

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5	1.7.2. Перемешивание жидкофазных сред.....	52
Раздел 1. Описание основных процессов и аппаратов		1.7.3. Смешение зернистых материалов	54
1.1. Образование дисперсной фазы	7	1.7.4. Приготовление полимерных композиций	55
1.1.1. Полезная и затраченная работа диспергирования	7	1.8. Реакционные процессы	56
1.1.2. Механизмы диспергирования капель и пузырей	9	1.8.1. Основные понятия химической кинетики	56
1.1.3. Основные принципы механического разрушения твердых тел	9	1.8.2. Простые и сложные реакции. Теория переходного состояния.....	56
1.2. Классификация дисперсных частиц	11	1.8.3. Моделирование химических реакторов. Основные понятия	57
1.2.1. Классификация с помощью сит	11	1.8.4. Гидродинамическая модель химического реактора	57
1.2.2. Классификация в потоках жидкости	13	1.8.5. Лимитирующая стадия химико-технологического процесса.....	58
1.2.3. Классификация в потоках газа.....	13	1.8.6. Моделирование реакторов для проведения гомогенных процессов	58
1.3. Выделение дисперсной фазы из жидкостей и газов.....	19	1.8.7. Моделирование реакторов для проведения реакций в гетерогенных системах	58
1.3.1. Осаждение.....	19	1.8.8. Устойчивость химических реакторов	59
1.3.2. Фильтрование	21	1.8.9. Высокотемпературные химические реакторы (печи и плазмохимические реакторы).....	59
1.3.3. Коагуляция	21	Литература	61
1.3.4. Выпаривание	23	Раздел 2. Прикладная механика сплошных сред	
1.3.5. Вымораживание	23	2.1. Основы механики сплошных сред	64
1.4. Выделение компонентов из растворов.....	24	2.1.1. Основные понятия и определения.....	64
1.4.1. Выделение газа из жидкости	24	2.1.2. Силы, действующие в сплошных средах.....	65
1.4.2. Выделение жидкого компонента из смеси жидкостей испарением	28	2.1.3. Классификация жидкостей.....	66
1.4.3. Выделение солей из расплавов и растворов кристаллизацией	29	2.1.4. Основные уравнения механики сплошных сред.....	67
1.4.4. Мембранное разделение жидкостей	32	2.2. Несжимаемые ньютоновские жидкости	67
1.4.5. Мембранное выделение солей из растворов.....	33	2.2.1. Основные уравнения механики несжимаемых ньютоновских жидкостей.....	67
1.4.6. Выделение растворенных компонентов путем поглощения твердым телом	34	2.2.2. Уравнение Рейнольдса	68
1.4.7. Выделение компонентов раствора экстракцией	34	2.2.3. О подобии гидромеханических процессов	69
1.5. Разделение газовых смесей	38	2.2.4. Плоские задачи гидромеханики	70
1.5.1. Разделение газов путем растворения в жидкости	38	2.2.5. Уравнения пограничного слоя	71
1.5.2. Разделение путем поглощения твердым телом	42	2.2.6. Течение жидкости в трубах и каналах	72
1.5.3. Мембранное разделение	44	2.2.7. Безнапорное течение жидкости	78
1.5.4. Разделение путем конденсации	46	2.2.8. Обтекание тел.....	80
1.6. Растворение различных фаз и их компонентов в жидкости.....	47	2.2.9. Течение затопленных струй.....	84
1.6.1. Растворение газов	47	2.2.10. Пленочное течение	85
1.6.2. Растворение жидкостей	48	2.2.11. Гидростатика	87
1.6.3. Растворение твердых веществ	49	2.2.12. Одномерная гидромеханика (гидравлика)	89
1.7. Смешение различных фаз и их компонентов	51	2.2.13. Фильтрация в недеформируемой пористой среде	102
1.7.1. Основные принципы смешения	51	2.3. Полуэмпирическая теория турбулентности	106

