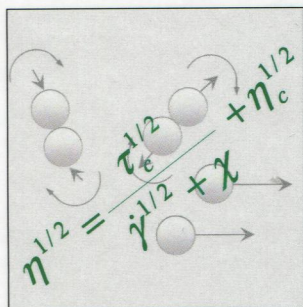


Х И М И И

Е.А. Кирсанов,
В.Н. Матвеевко

Неньютоновское
поведение
структурированных
систем



ТЕХНОСФЕРА



М **И**

И **М**

Р **И**

Е.А. Кирсанов, В.Н. Матвеев

**Неньютоновское
поведение
структурированных систем**

ТЕХНОСФЕРА

Москва

2016

УДК 541.182.022: 532.135

ББК 22.3

К43

Рецензенты: д.х.н., профессор В.В. Назаров;

д.х.н., профессор А.Е. Чалых.

К43 Кирсанов Е.А., Матвеев В.Н.

Неньютоновское поведение структурированных систем

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 384с. ISBN 978-5-94836-461-2

Неньютоновское поведение структурированных систем проявляется в изменении вязкости при изменении скорости сдвигового течения. Структурная реологическая модель объясняет явление неньютоновского течения в суспензиях, эмульсиях, мицеллярных растворах, растворах и расплавах полимеров, а также в жидких кристаллах.

Полученные реологические уравнения описывают вязкость и силы упругости при стационарном течении, вязкие и упругие характеристики при сдвиговых колебаниях. Структурный подход является альтернативой классической теории вязкоупругости и связывает изменение вязкости с изменением структуры вещества. Коэффициенты полученных уравнений прямо связаны со структурой и физико-химическими свойствами структурированных систем. Рассмотрены практически важные системы: полимеры и композитные материалы, нефть и буровые растворы, тиксотропные красители и кровь.

Книга может быть полезной для ученых и специалистов в области физико-химии дисперсных систем, коллоидной химии и физикохимии полимеров, медицины.

Авторы благодарны рецензентам за сделанные ценные замечания. С учетом высказанных замечаний материал, представленный в книге, выглядит более стройно и выделяет собственный вклад авторов в развитие теории неньютоновского течения дисперсных систем с большим акцентом.

УДК 541.182.022: 532.135

ББК 22.3

© 2016, Кирсанов Е.А., Матвеев В.Н.

© 2016, АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление

ISBN 978-5-94836-461-2

Содержание

Предисловие	7
Введение	9
Глава 1. Особенности неньютоновского течения	15
1.1. Вязкость и упругость	15
1.2. Сдвиговое течение	17
1.3. Реологические измерения	19
1.4. Сферические частицы в вязкой жидкости	22
1.5. Кривые течения и кривые вязкости	26
1.6. Реологические уравнения для дисперсных систем	27
1.7. Предельное напряжение сдвига, или предел текучести	31
1.8. Структурное обоснование реологических моделей	33
1.9. Структура суспензий и силы взаимодействия между частицами	38
1.10. Зависимость вязкости суспензии от концентрации	44
1.11. Полная реологическая кривая	47
1.12. Явление тиксотропии	48
1.13. Концепции течения дисперсных систем	51
1.14. Растворы и расплавы полимеров	52
1.15. Жидкокристаллические растворы полимеров со стержнеобразными молекулами	54
1.16. Течение термотропных жидких кристаллов	56
1.17. Общие представления о течении дисперсий	56
1.18. О проблеме неньютоновского течения	59
Заключение	60
Глава 2. Структурная реологическая модель	61
Принятые обозначения	61
2.1. Анализ оригинальной модели Кэссона	62
2.2. Обсуждение модели Кэссона	68
2.3. Реологические уравнения модифицированной модели	70
2.4. Уравнения течения с ограничениями осевого отношения	73
2.5. От модельных цилиндров к реальным агрегатам	75
2.6. Кинетические уравнения для структурированной системы	78
2.7. Неравновесное течение. Гидродинамический подход	80
2.8. Неравновесное течение. Кинетический подход	83
2.9. Характер кривых течения при неравновесных условиях течения	86
Заключение	87
Глава 3. Общие закономерности неньютоновского течения	88
3.1. Простое реологическое поведение	88

