

А. Г. Лаптев
М. М. Башаров
Е. А. Лаптева

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ
И МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ
ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ
И СЕПАРАЦИОННЫХ
ПРОЦЕССОВ
В ДВУХФАЗНЫХ СРЕДАХ



Тонкие
Наукоёмкие
Технологии

А. Г. ЛАПТЕВ, М. М. БАШАРОВ, Е. А. ЛАПТЕВА

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ
И МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ
ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ
И СЕПАРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
В ДВУХФАЗНЫХ СРЕДАХ**

Старый Оскол
ТНТ
2021

УДК 621.1
ББК 31.3
Л 24

Рецензенты:

заведующий кафедрой «Тепловая и топливная энергетика» УлГТУ
доктор технических наук, доцент *В. Н. Ковальногов*
заведующий кафедрой «Оборудования пищевых производств»
ФГБОУ ВО «КНИТУ» доктор технических наук, профессор *А. Н. Николаев*

Лаптев А. Г., Башаров М. М., Лаптева Е. А.

Л 24 **Математические модели и методы расчетов тепломассообменных и сепарационных процессов в двухфазных средах : монография / А. Г. Лаптев, М. М. Башаров, Е. А. Лаптева. — Старый Оскол : ТНТ, 2021. — 288 с. : ил.**

ISBN 978-5-94178-726-5

Для решения задач проектирования рассмотрены математические модели явлений переноса импульса, массы и энергии в двухфазных средах промышленных аппаратов. Подробно представлены модели турбулентного пограничного слоя и даны выводы формул для расчета коэффициентов тепло- и массоотдачи. Показаны многочисленные сравнения с экспериментальными данными. Даны замкнутые системы дифференциальных уравнений тепло- и массообменных и сепарационных процессов и их решения для ряда частных случаев в пленочных, барботажных, вихревых и насадочных аппаратах. Получены выражения, даны примеры расчета эффективности теплообмена, разделения гомогенных смесей и сепарации тонкодисперсной фазы из газов и жидкостей.

Монография предназначена для научных и инженерно-технических работников нефтегазохимической промышленности и энергетики. Может быть полезной для преподавателей, аспирантов и студентов технических вузов.

Работа выполнена в рамках научного проекта РНФ 18-79-101-36.

**УДК 621.1
ББК 31.3**

ISBN 978-5-94178-726-5

© Лаптев А. Г., Башаров М. М., Лаптева Е. А., 2021
© Оформление. ООО «ТНТ», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Условные обозначения	6
Введение	10
Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЯВЛЕНИЙ ПЕРЕНОСА	13
1.1. Теоретические основы моделирования тепломассообмена	13
1.2. Методы моделирования явлений переноса	18
1.3. Общие принципы повышения эффективности процессов и снижения энергозатрат	19
1.4. Масштабные эффекты и энергозатраты	20
1.5. Высокоэффективные контактные насадки	22
Глава 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОТИВОТОЧНЫХ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ АППАРАТОВ	25
2.1. Математическая модель тепломассопереноса в колонне с провальными тарелками	25
2.2. Эффективность охлаждения газов и жидкостей в пенном слое ...	35
2.3. Математическая модель расчета эффективности насадочной тепломассообменной колонны	41
2.4. Эффективность охлаждения газов в противоточных насадочных скрубберах	45
2.5. Комплексная оценка тепломассообменных и энергетических характеристик насадок	48
2.6. Сравнительные характеристики контактных устройств	59

Глава 3. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТРЕНИЯ И ТЕПЛОМАССООБМЕНА В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ	64
3.1. Процессы переноса импульса и тепла в пограничном слое	64
3.2. Гидродинамическая аналогия	66
3.3. Модель Прандтля (двухслойная модель турбулентного пограничного слоя)	67
3.4. Модель диффузионного пограничного слоя Ландау-Левича	69
3.5. Развитие моделей турбулентности.....	70
3.6. Консервативные свойства пограничного слоя	74
3.7. Коэффициенты теплоотдачи в гладких каналах при турбулентном режиме	77
3.8. Теплоотдача от шероховатой поверхности	82
3.9. Расчет коэффициентов теплоотдачи в турбулентной пленке при слабом и сильном взаимодействии с газом	87
3.10. Коэффициенты тепло- и массоотдачи в газовой фазе пленочных аппаратов (турбулентный режим).....	90
3.11. Трение и тепло- массоотдача в зернистых и насадочных слоях (однофазный поток).....	94
3.12. Массоотдача в насадочном слое при пленочном режиме.....	99
Глава 4. МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОЙ ДИФФУЗИИ И ОСАЖДЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ЖИДКОСТЯХ	104
4.1. Теоретические основы математического моделирования массопереноса частиц	105
4.2. Турбулентный перенос тонкодисперсных частиц в жидкой фазе динамических сепараторов	113
4.3. Эффективность турбулентного разделения в гидроциклонах ...	118
4.4. Конструкция и расчет тонкослойного отстойника с коагулятором	122
4.5. Эффективность турбулентной физической коагуляции капель в хаотичной насадке.....	125
4.6. Эффективность очистки жидкостей пневматической флотацией	135
4.7. Выбор режима флотации по энергетическому коэффициенту	143
Глава 5. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ГАЗОВ И ПАРОВ ОТ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ	145
5.1. Сепарационная и энергетическая эффективности аппаратов газоочистки.....	147
5.2. Турбулентная диффузия частиц	149
5.3. Скорость турбулентной миграции	151
5.4. Диффузионная и ячеечная модели	154
5.5. Модели переноса в насадочных и сетчатых газосепараторах ...	158

5.6. Эффективность каплеуловителей (демистеров).....	161
5.7. Эффективность вихревых сепараторов	169
5.8. Конструкция комбинированного газосепаратора	172
5.9. Результаты расчета процессов сепарации.....	174
5.10. Определение эффективности насадочных газосепараторов с учетом неравномерности профиля скорости газа	177
5.11. Определение тепловых потерь от газосепараторов	184

**Глава 6. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И РАСЧЕТЫ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ**

В ПЛЕНОЧНЫХ ГРАДИРНЯХ И СКРУББЕРАХ	187
6.1. Теоретические основы моделирования явлений переноса	188
6.2. Определение коэффициентов тепло- и массоотдачи	193
6.3. Тепловая эффективность градирни	202
6.4. Модифицированный метод единиц переноса	213
6.5. Расчет градирен с учетом неравномерности распределения фаз	218
6.6. Показатели энергоэффективности градирен	228
6.7. Алгоритм расчета промышленной градирни	232
6.8. Замена крупномасштабных градирен на мини-градирни	235
6.9. Моделирование и расчеты насадочных скрубберов охлаждения газов и нагрева воды	239
Расчетные формулы тепломассообменных и сепарационных характеристик аппаратов	250
Заключение.....	254
Библиографический список	255