2.3.1.	Введение	106	3.1.1.	Пространственное соотношение долей компонентов и его следствия.....	152
2.3.2.	Уравнения Рейнольдса и способы их замыкания	107	3.1.2.	Форма и размеры дисперсных частиц.....	152
2.3.3.	Модели турбулентной вязкости.....	108	3.1.3.	Математическое представление распределения частиц по размерам.....	154
2.3.4.	Модели, не использующие гипотезу Ж.В. Буссинеска	113	3.1.4.	Капиллярно-пористые среды	156
2.3.5.	Формулировка некоторых наиболее распространенных моделей турбулентности	116	3.2.	Движение одиночных частиц	158
2.3.5.1.	Алгебраические и полудифференциальные модели	116	3.2.1.	Влияние градиента давления в потоке на движение частиц	158
2.3.5.2.	Модели с одним дифференциальным уравнением	116	3.2.2.	Несимметричное обтекание частиц	159
2.3.5.3.	Модели с двумя дифференциальными уравнениями	117	3.2.3.	Обтекание частицы у стенки.....	161
2.3.5.4.	Модели с тремя дифференциальными уравнениями	119	3.2.4.	Моделирование движения частиц в координатах Лагранжа	162
2.3.5.5.	Явные алгебраические модели рейнольдсовых напряжений (EARSM)	119	3.2.5.	Моделирование движения частиц в координатах Эйлера.....	167
2.4.	Современные подходы к численному моделированию турбулентности	121	3.2.6.	Движение капель и пузырей	170
2.4.1.	Прямое численное моделирование турбулентности	121	3.3.	Взаимопроникающие континуальные среды	177
2.4.2.	Метод моделирования крупных вихрей.....	121	3.3.1.	Законы сохранения массы и импульса	177
2.4.3.	Метод моделирования отсоединенных вихрей и другие гибридные подходы.....	122	3.3.2.	Одномерные вертикальные дисперсные потоки	178
2.5.	Сжимаемые жидкости.....	123	3.3.3.	Моделирование одномерных двухфазных многокомпонентных потоков	195
2.5.1.	Одномерное движение идеального газа	123	3.3.4.	Фильтрация в деформируемой пористой среде.....	197
2.5.2.	Фильтрация газа в недеформируемой пористой среде	125	3.3.5.	Одномерное моделирование двухфазных потоков	200
2.5.3.	Скорость звука в газосодержащих средах. Истечение газосодержащих сред	127	3.3.6.	Моделирование движения частиц в координатах Эйлера — Лагранжа	203
2.5.4.	Стоячие волны в газосодержащих средах	128	3.4.	Взаимопроникающие структурные среды.....	207
2.6.	Неньютоновские жидкости	130	3.4.1.	Структуры и режимы течения газо-жидкостных потоков	208
2.6.1.	Законы переноса в неньютоновских жидкостях	130	3.4.2.	Одномерные модели газо-жидкостных потоков.....	209
2.6.2.	Сопrotивление при течении в трубах и каналах	133	3.4.3.	Газосодержание вертикальных газо-жидкостных потоков	211
2.6.3.	Общий случай течения неньютоновских жидкостей	135	3.4.4.	Структуры неоднородного псевдооживленного слоя.....	213
2.7.	Зернистые среды	137	3.4.5.	Моделирование неоднородного псевдооживленного слоя.....	214
2.7.1.	Физико-механические свойства зернистых сред	137	3.4.6.	Структуры и режимы течения потоков с частицами.....	215
2.7.2.	Предельное напряженное состояние зернистой среды	140	3.4.7.	Моделирование потоков с частицами при пневмо- и гидротранспорте	217
2.7.3.	Статика зернистой среды	141	3.4.8.	Условия равновесия слоев частиц у стенки	221
2.7.4.	Приближенные уравнения статики зернистой среды	143	3.4.9.	Эффект волны разрушения в зернистой среде.....	222
Литература	145	Литература	224		
Раздел 3. Прикладная механика неоднородных сред			Раздел 4. Теплообменные процессы		
3.1.	Морфологические и дисперсионные свойства неоднородных сред	152	4.1.	Основы теплообменных процессов	227
			4.1.1.	Основные виды переноса теплоты	228
			4.1.2.	Уравнение распространения теплоты. Условия однозначности.....	228

4.1.3. Стационарная теплопроводность твердых тел	229
4.1.4. Нестационарная теплопроводность твердых тел	231
4.1.5. Основы конвективного теплообмена между теплоносителем и поверхностью	237
4.1.6. Основы лучистого теплообмена	245
4.2. Теплообмен в технологической аппаратуре	246
4.2.1. Теплообмен при механическом перемешивании жидкости	246
4.2.2. Теплообмен в газо-жидкостных средах	248
4.2.3. Полуэмпирическая теория турбулентного переноса теплоты	250
4.2.4. Теплообмен при ламинарном течении неньютоновских жидкостей в трубах и каналах	252
4.2.5. Теплообмен в системах с дисперсной твердой фазой	256
4.2.6. Аналогия процессов конвективного переноса импульса и теплоты (аналогия Рейнольдса)	260
Литература	262

Раздел 5. Массоперенос

5.1. Концентрационное равновесие	265
5.2. Кинетика массопереноса	266
5.2.1. Элементарные виды переноса массы	266
5.2.2. Уравнение конвективно-диффузионного переноса вещества в однофазном потоке	268
5.2.3. Модели массоотдачи	269
5.2.4. Уравнение массоотдачи	271
5.2.5. Критерии массообменного подобия	271
5.2.6. Уравнение массопередачи	273
5.3. Массоперенос при движении частиц	273
5.3.1. Общие замечания	273
5.3.2. Массоперенос в сплошной фазе	275
5.3.3. Массоперенос в частице	280
5.3.4. Массоперенос при соизмеримых сопротивлениях фаз	286
5.3.5. О применимости уравнения аддитивности фазовых сопротивлений	288
5.4. Массообмен при пленочном течении жидкости	290
5.4.1. Массоперенос в жидкой пленке	290
5.4.2. Массообмен в газовой фазе	292
5.5. Продольная диффузия	294
5.5.1. Тейлоровская диффузия	294
5.5.2. Модели продольного перемешивания	295
5.6. Особенности массопереноса в твердых телах. Волновая диффузия	296
5.6.1. Гиперболическое уравнение диффузии	296
5.6.2. Использование волновой модели диффузии для обработки экспериментальных данных	300
Литература	302

Раздел 6. Вспомогательные, типовые и многофункциональные процессы и аппараты

6.1. Аппараты с перемешивающими устройствами	305
6.1.1. Конструкции аппаратов с перемешивающими устройствами	306
6.1.2. Гидродинамические характеристики аппарата с мешалкой	312
6.1.3. Гидродинамические характеристики аппарата с прецессирующей мешалкой	319
6.1.4. Гидродинамические характеристики аппаратов с мешалками при перемешивании гетерогенных систем	321
6.1.5. Тепло- и массообмен в аппаратах с мешалками	325
6.1.6. Гомогенизация	327
6.1.7. Перемешивание жидких сред при больших диссипациях мощности	333
Литература	336
6.2. Теплообменная аппаратура	337
6.2.1. Классификация теплообменных аппаратов	338
6.2.2. Расчет теплообменных аппаратов по уравнению теплопередачи	339
6.2.3. Итерационный и поинтервальный методы расчета	342
6.2.4. Об оптимизации теплообменных аппаратов	345
6.2.5. Конструкции и выбор теплообменных аппаратов	346
Литература	360
6.3. Машины и аппараты для перемещения жидкостей и газов	361
6.3.1. Общие сведения о машинах для подачи жидкостей и газов	362
Основные определения и классификация устройств для подачи жидкостей и газов ...	362
Основные параметры гидравлических машин для подачи жидкостей и газов	364
Подача и напор объемных и динамических машин. Области применения насосов и компрессоров	366
Работа насоса, подключенного к сети	367
6.3.2. Насосы	367
Центробежные насосы	367
Грязевые, фекальные насосы и насосы для сточных вод	379
Вихревые насосы	388
Центробежно-вихревые насосы	389
Поршневые и роторные насосы	389
Шестеренные насосы	390
Способы регулирования производительности насосов объемного типа	391