3.2. Сравнение обобщенного уравнения течения с известными реологическими уравнениями.....	90
3.3. Сложное реологическое поведение.....	94
3.4. Примеры сложного реологического поведения.....	95
3.5. Описание полной реологической кривой.....	108
3.6. Физический смысл коэффициентов обобщенного уравнения течения.....	114
3.7. Бимодальная суспензия и физический смысл коэффициента χ	121
3.8. Сдвиговое расслоение.....	125
3.9. Срыв течения.....	132
3.10. Экстраполяция реологических данных.....	134
3.11. Границы существования неньютоновского течения.....	138
Заключение.....	143
Глава 4. Неравновесное состояние течения и тиксотропные свойства.....	144
4.1. Неравновесное течение и тиксотропное поведение.....	144
4.2. Гистерезис кривых течения.....	146
4.3. Зависимость напряжения сдвига от времени.....	149
4.4. Незамкнутая петля гистерезиса кривых течения.....	152
4.5. Типичные тиксотропные системы.....	153
Заключение.....	158
Глава 5. Методы интерпретации реологических данных.....	159
5.1. Эволюция реологических уравнений.....	159
5.2. Примеры аппроксимации реологических данных.....	163
5.3. Обобщенные кривые течения в приведенных координатах и температурно-временная суперпозиция.....	171
5.4. Температурная зависимость коэффициентов ОУТ для расплавов полимеров. Построение обобщенных кривых течения.....	173
5.5. Температурная зависимость коэффициентов ОУТ для суспензий.....	176
5.6. Приведенные координаты различного вида.....	180
5.7. Приближенная форма реологических уравнений.....	184
5.8. Течение в цилиндрическом канале.....	190
Заключение.....	195
Глава 6. Течение суспензий и эмульсий.....	196
6.1. Пластизоли.....	196
6.2. Угольная сажа в растворе полибутадиен-стирол.....	199
6.3. Типографская краска.....	200
6.4. Водные дисперсии гуминовых веществ.....	201
6.5. Пищевые пасты.....	202
6.6. Динамический и статический предельные напряжения сдвига.....	202

6.7. Течение гидрофобного диоксида кремния в полиоле	205
6.8. Стекланные частицы в полибутане	206
6.9. Течение суспензии частиц разной формы и размера	207
6.10. Течение дисперсии полистиролового латекса с различным распределением частиц по размерам	210
6.11. Суспензии различного происхождения	211
6.12. Дисперсные системы с заряженными частицами	215
6.13. Течение крови	217
6.14. Течение полистиролового латекса в состоянии геля	224
6.15. Суспензия коллоидного кремния в присутствии полиэтиленоксида	225
6.16. Течение суспензий крупных волокон	227
6.17. Течение суспензий углеродных нанотрубок	229
6.18. Течение электрореологических жидкостей	232
6.19. Течение эмульсий	238
Заключение	244
Глава 7. Нефть и буровые растворы	245
7.1. Особенности течения нефти	245
7.2. Выбор реологического уравнения	247
7.3. Гистерезис кривых течения	253
7.4. Особенности течения медицинского вазелина	259
7.5. Буровые растворы	261
Заключение	265
Глава 8. Течение полимерных растворов и лиотропных жидких кристаллов	266
8.1. От агрегатов частиц к ассоциатам макромолекул	266
8.2. Течение водорастворимых производных целлюлозы	267
8.3. Течение растворов синтетических полипептидов	270
8.4. Течение лиотропных биополимеров	274
8.5. Течение ароматических полиамидов	276
8.6. Сравнение реологических характеристик растворов полимеров со стержнеобразными молекулами и с гибкими молекулами	279
8.7. Растворы полимеров с гибкими цепями	280
8.8. Тиксотропные свойства лиотропных жидких кристаллов	283
8.9. Особенности аппроксимации реологических кривых полимерных растворов	285
Заключение	293
Глава 9. Течение расплавов полимеров и термотропных жидких кристаллов	294
9.1. Обобщенная модель течения и температурная зависимость вязкости расплавов полимеров	294

9.2. Особенности интерпретации сложного реологического поведения	301
9.3. Течение термотропных жидких кристаллов	303
Заключение	308
Глава 10. Упругость и вязкость при стационарном течении	309
10.1. Упругие свойства полимерных и дисперсных систем при стационарном течении. Первая разность нормальных напряжений	309
10.2. Структурная модель упругости при стационарном течении	311
10.3. Первая разность нормальных напряжений в полимерных растворах	313
10.4. Первая разность нормальных напряжений в расплавах полимеров	321
10.5. Первая разность нормальных напряжений при низких скоростях	327
Заключение	331
Глава 11. Упругость и вязкость при сдвиговых колебаниях	332
11.1. Феноменологическое описание сдвиговых колебаний	332
11.2. Структурная реологическая модель для описания сдвиговых колебаний	335
11.3. Аппроксимация экспериментальных кривых вязкости и упругости	336
11.4. Реологическое поведение и реологические модели	342
Заключение	355
Заключение	357
Приложение	358
Обработка результатов реологического эксперимента в процессоре электронных таблиц Excel	358
Литература	362