

Ю.И. Бабенко, Е.В. Иванов

Экстрагирование

Теория и практические приложения



ИПО «Профессионал»
Санкт-Петербург

ББК 35.113
Б12

Рецензенты: доктор технических наук, профессор О.М. Флисюк,
доктор технических наук, профессор Р.Ш. Абиев

Бабенко Ю.И., Иванов Е.В.

Б12 Экстрагирование. Теория и практические приложения. — СПб.: НПО «Профессионал», 2009. — 336 с.

ISBN 978-5-91259-031-3

Экстрагирование целевых продуктов из пористых материалов — один из важнейших процессов в химической, пищевой и фармацевтической технологиях. Оно применяется в производстве минеральных солей, глинозема, целлюлозы, сахара, при извлечении редких металлов из руд, в гидрометаллургии, производстве лекарств и пищевых добавок из растительного сырья и т. д. Между тем монографии, посвященные этому процессу, не выходили в нашей стране с середины 70-х гг. прошлого века.

Предлагаемая книга представляет собой обобщение работ по теории и практике экстрагирования, проведенных авторами в период с 2000 по 2008 г. Теоретическое рассмотрение предваряется изложением метода дробного дифференцирования, наиболее удобного при исследовании математических моделей, связанных с уравнениями в частных производных эволюционного типа. Затем метод применяется для решения ряда задач, большая часть которых ранее не рассматривались. Во многих случаях полученные результаты сопоставляются с экспериментальными данными, что позволяет сделать определенные выводы о характере протекающих процессов. В целом настоящее исследование посвящено разработке нового научного направления — диффузионно-конвективного экстрагирования целевых продуктов из пористых материалов в аппаратах с интенсивным гидродинамическим режимом.

Ряд процессов химической технологии (пропитка, ионный обмен, адсорбция и др.) отличаются от процесса экстрагирования только направлением массопереноса. Поэтому математические модели, приведенные в книге, могут быть использованы для их описания.

ББК 35.113

ISBN 978-5-91259-031-3

© НПО «Профессионал», 2009
© Ю.И. Бабенко, Е.В. Иванов. 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
1. МЕТОД ДРОБНОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ	9
1.1. Производные и интегралы дробного порядка	9
1.2. Поведение дробной производной вблизи предельных и особых точек.....	13
1.2.1. Выражение дробной производной при малых значениях t	14
1.2.2. Выражение дробной производной при больших значениях t	14
1.2.3. Поведение дробной производной вблизи точки конечного разрыва	16
1.2.4. Поведение дробной производной вблизи сингулярной точки	16
1.3. Метод дробного дифференцирования. Вводные примеры.....	19
1.3.1. Определение граничного градиента.....	19
1.3.2. Определение граничной концентрации	22
1.3.3. Граничное условие третьего рода	23
1.4. Метод дробного дифференцирования. Общий случай	24
1.4.1. Основная формула метода	24
1.4.2. Второй вывод основной формулы.....	28
1.4.3. Случай, когда коэффициенты уравнения зависят только от координаты	31
1.4.4. Случай, когда коэффициенты уравнения зависят только от времени	33
1.4.5. Нахождение решения при больших временах	35
1.5. Метод дробного дифференцирования для конечной области.....	37
1.5.1. Вводный пример	38
1.5.2. Различные условия на границе $x = l$	43
1.6. Уравнения с дробной производной	45
1.6.1. Простейшие линейные уравнения.....	45
1.6.2. Линейные однородные уравнения	46
1.6.3. Линейные неоднородные уравнения.....	46
1.6.4. Линейное неоднородное уравнение с переменным коэффициентом	52
2. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ТЕОРИИ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ДРОБНОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ	55
2.1. Диффузия из полубесконечного капилляра.....	55
2.2. Диффузия из конечного капилляра.....	57
2.3. Экстрагирование из тела с бидисперсной поровой структурой	59