6.3.3. Компрессорные машины 392	6.6.9. Реализация и компоновка установок гидротранспорта 504
Основные понятия. Назначение и области применения компрессорных машин..... 392	Литература 510
Устройство компрессорных машин 394	6.7. Барботажные аппараты 511
Конструкции вентиляторов..... 398	6.7.1. Барботажные колонны..... 512
Элементы теории компрессорных машин..... 403	6.7.2. Барботажные газлифтные аппараты..... 519
Регулирование производительности компрессорных машин..... 404	6.7.3. Барботажные аппараты с механическими перемешивающими устройствами 523
6.3.4. Общие сведения о струйных аппаратах 405	6.7.4. Барботажные аппараты с инжектированием и диспергированием газа струями жидкости..... 529
6.3.5. Струйные аппараты для пневмотранспорта зернистых материалов и жидкости..... 407	Литература 532
6.3.6. Струйные однофазные насосы 418	6.8. Пленочные аппараты 534
6.3.7. Струйные аппараты для гидротранспорта зернистых материалов 424	6.8.1. Аппараты со стекающей пленкой..... 535
6.3.8. Жидкостно-газовые струйные аппараты 425	6.8.2. Аппараты с восходящей пленкой 541
Литература 427	6.8.3. Аппараты с закрученным газо-жидкостным потокком 545
6.4. Хранение и перевозка зернистых материалов 429	6.8.4. Роторные пленочные аппараты 549
6.4.1. Давление материала на стенки сосудов и элементы аппаратов 429	Литература 553
6.4.2. Явления сводо- и трубообразования 430	6.9. Контактные аппараты с неподвижным и взвешенным зернистым слоем..... 554
6.4.3. Истечение из отверстий сосудов 433	6.9.1. Общая характеристика зернистых слоев 555
6.4.4. Перевозка зернистых материалов в транспортных емкостях 435	6.9.2. Конструкции аппаратов с неподвижным зернистым слоем 559
Литература 439	6.9.3. Особенности аппаратов с насадками 562
6.5. Конвейерный транспорт 439	6.9.4. Неоднородности в аппаратах с плотным зернистым слоем 566
6.5.1. Классификация и область применения 439	6.9.5. Движение газо-жидкостных потоков через слой насадки 568
6.5.2. Ленточные конвейеры 442	6.9.6. Режимы работы аппаратов с взвешенным зернистым слоем 578
6.5.3. Пластинчатые конвейеры 450	6.9.7. Псевдооживление под воздействием колебаний 583
6.5.4. Скребокковые конвейеры..... 452	6.9.8. Конструкции аппаратов взвешенного слоя ... 585
6.5.5. Грузоведущие и подвесные конвейеры..... 454	Литература 589
6.5.6. Ковшовые элеваторы 456	6.10. Перспективы применения резонансных пульсационных воздействий в процессах и аппаратах 590
6.5.7. Вертикальные конвейеры 457	6.10.1. Введение 591
6.5.8. Конвейеры без тягового элемента 464	6.10.2. Нестационарная гидродинамика 592
6.5.9. Рекомендации к проектированию и расчету 467	6.10.3. Капиллярная нестационарная гидродинамика 595
6.5.10. Питатели 469	6.10.4. Колебания поверхности капель и пузырей.... 598
Литература 471	6.10.5. Гидродинамика стоячих волн в газосодержащих многофазных средах 599
6.6. Пневматический и гидравлический транспорт зернистых материалов 472	6.10.6. Принципы создания пульсационных резонансных аппаратов 601
6.6.1. Способы организации пневмотранспортных процессов и их аппаратурное оформление 472	Литература 603
6.6.2. Устройства для забора материала из насыпи 475	
6.6.3. Питатели и затворы с запирающим слоем материала 478	Раздел 7. Методы математического моделирования
6.6.4. Шлюзовые и винтовые питатели 479	7.1. Формальные математические модели 605
6.6.5. Камерные питатели..... 484	7.1.1. Основные понятия и характеристики..... 605
6.6.6. Минимальная скорость транспортирования. Максимальная концентрация материала. Завал 489	7.1.2. Полный факторный эксперимент 607
6.6.7. Аэрожелобы..... 494	
6.6.8. Реализация и компоновка пневмотранспортных установок 495	

