

БАКАЛАВР. АКАДЕМИЧЕСКИЙ КУРС

Ю. А. Комиссаров, М. Б. Глебов, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент

ХИМИКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

УЧЕБНИК и ПРАКТИКУМ

2-е издание



СООТВЕТСТВУЕТ
ПРОГРАММАМ
ВЕДУЩИХ НАУЧНО-
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ШКОЛ

Юрайт
издательство
biblio-online.ru

Ю. А. Комиссаров, М. Б. Глебов, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент

ХИМИКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ
ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО БАКАЛАВРИАТА

2-е издание, исправленное и дополненное

Рекомендовано Министерством общего и профессионального образования Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Основные процессы химических производств и химическая кибернетика»

Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru

Москва ■ Юрайт ■ 2017

УДК 66.01(075.8)

ББК 35я73

X46

Авторы:

Комиссаров Юрий Алексеевич — доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, профессор кафедры электротехники и электроники РХТУ имени Д. И. Менделеева;

Глебов Михаил Борисович — профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой кибернетики химико-технологических процессов РХТУ имени Д. И. Менделеева;

Гордеев Лев Сергеевич — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заслуженный химик СССР, Почетный профессор РХТУ имени Д. И. Менделеева;

Вент Дмитрий Павлович — доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов Новомосковского института РХТУ имени Д. И. Менделеева.

Рецензенты:

Софиев А. Э. — доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, Заслуженный машиностроитель РФ, заведующий кафедрой технической кибернетики и автоматики, систем управления и контроля химических производств Московского политехнического университета;

Володин В. М. — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики и компьютерных систем Московского государственного университета инженерной экологии.

Комиссаров, Ю. А.

X46

Химико-технологические процессы : учебник и практикум для академического бакалавриата / Ю. А. Комиссаров, М. Б. Глебов, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 359 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс).

ISBN 978-5-534-05506-1

Учебник посвящен использованию методов экспериментального исследования и математического моделирования гидродинамики и кинетики массо- и теплопередачи. В нем рассмотрены процессы ректификации, абсорбции, экстракции, кристаллизации, сушки, теплообмена, а также кинетика химических реакций, представлены лабораторные работы по определению параметров математических моделей.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов высших учебных заведений, а также всех интересующихся химико-технологическими процессами.

УДК 66.01(075.8)

ББК 35я73



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

© Комиссаров Ю. А., Глебов М. Б., Гордеев Л. С., Вент Д. П., 1999

© Комиссаров Ю. А., Глебов М. Б., Гордеев Л. С., Вент Д. П., 2017, с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2017

ISBN 978-5-534-05506-1

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Глава 1. Математическая модель гидродинамики в двухфазной системе пар (газ) – жидкость	10
1.1. Этапы разработки математической модели потока жидкости и определение ее параметров	11
1.2. Физико-химические свойства, влияющие на структуру паро(газо)жидкостных потоков	12
1.3. Математическая модель гидродинамики.....	14
1.3.1. Комплексный метод исследования	14
1.3.2. Метод моментов функции распределения	22
1.4. Математическая модель массопередачи паро(газо)жидкостного потока.....	26
1.4.1. Система уравнений математической модели.....	26
1.4.2. Параметрическая чувствительность комбинированной модели паро(газо)жидкостного потока	33
1.4.3. Расчет эффективности тарелки по диффузионной модели	35
1.5. Математическая модель продольного перемешивания в ограниченном канале несколькими зонами смешения	38
1.6. Лабораторная работа по исследованию гидродинамики на ситчатой тарелке	43
1.7. Лабораторная работа по исследованию гидродинамики в азротенке при пневматической аэрации	48
1.8. Лабораторная работа по исследованию гидродинамики в насадочной ректификационной колонне	53
Глава 2 .Кинетика массопередачи и равновесие в многокомпонентных смесях в процессе ректификации	58
2.1. Общая характеристика и математическое описание процесса ректификации.....	58
2.2. Термодинамика азеотропных и химически взаимодействующих смесей	62
2.2.1. Термодинамико-топологический анализ разделения многокомпонентных азеотропных и химически взаимодействующих смесей	62
2.2.2. Определение коэффициентов активности в многокомпонентных смесях.....	68
2.2.3. Расчет равновесия в системе жидкость – жидкость – пар.....	79
2.2.4. Многофазное равновесие с химическими реакциями	83

2.3. Массопередача в многокомпонентных смесях	90
2.4. Лабораторная работа по изучению кинетики ректификации бинарных смесей в насадочной колонне.....	92
2.5. Лабораторная работа по определению коэффициентов массопередачи в тройной смеси.....	96
2.6. Лабораторная работа по экспериментальному исследованию фазового равновесия в системе пар – жидкость	98
2.7. Лабораторная работа по расчету на ЭВМ равновесия в тройной смеси по модели Вильсона	99

