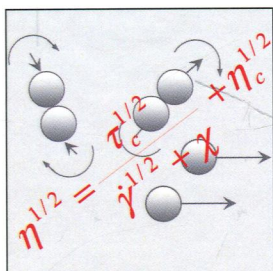


Х И М И И

Е.А. КИРСАНОВ,
В.Н. МАТВЕЕНКО

Вязкость и упругость структурированных жидкостей



ТЕХНОСФЕРА



МИРИ
ХИМИИ

Е.А. Кирсанов, В.Н. Матвеевко

**Вязкость и упругость
структурированных жидкостей**

ТЕХНОСФЕРА
Москва
2022

УДК 541.182.022: 532.135

ББК 22.3

К43

Рецензент: В.В. Назаров, д.х.н., профессор, заведующий кафедрой коллоидной химии Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева

К43 Кирсанов Е.А., Матвеев В.Н.

Вязкость и упругость структурированных жидкостей

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2022. – 284 с. ISBN 978-5-94836-640-1

В книге предложено новое объяснение неньютоновского течения жидкостей, которые обладают внутренней структурой. К ним относятся суспензии, эмульсии, растворы и расплавы полимеров, мицеллярные растворы, жидкие кристаллы.

Представлена структурная реологическая модель, содержащая реологические уравнения для описания реологических кривых – главных характеристик равновесного сдвигового течения.

УДК 541.182.022: 532.135

ББК 22.3

© Кирсанов Е.А., Матвеев В.Н., 2022

© АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление, 2022

ISBN 978-5-94836-640-1

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	8
ВВЕДЕНИЕ	10
ГЛАВА 1.	
ВЯЗКОСТЬ, УПРУГОСТЬ И СПОСОБЫ	
ИЗМЕРЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.....	14
1.1. Вязкость и упругость как физические явления.....	14
1.2. Сдвиговое течение.....	17
1.3. Реологические измерения.....	20
ГЛАВА 2.	
ОБЩАЯ КАРТИНА НЬЮТОНОВСКОГО	
ТЕЧЕНИЯ	24
2.1. Сферические частицы в вязкой жидкости	24
2.2. Гидродинамическое взаимодействие.....	27
ГЛАВА 3.	
ОБЩАЯ КАРТИНА	
НЕНЬЮТОНОВСКОГО ТЕЧЕНИЯ	31
3.1. Кривые течения и кривые вязкости	31
3.2. Реологические уравнения для дисперсных систем	33
3.3. Предельное напряжение сдвига или предел текучести.....	37
3.4. Структурное обоснование реологических моделей	38
3.5. Причины возникновения структуры в суспензиях.....	42
3.6. Характер движения частиц в суспензиях и вязкость	45
3.7. Тиксотропные явления	47
3.8. Концепции, описывающие течение дисперсных систем.....	49
3.9. Растворы и расплавы полимеров как структурированные системы.....	50
3.10. О проблеме неньютоновского течения	53

ГЛАВА 4.	
СТРУКТУРНАЯ РЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАЦИОНАРНОГО НЕНЬЮТОНОВСКОГО ТЕЧЕНИЯ	55
4.1. Анализ оригинальной модели Кэссона	55
4.2. Реологические уравнения модифицированной модели Кэссона	58
4.3. От модельных цилиндров к реальным агрегатам	60
4.4. Кинетические уравнения для структурированной системы	64
ГЛАВА 5.	
ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ НЕНЬЮТОНОВСКОГО ТЕЧЕНИЯ	68
5.1. Простое реологическое поведение	68
5.2. Сравнение обобщённого уравнения течения с известными реологическими уравнениями	70
5.3. Сложное реологическое поведение	75
5.4. Примеры сложного реологического поведения	77
5.5. Описание полной реологической кривой	80
5.6. Эволюция реологических уравнений	82
5.7. Примеры аппроксимации реологических данных	87
5.8. Обобщённые кривые течения в приведённых координатах и температурно-временная суперпозиция	91
ГЛАВА 6.	
ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОБОБЩЁННОГО УРАВНЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ	94
6.1. Коэффициенты обобщённого уравнения течения для суспензий	94
6.2. Температурная зависимость коэффициентов ОУТ для суспензий	102
6.3. Температурная зависимость коэффициентов ОУТ для расплавов полимеров. Построение обобщённых кривых течения в приведённых координатах	107