7.1.3.	Дробный факторный эксперимент.....	611	7.6.	Моделирование кинетики сложной газо-жидкостной реакции.....	699
7.1.4.	Планы второго порядка	611	Литература	701	
7.1.5.	Составление формальных математических моделей в нестационарных условиях	615			
7.1.6.	Анализ и исследование статистических моделей в области высокой кривизны поверхности отклика.....	618	Раздел 8. Процессы диспергирования		
7.1.7.	Формальные математические модели множественной регрессии	621	8.1.	Образование капель и пузырей в объеме сплошной среды	705
7.2.	Математические модели структуры потокоток	622	8.1.1.	Образование капель и пузырей при истечении диспергируемой среды из одиночных отверстий и сопел	706
7.2.1.	Исследование структуры потокоток	622	8.1.2.	Капиллярная неустойчивость жидкой струи.....	712
7.2.2.	Основные характеристики распределения элементов потока по времени пребывания в аппарате.....	625	8.1.3.	Диспергирование капель и пузырей в сдвиговом поле.....	714
7.2.3.	Влияние структуры потокоток на степень завершенности физико-химических процессов	626	8.1.4.	Образование капель и пузырей при гидродинамической неустойчивости границы раздела фаз	714
7.2.4.	Модели идеального смешения и идеального вытеснения.....	628	8.1.5.	Диспергирование капель и пузырей под действием турбулентных пульсаций	716
7.2.5.	Диффузионная модель	630	8.1.6.	Дробление капель и пузырей при совместном действии нескольких механизмов диспергирования.....	718
7.2.6.	Ячеечная модель	633	8.1.7.	Дробление пузырей и капель в аппаратах с мешалками	720
7.2.7.	Комбинированные модели	638	8.2.	Введение в процессы диспергирования твердых тел	721
7.2.8.	Волновая модель продольного перемешивания	640	8.2.1.	Назначение операций диспергирования твердых тел.....	721
7.3.	Моделирование на основе марковских процессов	645	8.2.2.	Степень сокращения крупности	722
7.3.1.	Стохастические модели	645	8.2.3.	Стадии и схемы дробления и измельчения ...	722
7.3.2.	Цепи Маркова.....	649	8.2.4.	Механические свойства горных пород	723
7.3.3.	Процессы Маркова с непрерывным временем	652	8.2.5.	Законы дробления.....	726
7.3.4.	Моделирование структур потокоток с использованием цепей Маркова.....	655	8.2.6.	Принципы селективного раскрытия минералов	727
7.4.	Метод Монте-Карло в инженерном приложении	661	8.3.	Дробление твердых материалов	729
7.4.1.	Общие представления о методе	661	8.3.1.	Эволюционное развитие приемов дробления	729
7.4.2.	Получение и преобразование случайных величин на ЭВМ.....	661	8.3.2.	Валковые дробилки и прессы	734
7.4.3.	Применение метода Монте-Карло при проектировании технологического оборудования	662	8.3.3.	Щековые дробилки	739
7.4.4.	Исследование волновой модели продольного перемешивания методом Монте-Карло.....	665	8.3.4.	Конусные дробилки	742
7.5.	Стохастическое моделирование дисперсных систем	671	8.3.5.	Сравнительная характеристика эксцентриковых и вибрационных дробилок	750
7.5.1.	Дисперсные системы	671	8.3.6.	Дробилки ударного действия	751
7.5.2.	Фрактальная размерность дисперсной системы	673	8.4.	Измельчение твердых материалов	759
7.5.3.	Кинетическое уравнение ансамбля дисперсных частиц.....	682	8.4.1.	Эволюционное развитие приемов измельчения.....	759
7.5.4.	Модель динамики ансамбля дисперсных частиц как неоднородная цепь Маркова.....	685	8.4.2.	Измельчители раздавливающего и истирающего действия	763
7.5.5.	Примеры построения стохастических моделей	689	8.4.3.	Вибрационные и планетарные мельницы.....	768
			8.4.4.	Мельницы ударного действия	771
			8.4.5.	Барабанные мельницы (конструкции и основные характеристики).....	775
			8.4.6.	Технология измельчения в барабанных мельницах	788

8.4.7. Производительность барабанных мельниц....	799	8.6. Измельчение в процессах переработки полимеров	814
8.5. Механическая активация при диспергировании твердых материалов ...	803	8.6.1. Общие положения.....	814
8.5.1. Сущность механической активации материалов и области ее использования	803	8.6.2. Основное оборудование для измельчения.....	815
8.5.2. Характеристика физико-химических эффектов на поверхности твердого тела	805	8.6.3. Экструзионные агрегаты для гранулирования	818
8.5.3. Изменение внутренней энергии при диспергировании.....	807	8.6.4. Агломерация термопластичных отходов	820
8.5.4. Реакционная способность активированных твердых материалов	808	8.6.5. Технологические линии для измельчения отходов пластмасс	821
8.5.5. Физические процессы, инициированные измельчением	809	8.6.6. Оборудование для измельчения в технологических линиях переработки отходов резины	823
8.5.6. Механохимические реакции, инициированные измельчением	810	8.7. Образование дисперсной фазы конденсацией и коагуляцией	825
8.5.7. Основные направления интенсификации технологических процессов с использованием механохимии	811	8.7.1. Фазовый переход жидкость—пар.....	825
8.5.8. Технические средства процессов активации	813	8.7.2. Гомогенное зародышеобразование	826
		8.7.3. Коагуляция монодисперсных сферических частиц. Приближение Смолуховского.....	829
		8.7.4. Особенности коагуляции в движущейся среде	831
		Литература	832