2.3.1. Постановка задачи	60
2.3.2. Определение граничного градиента.....	61
2.3.3. Определение потока на границе.....	63
2.3.4. Определение потока в главном канале	66
2.3.5. Транспортные поры конечной длины	68
2.3.6. Сопоставление теоретических результатов с экспериментальными данными	71
2.4. Экстрагирование из фрактальной системы ветвящихся капилляров	73
2.4.1. Система из пор трех видов.....	74
2.4.2. Система пор n видов.....	75
2.4.3. Фрактальная система пор ($n \rightarrow \infty$).....	76
2.5. Одномерная модель системы ветвящихся капилляров	78
2.5.1. Постановка задачи	78
2.5.2. Степенная зависимость коэффициента переноса от координаты.....	79
2.5.3. Экспоненциальная зависимость коэффициента переноса от координаты	84
2.6. Экстрагирование из тела с застойными зонами	87
2.6.1. Постановка задачи	87
2.6.2. Решение задачи	89
2.6.3. Заключительные замечания	93
2.7. Экстрагирование в замкнутый объем	93
2.7.1. Полубесконечный капилляр	94
2.7.2. Конечный капилляр.....	97
2.7.3. Бидисперсная структура.....	101
2.7.4. Конечный капилляр с полубесконечными ответвлениями.....	104
2.7.5. Сопоставление теоретических результатов с эксперимен- тальными данными	106
2.8. Экстрагирование в движущуюся жидкость	112
2.8.1. Однородный поток жидкости	112
2.8.2. Поток жидкости с градиентом скорости.....	117
2.8.3. Экстрагирование в однородный поток из бидисперсной системы капилляров	127
2.8.4. Экстрагирование при изменяющемся коэффициенте диффузии	130
3. РАЗЛИЧНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ.....	136
3.1. Экстрагирование при единичном воздействии на частицу импульса давления	136
3.2. Экстрагирование при многократном воздействии на пористую частицу точечных импульсов давления	138

3.3. Фильтрационный массоперенос в пористых частицах с заземленным газом при низкочастотном колебании давления в экстракторе	149
3.4. Энергетический подход к описанию кинетики экстрагирования	162
4. МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ	170
4.1. Обзор методов интенсификации процесса экстрагирования	170
4.2. Экстрагирование в аппарате с низкочастотными пульсациями давления	177
4.2.1. Описание экспериментальной установки	177
4.2.2. Динамика вытеснения заземленного воздуха из сырья	179
4.2.3. Влияние технологических параметров на кинетику экстрагирования	182
4.3. Экстрагирование в аппаратах вакуумного кипения экстрагента	186
4.3.1. Экстрагирование при высоких температурных напорах	186
4.3.2. Экстрагирование в режиме вакуумного осциллирующего кипения экстрагента	194
4.4. Экстрагирование в планетарном аппарате	216
4.5. Экстрагирование двухфазной системой экстрагентов	225
4.5.1. Механизм экстрагирования двухфазной системой экстрагентов	225
4.5.2. Экстрагирование в пульсационном экстракторе	228
4.5.3. Экстрагирование в режиме вакуумного кипения экстрагента	232
4.5.4. Экстрагирование в режиме вакуумного осциллирующего кипения экстрагента	235
4.6. Дискретное перераспределение целевых продуктов в частицах после выхода процесса на регулярный режим	240
4.6.1. Экспериментальная часть	242
4.6.2. Расчет выхода целевых продуктов в извлечение после дискретных воздействий на сырье	244
4.6.3. Сопоставление экспериментальных и расчетных данных	245
5. АППАРАТЫ ДЛЯ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ	248
5.1. Экстракторы периодического действия	249
5.2. Пульсационные экстракторы	252
5.3. Ступенчатые экстракторы (батареи экстракторов)	254
5.4. Экстракторы непрерывного действия	255
ЛИТЕРАТУРА	275
ПРИЛОЖЕНИЕ	295