Глава 3. Исследование и расчет параметров процесса абсорбции..... 101

3.1. Общая характеристика и основные уравнения процесса абсорбции	101
3.2. Математическое описание адсорбции в статике.....	103
3.2.1. Модель идеального вытеснения по жидкости и газу.....	103
3.2.2. Различное сочетание типовых моделей по газу и жидкости ...	105
3.3. Математическое описание абсорбции в динамике.....	108
3.3.1. Модель идеального вытеснения фаз	108
3.3.2. Ячеечная модель по жидкости и газу	110
3.4. Приближенные передаточные функции насадочного абсорбера	113
3.5. Эмпирические зависимости параметров математических моделей... ..	115
3.6. Лабораторная работа по исследованию гидродинамических режимов в насадочном абсорбере	118
3.7. Лабораторная работа по определению статических и динамических характеристик насадочного абсорбера по каналам массопередачи.....	122
3.8. Лабораторная работа по определению степени продольного перемешивания	124

Глава 4. Исследование гидродинамики и моделирование процесса экстракции в пульсационном аппарате 126

4.1. Математическое моделирование гидродинамики экстракции	126
4.2. Методы экспериментального определения и расчета параметров ячейочной модели с обратными потоками.....	133
4.3. Математическое описание равновесия в системах жидкость – жидкость	148
4.4. Математическое описание кинетики массопередачи в пульсационных экстракторах	150
4.5. Алгоритм расчета колонных экстракторов.....	155
4.6. Решение системы уравнений, моделирующих процесс экстракции....	157
4.7. Лабораторная работа по исследованию гидродинамики в экстракторе.....	160

Глава 5. Исследование кинетики и расчет параметров массовой кристаллизации 164

5.1. Теоретические основы кристаллизации из растворов	164
5.1.1. Равновесие между твердой и жидкой фазами	164

5.1.2. Кинетика процесса кристаллизации	166
5.1.3. Математическая модель периодического кристаллизатора смещения	169
5.2. Определение параметров скорости роста кристаллов	170
5.3. Определение параметров скорости зародышеобразования	171
5.4. Лабораторная работа по определению параметров роста кристаллов и зародышеобразования	172
Глава 6. Исследование и расчет параметров процесса сушки	180
6.1. Математическая модель сушки	180
6.1.1. Равновесие при сушке	181
6.1.2. Материальный и тепловой балансы	181
6.1.3. Кинетика процесса сушки	183
6.2. Математическое моделирование реальных процессов сушки	190
6.2.1. Процесс сушки в псевдооживленном слое	191
6.2.2. Процесс сушки по модели полного перемешивания	203
6.3. Лабораторная работа по изучению кинетики сушки в аппарате фонтанирующего слоя (ФС)	209
Глава 7. Исследование и расчет теплообменных аппаратов.....	212
7.1. Общая характеристика теплопередачи	212
7.1. Математическое описание статики	214
7.3. Расчет теплообменных аппаратов	216
7.4. Оптимизация теплообменных аппаратов	222
7.4.1. Критерии оптимизации	222
7.4.2. Диалоговая система оптимизации теплообменника типа “труба в трубе”	226
7.5. Математическое описание динамики	231
7.5.1. Линеаризация зависимости изменения температуры по длине аппарата	231
7.5.2. Общие уравнения теплообмена	232
7.5.3. Методы решения уравнений динамики	234
7.6. Пример составления передаточной функции теплообменника	240
Глава 8. Исследование и расчет кинетики химической реакции и гидродинамики реакторов	242
8.1. Классификация реакторов с мешалкой и общая характеристика реакционных процессов в них	242
8.2. Математическое описание статики проточного политропического реактора полного перемешивания	245
8.3. Математическое описание динамики проточного политропического реактора полного перемешивания	249
8.3.1. Система уравнений динамики	249
8.3.2. Общая схема получения передаточных функций реактора	250
8.3.3. Передаточные функции и структурная схема динамики реактора с теплоотводом	253
8.4. Примеры расчета реактора и каскада реакторов полного перемешивания	258

8.5. Определение параметров математической модели гидродинамики реакторов с мешалкой.....	264
8.6. Лабораторная работа по исследованию гидродинамики реактора и каскада реакторов с мешалками.....	269
8.7. Лабораторная работа по установлению адекватности математической модели эксперименту с химической реакцией.....	276
8.8. Определение параметров математических моделей противоточных барботажных реакторов с мешалкой.....	277
8.9. Лабораторная работа по определению параметров модели полого барботажного реактора по C - или F -кривой.....	279
8.10. Лабораторная работа по определению параметров модели барботажного секционированного реактора методом установившегося состояния.....	284
8.11. Общая характеристика гетерогенных газозофазных каталитических процессов и реакторов.....	285
8.11.1. Математические модели реакторов с неподвижным слоем катализатора.....	287
8.11.2. Примеры расчета реакторов с неподвижным слоем катализатора.....	292
8.12. Определение параметров гетерогенно-каталитических процессов на лабораторных установках.....	317
8.12.1. Определение лимитирующей стадии процесса.....	318
8.12.2. Методы исследования кинетики каталитических реакций... ..	324
8.12.3. Определение кинетических констант.....	328
8.13. Определение параметров математической модели адиабатического реактора со стационарным слоем катализатора....	340
8.14. Лабораторная работа по определению кинетических констант адиабатического реактора.....	346
Приложение.....	350
Рекомендуемая литература.....	356
Об авторах.....	358