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3	10.1.3. Принципы осаждения в тонкослойных отстойниках	71
Раздел 9. Классификация дисперсных частиц		10.1.4. Конструкции тонкослойных отстойников.....	76
9.1. Грохочение	5	Литература	79
9.1.1. Общие сведения. Просеивающая поверхность	5	10.1.5. Коагуляция.....	80
9.1.2. Способы определения гранулометрического состава. Ситовый анализ	9	Литература	83
9.1.3. Факторы, влияющие на процесс грохочения.....	12	10.2. Процессы фильтрационной консолидации.....	83
9.1.4. Кинетика процесса грохочения	14	10.2.1. Фильтрационная консолидация осадков	83
9.1.5. Классификация грохотов	15	Литература	97
9.1.6. Вибрационные грохоты, их классификация	17	10.2.2. Истечение жидкости из пен.....	98
9.1.7. Горизонтальные качающиеся грохоты	20	Литература	103
9.1.8. Расчет производительности вибрационных грохотов с круговыми вибрациями	20	10.2.3. Уплотнение порошкообразных материалов	103
9.1.9. Гидравлические грохоты тонкого грохочения.....	25	Литература	105
9.1.10. Влияние конструкции ситовых тканей на показатели гидравлического грохочения.....	32	10.3. Выделение дисперсной фазы из газовых потоков.....	105
9.1.11. Вероятностные грохоты	34	10.3.1. Выделение дисперсной фазы в осадительных камерах	107
Литература	34	10.3.2. Инерционные пылеуловители	111
9.2. Фракционирование дисперсных частиц в потоках жидкости	34	10.3.3. Выделение дисперсной фазы в центробежном поле	112
9.2.1. Седиментационный анализ	35	10.3.3.1. Циклоны	112
9.2.2. Моделирование процессов осаждения в емкостных аппаратах.....	36	10.3.3.2. Вихревые пылеуловители	120
Литература	39	10.3.3.3. Ротационные (динамические) пылеуловители.....	122
9.2.3. Основные принципы классификации	39	10.3.4. Выделение дисперсной фазы из газовых потоков в фильтрах	123
9.2.4. Аппараты для гравитационного разделения	40	10.3.4.1. Тканевые фильтры.....	124
9.2.5. Аппараты для разделения в инерционном поле	45	10.3.4.2. Волокнистые фильтры	127
9.2.6. Рекомендации по выбору и расчету гидравлических классификаторов.....	49	10.3.4.3. Зернистые фильтры	129
9.2.7. Рекомендации по выбору технологических схем измельчения и классификации	55	10.3.5. Выделение дисперсной фазы в аппаратах «мокрого» типа	130
Литература	60	10.3.5.1. Полые газопромыватели	131
Раздел 10. Осаждение дисперсной фазы из жидкостей и газов		10.3.5.2. Насадочные газопромыватели.....	132
10.1. Осаждение дисперсной фазы из жидкостных потоков.....	61	10.3.5.3. Тарельчатые газопромыватели (барботажные, пенные).....	133
10.1.1. Сгущение.....	61	10.3.5.4. Газопромыватели с подвижной насадкой	134
Литература	68	10.3.5.5. Газопромыватели ударно-инерционного действия	136
10.1.2. Математическое моделирование гравитационного осаждения в гидросгустителе	68	10.3.5.6. Газопромыватели центробежного действия	137
Литература	71	10.3.5.7. Скоростные газопромыватели (скрубберы Вентури).....	139
		Литература	141
		10.4. Осаждение частиц в электрофильтрах	141
		10.4.1. Коронный разряд и зарядка аэрозольных частиц в электрическом поле	142
		10.4.2. Факторы, влияющие на движение частиц в электрофильтре	145

10.4.2.1. Сопротивление среды.....	145	Раздел 11. Выпаривание	
10.4.2.2. Влияние силы тяжести	145	11.1. Теория выпарных аппаратов	179
10.4.2.3. Электрический ветер	145	11.1.1. Классификация выпарных аппаратов.....	179
10.4.2.4. Турбулентная диффузия	146	11.1.2. Материальный баланс выпарных аппаратов.....	181
10.4.2.5. Миграционная сила	146	11.1.3. Тепловой баланс выпарных аппаратов.....	181
10.4.3. Эффективность пылеулавливания в электрофильтре	146	11.1.4. Гидродинамика выпарных аппаратов.....	182
10.4.3.1. Влияние неравномерности поля скоростей газового потока на эффективность пылеулавливания	147	11.1.5. Теплопередача в выпарных аппаратах	184
10.4.3.2. Влияние неоднородности электрического поля на эффективность пылеулавливания	147	11.2. Расчет выпарных аппаратов	186
10.4.3.3. Факторы, определяющие унос пыли из электрофильтра	149	11.2.1. Выпарные аппараты с естественной циркуляцией.....	186
10.4.4. Пути снижения выбросов пыли из электрофильтров	150	11.2.2. Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией.....	192
10.4.4.1. Распределение газовых потоков в системе коронирующих и осадительных электродов, устройства ввода и вывода газа	151	11.2.3. Выпарные аппараты пленочного типа.....	193
10.4.4.2. Оптимизация режима встряхивания осадительных электродов	152	11.2.4. Выпарные аппараты прочих конструкций и общие особенности расчета выпарных аппаратов.....	198
10.4.4.3. Импульсное питание электрофильтра	152	11.3. Многокорпусные выпарные установки (МВУ).....	198
10.4.4.4. Типы осадительных и коронирующих электродов	153	11.3.1. Формирование технологических схем МВУ.....	198
10.4.5. Практические конструкции электрофильтров.....	154	11.3.2. Расчет МВУ	201
Литература	154	11.3.3. Оптимизация, проектирование и особенности эксплуатации МВУ	203
10.5. Флотация	154	11.3.4. МВУ с термокомпрессией	205
10.5.1. Общие сведения.....	154	Литература	209
10.5.2. Теоретические основы флотации	156	Раздел 12. Сушка	
10.5.2.1. Термодинамический анализ возможности прилипания частицы к пузырьку газа.....	156	12.1. Статика процессов сушки.....	210
10.5.2.2. Физические основы минерализации пузырьков	157	12.1.1. Параметры и диаграмма состояния влажного воздуха	210
10.5.2.3. Столкновение частиц с пузырьками	157	12.1.2. Материальные и тепловые балансы конвективной сушки	212
10.5.2.4. Закрепление частиц на пузырьках	160	12.1.3. Основные варианты использования сушильного агента	213
10.5.2.5. Удержание частиц на пузырьках до выноса в пенный слой	160	12.1.4. О равновесном влагосодержании материалов	214
10.5.2.6. Удержание частиц в слое пены	161	12.1.5. Об экспериментальном определении параметров влажного материала и сушильного агента	215
10.5.2.7. Кинетика флотации в машинах периодического действия.....	161	12.2. Кинетика процессов сушки	215
10.5.2.8. Флотация не влияющих друг на друга частиц различной флотируемости.....	161	12.2.1. Внутренний перенос влаги и теплоты.....	215
10.5.2.9. Кинетика флотации в машинах непрерывного действия.....	162	12.2.2. Внешний тепломассообмен.....	216
10.5.2.10. Кинетика флотации в пневматической машине.....	163	12.2.3. Экспериментальная кинетика сушки.....	218
10.5.2.11. Кинетика флотации в <i>n</i> -камерной импеллерной машине, состоящей из полностью изолированных камер с идеальным перемешиванием	163	12.3. Расчеты кинетики процессов в сушильных аппаратах.....	221
10.5.3. Механические флотаторы	163	12.3.1. Неподвижный фильтруемый слой дисперсного материала. Перекрестное движение	221
10.5.4. Пневматические флотаторы	166	12.3.2. Движущийся слой дисперсного материала	223
10.5.5. Флотаторы с выделением газа из раствора	169	12.3.3. Пневматическая сушка	225
10.5.6. Электрофлотаторы.....	175	12.3.4. Сушка в закрученных потоках	226
Литература	177	12.3.5. Сушка в псевдооживленном слое	229
		12.3.6. Фонтанирующий слой.....	234
		12.3.7. Сушка жидкостей и паст в условиях псевдооживления.....	236
		12.3.8. Распылительная сушка.....	238
		12.4. Конструкции сушильных аппаратов.....	240