ГЛАВА 7.	
НЕРАВНОВЕСНОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕЧЕНИЯ И	
ТИКСОТРОПНЫЕ СВОЙСТВА.....	111
7.1. Неравновесное течение и тиксотропное	
поведение.....	111
7.2. Гистерезис кривых течения.....	113
7.3. Зависимость напряжения сдвига	
от времени.....	117
ГЛАВА 8.	
ВЯЗКОСТЬ И УПРУГОСТЬ СТРУКТУРИРОВАННЫХ	
ЖИДКОСТЕЙ ПРИ ОСЦИЛЛИРУЮЩЕМ	
СДВИГОВОМ ТЕЧЕНИИ	120
8.1. Осциллирующее сдвиговое течение, потери	
энергии вязкого трения и накопление	
упругой энергии	120
8.2. Использование реологических уравнений	
структурной модели для описания сдвиговых	
осцилляций.....	123
8.3. Частотная зависимость динамических модулей	
на широком интервале измерений	127
8.4. Механические элементы и механические модели	129
8.5. Реологические кривые металлоценового	
полиэтилена HDB5	136
8.6. Кинетические модели для интерпретации	
реологических уравнений	140
ГЛАВА 9.	
НОРМАЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ	
ПРИ СТАЦИОНАРНОМ ТЕЧЕНИИ	
СТРУКТУРИРОВАННЫХ ЖИДКОСТЕЙ.....	143
9.1. Первая разность нормальных напряжений.....	143
9.2. Упругие свойства при стационарном	
течении в рамках структурной модели	144
9.3. Первая разность нормальных напряжений	
в различных структурированных системах	150

ГЛАВА 10.**СДВИГОВОЕ ЗАТВЕРДЕВАНИЕ****ПРИ СТАЦИОНАРНОМ ТЕЧЕНИИ 155**

10.1. Характеристики сдвигового затвердевания 155

10.2. Структурно-кинетическая модель
сдвигового затвердевания 156**ГЛАВА 11.****РЕОЛОГИЯ ПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ.****ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ 172**11.1. Реологические характеристики раствора
полиизобутилена в органическом растворителе
2, 6, 10, 14-тетраметилпентадекан.
Стационарное течение 17211.2. Реологические характеристики раствора
полиизобутилена в органическом растворителе
2, 6, 10, 14-тетраметилпентадекан.
Осциллирующее течение 17811.3. Связь между коэффициентами
реологических уравнений 186**ГЛАВА 12.****РЕОЛОГИЯ ПОЛИМЕРНЫХ РАСПЛАВОВ 188**12.1. Обобщённая модель течения и температурная
зависимость вязкости расплавов полимеров 18812.2. Особенности интерпретации сложного
реологического поведения 19312.3. Вязкоупругость расплавов изотактического
полипропилена 195

12.4. Реология расплава полидиметилсилоксана 203

ГЛАВА 13.**РЕОЛОГИЯ СУСПЕНЗИЙ 214**13.1. Уравнения структурной реологической
модели применительно к течению суспензий 21413.2. Вязкоупругость водной суспензии
полиуретана 21613.3. Реология суспензии твёрдых
кремниевых сфер 219

13.4. Суспензия латекса полибутил акрилат-стирол, стабилизированного смесью ионных и неионных поверхностно- активных веществ.....	223
13.5. Водная суспензия полистиролового латекса.....	225
13.6. Суспензия стеклянных сфер в силиконовом масле.....	229

ГЛАВА 14.**СДВИГОВОЕ РАССЛОЕНИЕ 231**

14.1. Сдвиговое расслоение при стационарном течении «червеобразных мицелл».....	231
14.2. Осциллирующее течение в растворе «червеобразных мицелл» и возможность сдвигового расслоения.....	241
14.3. Осциллирующее течение в расплаве полистирола и возможность сдвигового расслоения.....	245

Глава 15.**СРЫВ ТЕЧЕНИЯ 251**

15.1. Срыв течения в условиях стационарного течения.....	251
15.2. Срыв течения в условиях осциллирующего течения.....	256

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 262**ЛИТЕРАТУРА 264****Публикации авторов по теме монографии 275**