

В. С. РОМАНКОВ
В. Ф. ФРОЛОВ
В. М. ФАКСОВ

МАССОБЪЕМНЫЕ
ПРОЦЕССЫ
ХИМИЧЕСКОЙ
ТЕХНОЛОГИИ



КНИМАЗДАТ

П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк

МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

*Рекомендовано Редакционно-издательским советом
Санкт-Петербургского государственного технологического
института (технического университета)
в качестве учебного пособия для вузов*

Под редакцией профессора В. Ф. Фролова



Санкт-Петербург
ХИМИЗДАТ
2011

УДК 66.02(076.1)
Р 692

*Издание выпущено при поддержке
Комитета по печати и взаимодействию
со средствами массовой информации
Санкт-Петербурга*

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. *И. В. Доманский*;
д-р техн. наук, проф. *С. П. Налимов*

Романков П. Г., Фролов В. Ф., Флисюк О. М.

Р 692 Массообменные процессы химической технологии:
Учеб. пособие. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. – 440 с., ил.
ISBN 978-5-93808-194-9

Рассмотрены физические основы, математические описания и методы расчета важнейших массообменных процессов, происходящих в системах с дисперсной твердой фазой: растворение, экстрагирование, кристаллизация, адсорбция, сушка, гранулирование. Анализируется кинетика массообмена применительно к индивидуальной частице и взаимодействию потока сплошной фазы и ансамбля частиц. Учены последние достижения в области массообменных процессов, приведены примеры, иллюстрирующие методы расчета массообменных аппаратов.

Для студентов, аспирантов и преподавателей вузов. Полезна для научных работников и инженеров химической и смежных отраслей промышленности.

Р $\frac{2802000000-03}{050(01)-11}$ Без объявл.

ISBN 978-5-93808-194-9

© П. Г. Романков, В. Ф. Фролов,
О. М. Флисюк, 2011

© ХИМИЗДАТ, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глава 1. Общие вопросы массопередачи	7
1.1. Основы гидродинамики	7
1.2. Массообмен компонентом между потоком и поверхностью	21
Уравнение конвективно-диффузионного переноса	24
Массообмен в пограничном слое	31
1.3. Процессы переноса в капиллярно-пористых материалах	50
Элементарные процессы переноса	51
Эффективная диффузия	58
Об экспериментальном определении коэффициента эффективной диффузии	66
Модель послойной отработки	70
1.4. Поведение фаз в массообменных аппаратах	76
Движение дисперсной и сплошной фаз	76
Время пребывания фаз	84
Псевдооживленный слой	88
1.5. Принципы расчета массообменных аппаратов	92
Неподвижный слой дисперсного материала	94
Движущийся слой	98
Полное перемешивание фаз	100
Об оптимизации работы и масштабирования массообменных аппаратов	106
<i>Библиографический список</i>	108
Глава 2. Растворение и экстрагирование	110
2.1. Растворение полностью растворимых веществ	110
Растворение частицы	112
Массовое растворение	117
Расчет коэффициентов массоотдачи	126
Экспериментальная кинетика растворения	128
2.2. Экстрагирование твердых включений	140
Послойное экстрагирование	141
Экспериментальная кинетика	150
2.3. Экстрагирование растворенного вещества	158
Диффузионное извлечение	158
Экспериментальная кинетика экстрагирования	166
О численных методах расчета	167
Об определении коэффициентов эффективной диффузии	169
<i>Библиографический список</i>	171
Глава 3. Кристаллизация из растворов	173
3.1. Кинетика кристаллизации	173
Образование зародышей	173
Рост кристаллов	176
3.2. Массовая кристаллизация	178
Периодический процесс	182
Непрерывный процесс	191

3.3. Об экспериментальном изучении кинетики кристаллизации	211
<i>Библиографический список</i>	216
Глава 4. Адсорбция газов и паров	218
4.1. Адсорбенты	219
4.2. Адсорбционное равновесие	221
4.3. Кинетика адсорбции частицей адсорбента	221
Линейная изотерма адсорбции	227
Послойная отработка адсорбента	231
Нелинейная кинетика адсорбции	234
Внешний массообмен	236
4.4. Определение коэффициентов эффективной диффузии	237
4.5. Экспериментальная кинетика адсорбции	239
4.6. Расчет адсорбционных процессов	243
Периодический процесс	243
Непрерывный процесс	257
4.7. Десорбционные процессы	278
<i>Библиографический список</i>	281
Глава 5. Термическая сушка	283
5.1. Внешний тепломассообмен	284
5.2. Внутренний влаго- и теплоперенос	287
5.3. Упрощенные модели кинетики сушки частицы	294
5.4. Экспериментальные данные по кинетике сушки	302
5.5. Сушка дисперсных материалов	311
Перекрестное движение	311
Прямо- и противоток материала и сушильного агента	323
Пневматическая сушка	334
Сушка в псевдоожиженном слое	342
Сушка в фонтанирующем слое	357
Сушка жидких и пастообразных материалов	377
5.6. Распылительная сушка	385
Расчет по усредненным параметрам	386
Сушка при распределенных параметрах	389
Сушка монодисперсных капель в турбулентной струе	398
<i>Библиографический список</i>	402
Глава 6. Гранулирование во взвешенном слое	407
6.1. Гранулирование без внутренних источников	408
Теория укрупнения гранул в аппаратах ПС	408
Агломерация частиц	417
Нанесение пленочных покрытий	418
Гранулирование суспензий пластичного материала	421
Гранулирование порошков на каплях раствора	424
Гранулирование из пылеобразного материала	429
6.2. Гранулирование с внутренними источниками	431
Термическое дробление гранул	431
Об общей теории дробления гранул	433
<i>Библиографический список</i>	437