12.4.1.	Конвективные сушилки	240	14.1.1.9.	Аппаратурное оформление процесса кристаллизации на охлаждаемых поверхностях.....	319
12.4.2.	Контактные сушилки.....	244	14.1.2.	Фракционное выплавление.....	321
12.4.3.	Специальные методы сушки.....	245	14.1.2.1.	Различные варианты процесса фракционного выплавления	321
12.4.4.	Вспомогательное оборудование.....	246	14.1.2.2.	Математическая модель фракционного выплавления.....	322
Литература		247	14.1.2.3.	Аппаратурное оформление процесса фракционного выплавления	324
Раздел 13. Адсорбция			Литература		327
13.1.	Материалы для адсорбционных процессов.....	249	14.2.	Кристаллизация из растворов.....	330
13.1.1.	Физико-химические основы адсорбционных процессов.....	249	14.2.1.	Обобщенная постановка задачи. Основные характеристики массовой кристаллизации.....	331
13.1.2.	Виды промышленных адсорбентов, их основные характеристики и классификация	251	14.2.2.	Зарождение и рост кристаллической фазы	331
13.1.3.	Адсорбенты с модифицированной поверхностью	254	14.2.3.	Математическое описание процесса массовой кристаллизации	334
13.1.4.	Методы получения и области применения адсорбентов	257	14.2.4.	Периодическая массовая кристаллизация	337
13.2.	Аппаратурное оформление адсорбционных процессов.....	282	14.2.5.	Непрерывная кристаллизация из растворов	345
13.2.1.	Адсорберы периодического действия (вертикальный, горизонтальный, кольцевой, с теплообменными элементами, с прижимными устройствами).....	282	14.2.6.	Аппаратурное оформление процессов выделения твердой фазы из растворов (емкостные аппараты, вакуум-кристаллизаторы, колонные аппараты)	351
13.2.2.	Адсорберы непрерывного действия с движущимся слоем адсорбента	286	14.3.	Вымораживание.....	355
13.3.	Типовые схемы использования адсорбционных процессов	286	14.3.1.	Области применения и конструкции барабанных морозильных аппаратов.....	355
13.3.1.	Осушка газов и органических жидкостей.....	286	Литература		363
13.3.2.	Очистка промышленных газов.....	294	14.3.2.	Физические и математические основы описания процесса затвердевания материала	363
13.3.3.	Очистка воды	296	14.3.3.	Особенности процесса тонкослойного замораживания.....	364
Литература		299	14.3.4.	Расчет теплообмена при тонкослойном замораживании на вымораживающем барабане	365
Раздел 14. Кристаллизация			14.3.5.	Методика расчета вымораживающего барабана для процесса непрерывного замораживания в тонком слое.....	367
14.1.	Кристаллизация из расплавов.....	300	Литература		370
14.1.1.	Процесс фракционной кристаллизации из расплавов	300	Раздел 15. Мембранные процессы разделения		
14.1.1.1.	Различные способы и особенности процесса массовой кристаллизации	302	15.1.	Мембраны	374
14.1.1.2.	Подходы к математическому описанию процесса массовой кристаллизации	303	15.1.1.	Основные свойства мембран	374
14.1.1.3.	Аппаратурное оформление процесса массовой кристаллизации	305	15.1.2.	Факторы, влияющие на мембранные процессы	378
14.1.1.4.	Процесс противоточной фракционной кристаллизации из расплавов	310	15.1.3.	Концентрационная поляризация	381
14.1.1.5.	Математические модели процесса противоточной кристаллизации	311	15.2.	Механизмы мембранного массопереноса.....	383
14.1.1.6.	Аппаратурное оформление процесса противоточной фракционной кристаллизации из расплавов	313	15.2.1.	Взаимодействие разделяемой системы с мембраной	383
14.1.1.7.	Особенности процесса фракционной кристаллизации из расплавов на охлаждаемых поверхностях.....	316	15.2.2.	Разделение полимерными мембранами жидких сред	385
14.1.1.8.	Математическое описание основных параметров процесса фракционной кристаллизации на охлаждаемых поверхностях (с образованием поверхности раздела фаз)	316	15.3.	Аппараты для мембранного разделения жидких сред	388

