериментальные исследования	62
IV.2.1. Опыты Дарси	62
IV.2.2. Понятие проницаемости	64
IV.3. Дифференциальные формы закона Дарси	66
IV.3.1. Изотропные пористые среды	66
IV.3.2. Сжимаемые пористые среды	69
IV.3.3. Анизотропные пористые среды	70
IV.4. Измерение проницаемости	73
IV.5. Теория фильтрации	75
<b>Г л а в а V. Решения уравнения Дарси</b>	76
V.1. Общие замечания	76
V.2. Установившееся течение	77
V.2.1. Аналитические решения	77
V.2.2. Решения по аналогии	81
V.3. Гравитационное течение со свободной поверхностью	83
V.3.1. Физические стороны явления	83
V.3.2. Частные решения	87
V.4. Неустановившиеся течения	88
V.4.1. Неустановившиеся течения в линейном приближении	88
V.4.2. Общий случай неустановившегося течения	91
V.4.3. Экспериментальные решения	94
<b>Г л а в а VI. Физический смысл проницаемости</b>	95
VI.1. Эмпирические зависимости	95
VI.2. Капиллярные модели	97
VI.2.1. Концепция моделей	97
VI.2.2. Модель из прямых капилляров	99
VI.2.3. Модели параллельного типа	100
VI.2.4. Модели серийного типа	102
VI.2.5. Сравнение с опытами	105
VI.3. Теории гидравлического радиуса	106
VI.3.1. Принципы теории	106
VI.3.2. Теория Козени	107
VI.3.3. Модификация теории Козени	112
VI.3.4. Эксперименты в связи с теорией гидравлического радиуса	113
VI.4. Определение структуры пористой среды	113
VI.4.1. Определение площади поверхности	113
VI.4.2. Определение других геометрических величин	114
VI.5. Критика теории гидравлического радиуса. Другие теории	115
VI.5.1. Критика теории Козени	115
VI.5.2. Тормозные теории проницаемости	116
VI.5.3. Статистические теории	122
VI.5.4. Аналогия ламинарного течения в пористых средах с турбулентным течением массы жидкости	130
<b>Г л а в а VII. Общие уравнения течения</b>	132
VII.1. Пределы применимости закона Дарси	132
VII.1.1. Течение при больших скоростях	132
VII.1.2. Молекулярные эффекты	134
VII.1.3. Другие эффекты	136
VII.2. Уравнения для течений с большой скоростью	137
VII.2.1. Эвристические корреляции	137

	Стр.
VII.2.2. Теоретические уравнения . . . . .	144
VII.2.3. Решения уравнений турбулентного течения . . . . .	152
VII.3. Уравнения, учитывающие молекулярные эффекты . . . . .	156
VII.3.1. Проскальзывание газа и молекулярные течения . . . . .	156
VII.3.2. Адсорбция и диффузия . . . . .	161
VII.4. Применение общих уравнений течения . . . . .	165
VII.4.1. Поправки проницаемости . . . . .	165
VII.4.2. Определения структуры пористых сред . . . . .	165
<b>Глава VIII. Многофазные течения . . . . .</b>	<b>167</b>
VIII.1. Общие замечания . . . . .	167
VIII.2. Ламинарные течения несмешивающихся жидкостей . . . . .	168
VIII.2.1. Качественные исследования . . . . .	168
VIII.2.2. Закон Дарси . . . . .	169
VIII.2.3. Измерение относительной проницаемости . . . . .	171
VIII.3. Решения уравнения Дарси (взаимонерастворимые жидкости) . . . . .	177
VIII.3.1. Случай Баклея-Левретта . . . . .	177
VIII.3.2. Упрощенные аналитические решения . . . . .	181
VIII.3.3. Впитывание . . . . .	184
VIII.3.4. Решения при ограничительных условиях . . . . .	186
VIII.4. Изменения масштаба и экспериментальные исследования картины течений несмешивающихся жидкостей в пористых средах . . . . .	190
VIII.4.1. Динамическое подобие в пористых средах . . . . .	190
VIII.4.2. Экспериментальные исследования вытеснения . . . . .	194
VIII.5. Физические аспекты относительной проницаемости . . . . .	195
VIII.5.1. Визуальные изучения . . . . .	195
VIII.5.2. Теоретические исследования . . . . .	196
VIII.6. Общие уравнения течения взаимонерастворимых жидкостей . . . . .	206
VIII.6.1. Ограничения закона Дарси . . . . .	206
VIII.6.2. Турбулентность . . . . .	207
VIII.6.3. Молекулярные эффекты . . . . .	214
VIII.7. Вытеснение с растворением . . . . .	215
VIII.7.1. Общие принципы . . . . .	215
VIII.7.2. Частные случаи . . . . .	216
VIII.7.3. Микроскопические теории вытеснения с растворением . . . . .	218
<b>Примечания к русскому изданию . . . . .</b>	<b>221</b>
<b>Библиография . . . . .</b>	<b>228</b>