15.3.1.	Аппараты с плоскими мембранными элементами.....	389	Литература.....	455
15.3.2.	Аппараты с трубчатыми мембранными элементами.....	390	16.2.	Экстрагирование.....
15.3.3.	Аппараты с рулонными мембранными элементами.....	394	16.2.1.	Диффузионные модели экстрагирования
15.3.4.	Разделительные аппараты на основе полых волокон.....	395	растворенных и твердых веществ.....	456
15.3.5.	Расчет аппаратов мембранного разделения жидких сред.....	397	16.2.1.1.	Извлечение вещества из капилляров.....
15.4.	Установки мембранного разделения жидких сред.....	402	16.2.1.2.	Извлечение вещества из капиллярно-пористых тел.....
15.4.1.	Установки обратного осмоса.....	402	16.2.1.3.	Извлечение вещества из слоя капиллярно-пористых тел.....
15.4.2.	Установки ультрафильтрации.....	407	16.2.2.	Диффузионно-конвективные режимы экстрагирования.....
15.4.3.	Установки микрофильтрационные.....	413	16.2.2.1.	Модели экстрагирования из пористых частиц в диффузионно-конвективном режиме.....
15.5.	Мембранное разделение газов.....	417	16.2.2.2.	Моделирование процесса экстрагирования из капиллярно-пористой частицы с бидисперсной структурой.....
15.5.1.	Мембраны для разделения газовых смесей. Транспорт через пористые и непористые мембраны.....	417	16.2.3.	Инженерные методы расчета процесса экстрагирования.....
15.5.2.	Приближенный метод расчета мембранного модуля для разделения газов.....	420	16.2.3.1.	Расчет теоретических ступеней экстрагирования.....
15.5.3.	Одноступенчатые и многоступенчатые мембранные газоразделительные установки.....	422	16.2.3.2.	Интервальные методы расчета.....
15.5.4.	Практическое применение мембранного разделения газовых смесей.....	426	16.2.3.3.	Применение инвариантных кинетических функций.....
15.6.	Испарение через мембрану и мембранная дистилляция.....	430	16.2.3.4.	Энергетический подход к описанию экспериментальных данных по кинетике экстрагирования.....
15.6.1.	Испарение через мембрану чистых жидкостей и смесей жидкостей. Мембраны, используемые для осуществления процесса испарения через мембрану.....	430	16.2.4.	Аппаратурно-технологическое оформление процесса.....
15.6.2.	Расчет процесса испарения через мембран.....	433	16.2.4.1.	Методы интенсификации процесса экстрагирования.....
15.6.3.	Практическое применение процесса испарения через мембрану.....	434	16.2.4.2.	Аппараты для экстрагирования.....
15.6.4.	Мембранная дистилляция.....	435	Литература.....	518
Литература.....		438	Раздел 17. Химическая кинетика	
15.7.	Диализ и электродиализ.....	438	17.1.	Основные понятия и определения.....
15.7.1.	Диализ.....	438	17.1.1.	Классификация и терминология.....
15.7.2.	Электродиализ.....	439	17.1.2.	Скорость химической реакции.....
Литература.....		441	17.1.3.	Кинетическое уравнение химического процесса.....
Раздел 16. Растворение и экстрагирование в системе твердое тело—жидкость			17.1.4.	Закон Аррениуса. Энергия активации.....
16.1.	Растворение твердых частиц в жидкости.....	444	17.2.	Расчет скоростей элементарных реакций. Теория переходного состояния.....
16.1.1.	Кинетика растворения.....	444	17.2.1.	Элементарные химические реакции.....
16.1.2.	Материальный и тепловой балансы процессов растворения.....	446	17.2.2.	Теория переходного состояния.....
16.1.3.	Методы расчета, основанные на кинетике растворения индивидуальных частиц.....	446	17.2.3.	Границы применимости теории переходного состояния.....
16.1.4.	Метод расчета, основанный на экспериментальных данных по кинетике растворения представительных проб полидисперсного материала (применение инвариантных кинетических функций).....	451	17.2.4.	Схема мономолекулярной реакции.....
16.1.5.	Аппараты для растворения твердых веществ в жидкостях.....	453	17.2.5.	Химические реакции сталкивающихся частиц.....
			17.3.	Кинетика сложных реакций.....
			17.3.1.	Обратимые реакции.....
			17.3.2.	Параллельные реакции.....
			17.3.3.	Конкурирующие реакции.....
			17.3.4.	Последовательные реакции.....
			17.3.5.	Последовательно-параллельные реакции.....
			17.3.6.	Последовательные реакции с равновесными стадиями.....

17.4.	Кинетика гетерогенно-каталитических реакций	540	18.5.1.	Основные понятия, используемые при исследовании устойчивости химических реакторов	573
17.4.1.	Основные понятия	540	18.5.2.	Исследование реактора на устойчивость к малым возмущениям	574
17.4.2.	Дефекты структуры кристаллов	541	18.5.3.	Классификация положений равновесия динамических систем	574
17.4.3.	Адсорбция	541	18.5.4.	Устойчивость к малым возмущениям стационарных состояний реакторов	577
17.4.4.	Изотерма адсорбции	542	18.5.5.	Исследование устойчивости реакторов вторым методом Ляпунова	579
17.4.5.	Кинетика реакций на однородных поверхностях. Ленгмюровская кинетика	543	18.6.	Основные конструктивные типы реакторов	580
17.4.6.	Катализ металлами	545	18.6.1.	Обоснование выбора реакционного аппарата	580
17.4.7.	Особенности химической реакции в системе газ—жидкость	545	18.6.2.	Примеры конструктивного исполнения для химических реакторов различных типов	581
Литература	546	18.6.2.1.	Реакторы для проведения гомогенных реакций в газовой фазе	581	
Раздел 18. Химические реакторы			18.6.2.2.	Реакторы для проведения гомогенных реакций в жидкой фазе	583
18.1.	Классификация реакторов. Терминология	548	18.6.2.3.	Реакторы для проведения гетерогенных реакций в системе газ—жидкость	583
18.2.	Структура потоков и распределение времени пребывания в аппаратах	549	18.6.2.4.	Реакторы для проведения гетерогенных реакций в системе газ—твердое тело	584
18.2.1.	Функция распределения частиц по времени пребывания	549	18.6.2.5.	Реакторы для проведения гетерогенных реакций в жидкой фазе	585
18.2.2.	Модель идеального вытеснения	549	Литература	586	
18.2.3.	Модель идеального смешения	549	Раздел 19. Высокотемпературные реакторы (печи)		
18.2.4.	Диффузионная модель	549	19.1.	Камерные и проходные печи	589
18.2.5.	Распределения времени пребывания в трубчатых аппаратах	550	19.1.1.	Тепловой расчет электрических печей сопротивления	589
18.3.	Моделирование реакторов для проведения гомогенных процессов	550	Литература	600	
18.3.1.	Понятие лимитирующей стадии процесса	550	19.1.2.	Расчет и конструирование нагревательных элементов	600
18.3.2.	Материальный баланс реактора	552	19.1.3.	Типовые конструкции камерных и проходных печей	611
18.3.3.	Тепловой баланс реактора	552	19.1.3.1.	Камерные печи	611
18.3.4.	Преобразование уравнений к безразмерным переменным	553	19.1.3.2.	Проходные печи	612
18.4.	Моделирование реакторов для проведения гетерогенных процессов	557	19.1.3.3.	Топливосжигающие устройства	617
18.4.1.	Типы газожидкостных реакторов	557	Литература	622	
18.4.2.	Реакторы барботажные	557	19.1.4.	Особенности тепловой работы печей, основы их расчета	622
18.4.3.	Реакторы с механическим диспергированием газа	558	19.2.	Руднотермические печи	636
18.4.4.	Реакторы пленочные	559	19.2.1.	Печи для производства карбида кальция	636
18.4.5.	Реакционные процессы в системах газ—твердое	561	19.2.2.	Печи для производства желтого фосфора	638
18.4.5.1.	Феноменологическая теория топахимических реакций	561	19.2.3.	Печи для выплавки электрокорунда	645
18.4.5.2.	Кинетика образования ядер фаз твердого продукта	562	19.2.4.	Выбор рабочих токов, напряжений и геометрических размеров ванн руднотермических печей	646
18.4.5.3.	Закономерности реакции в целом	564	19.2.5.	Печи для производства карбида кремния	649
18.4.6.	Гетерогенно-каталитические реакторы	566			
18.4.6.1.	Общие сведения. Моделирование реакторов для проведения гетерогенно-каталитических процессов	566			
18.4.6.2.	Основные закономерности массотеплопереноса	566			
18.4.6.3.	Диффузия в пористых катализаторах	567			
18.4.6.4.	Диффузия в цеолитах	569			
18.4.6.5.	Теплопроводность пористого катализатора	569			
18.4.6.6.	Основные уравнения макрокинетики	570			
18.5.	Устойчивость химических реакторов	573			

19.2.6.	Печи графитации	651	20.2.	Обеспечение и поддержание надежности объекта	717
19.2.7.	О режимах работы руднотермических печей	652	20.2.1.	Обеспечение надежности объекта на стадии проектирования	717
Литература		653	20.2.2.	Обеспечения надежности объекта на стадии изготовления	730
19.3.	Вращающиеся печи для производства строительных материалов	653	20.2.3.	Поддержание надежности объекта на стадии эксплуатации	733
19.3.1.	Вращающиеся печи для производства цементного клинкера	653	20.2.4.	Восстановление, стратегия и тактика технического обслуживания (ремонта)	737
19.3.2.	Типовые конструкции вращающихся печей	655	20.3.	Анализ надежности химико-технологических объектов (систем)	751
19.3.2.1.	Теплообменные устройства печей мокрого способа производства	655	20.3.1.	Структурно-логический анализ систем	752
19.3.2.2.	Встроенные теплообменники	656	20.3.2.	Методы расчета структурной надежности систем	754
19.3.2.3.	Теплообменники печей сухого способа производства	656	20.3.3.	Методы повышения надежности систем	759
19.3.3.	Теплообменники и вращающиеся печи для огнеупоров	657	Литература		776
19.3.4.	Холодильники вращающихся печей	659	Приложение П20		778
19.3.5.	Холодильники печей для производства огнеупоров	660	Приложение. Справочник по молекулярной диффузии в системах газ—жидкость и жидкость—жидкость		785
19.3.6.	Печи кипящего слоя и циклонные печи	660	1.	Диффузия газов в жидкостях	788
19.3.7.	Принципы расчета при проектировании вращающихся печей	661	1.1.	Основные уравнения для расчета коэффициента молекулярной диффузии газов в жидкостях	788
Литература		665	1.2.	Экспериментальные методы определения коэффициентов молекулярной диффузии растворенных газов в жидкостях	797
19.4.	Общие принципы работы и классификация плазмохимических реакторов	665	1.3.	Экспериментальные значения коэффициентов молекулярной диффузии растворенных газов в жидкостях	814
19.4.1.	Струйные реакторы с электродуговыми плазмотронами	668	2.	Диффузия жидкостей в жидких средах	824
19.4.2.	Струйные реакторы с ВЧ-плазмотронами	671	2.1.	Основные уравнения для расчетов коэффициента молекулярной диффузии в системе жидкость—жидкость	824
19.4.3.	Объемные реакторы	671	2.2.	Экспериментальные методы определения коэффициентов молекулярной диффузии в системе жидкость—жидкость	837
19.4.4.	Расчет исходных данных для проектирования плазмохимического реактора	672	2.3.	Экспериментальные значения коэффициентов молекулярной диффузии в системе жидкость—жидкость	848
Литература		672	Дополнение 1		896
Раздел 20. Надежность технологических процессов и установок			Дополнение 2		901
20.1.	Теория надежности	675	Литература		901
20.1.1.	Общие понятия надежности	675			
20.1.2.	Классификация отказов	679			
20.1.3.	Классификация случайных величин и функций (законов) распределения	682			
20.1.4.	Показатели надежности объектов	690			
20.1.5.	Расчет показателей надежности химико-технологических объектов	702			