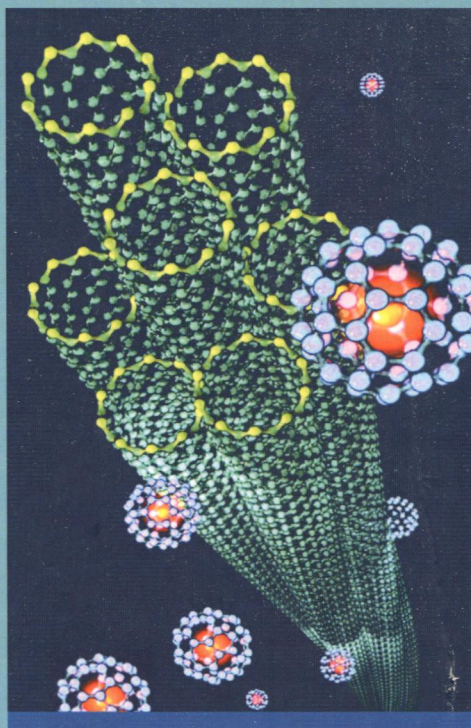


ЕСТЕСТВЕННЫЕ
НАУКИ

бакалавриат



учебное пособие



Л. И. Хейфец, В. Л. Зеленко

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Высшее образование

БАКАЛАВРИАТ

Л. И. ХЕЙФЕЦ, В. Л. ЗЕЛЕНКО

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Под редакцией В. В. ЛУНИНА

Допущено

Учебно-методическим объединением

по классическому университетскому образованию

в качестве учебного пособия для студентов

высших учебных заведений, обучающихся по направлению ВПО «Химия»

и специальности «Фундаментальная и прикладная химия»



Москва
Издательский центр «Академия»
2015

УДК 66(075.8)
ББК 35я73
Х358

Авторы:

д-р физ.-мат. наук, профессор *Л. И. Хейфец*;
канд. физ.-мат. наук, доцент *В. Л. Зеленко*

Рецензенты:

зав. кафедрой химической технологии и новых материалов
химического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова,
д-р хим. наук, профессор *В. В. Авдеев*;
профессор кафедры физической химии МГУ имени М. В. Ломоносова,
д-р хим. наук *Е. П. Агеев*

Хейфец Л. И.

Х358 Химическая технология. Теоретические основы : учеб. пособие для студ. учреждений высш. образования / Л. И. Хейфец, В. Л. Зеленко ; под ред. В. В. Лунина. — М. : Издательский центр «Академия», 2015. — 464 с. — (сер. Бакалавриат).
ISBN 978-5-4468-0352-1

Учебное пособие создано в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлениям подготовки «Химия» (квалификация «бакалавр», «магистр»), «Фундаментальная и прикладная химия» (квалификация «специалист»).

Рассмотрены эксергетический метод оценки эффективности химико-технологических систем, элементы физико-химической гидродинамики и макрокинетики. Изложена формальная теория химических реакторов и основы материаловедения. Используются понятия и методы, принятые в термодинамике, физической химии, механике сплошной среды.

Для студентов учреждений высшего образования.

УДК 66(075.8)
ББК 35я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым
способом без согласия правообладателя запрещается*

© Хейфец Л. И., Зеленко В. Л., 2015

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2015

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2015

ISBN 978-5-4468-0352-1

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие научного редактора	3
Предисловие.....	4

РАЗДЕЛ I

ВВЕДЕНИЕ В ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Глава 1. Общие сведения из термодинамики.....	6
1.1. Основные начала термодинамики	6
1.2. Оператор Карно	16
1.3. Второе начало и термодинамика простых тел.....	20
1.4. Экспериментальное подтверждение второго начала	27
1.5. Неравенство Клаузиуса.....	29
1.6. Квалифицированная и неквалифицированная энергии	34
1.7. Практическое измерение температуры	36
Глава 2. Обратимые энергопреобразующие устройства	38
2.1. Предельная эффективность энергопреобразующих устройств... 38	
2.2. Предельные значения коэффициента полезного действия некоторых энергопреобразующих устройств	41
Глава 3. Необратимость в энергопреобразующих устройствах	49
3.1. Максимально достижимая эффективность.....	49
3.2. Максимально достижимая эффективность адсорбционного теплового насоса	50
3.3. Максимально достижимая эффективность разделения газовой смеси по способу безнагревной короткоцикловой адсорбции ... 56	
Глава 4. Эксергетический анализ	68
4.1. Эксергия	68
4.2. Критерии эффективности химико-технологических систем и интегральные балансы.....	74
4.3. Процедура оценки энергетической эффективности химико- технологической системы	80
Глава 5. Потери эксергии в простых технологических операциях	86
5.1. Квазистатические и обратимые переходы в системе.....	86
5.2. Потери эксергии при теплообмене	87
5.3. Потери эксергии при смешении газов.....	90

5.4. Потери эксергии при газофазной реакции	94
5.5. Самопроизвольные переходы в системе	103
Глава 6. Потери эксергии в технологиях получения водорода	105
6.1. Методы получения водорода	105
6.2. Потери эксергии при получении водорода парофазной конверсией метана	106
6.3. Потери эксергии при получении водорода электролизом воды в изотермических условиях	114
6.4. Потери эксергии при получении водорода вытеснением из водных растворов кислот	117

РАЗДЕЛ II

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКИХ И ГАЗОВЫХ МАСС

Глава 7. Локальные уравнения движения гомогенных сред	120
7.1. Особенности движения гомогенных сред.....	120
7.2. Математические модели движения гомогенных сред	125
Глава 8. Движение идеальной жидкости	132
8.1. Уравнения Эйлера движения идеальной жидкости	132
8.2. Интеграл Бернулли и уравнение Лапласа	133
8.3. Струйные течения	140
8.4. Практическое значение интеграла Бернулли	143
Глава 9. Волновые движения в идеальной несжимаемой жидкости.....	148
9.1. Интеграл Коши — Лагранжа	148
9.2. Гравитационные волны на поверхности слоя жидкости	148
9.3. Капиллярные волны на поверхности жидкости	155
9.4. Внутренние волны в барботажных реакторах с высоким слоем жидкости	157
Глава 10. Эффекты, обусловленные сжимаемостью идеальной жидкости	165
10.1. Распространение малых возмущений. Звуковая волна	165
10.2. Распространение конечных возмущений. Ударная волна в химически инертном газе. Адиабата Гюгонио	168
10.3. Течение Гюгонио.....	172
10.4. Эффект Ранко	175
Глава 11. Основные закономерности движения вязкой жидкости	179
11.1. Уравнения Навье — Стокса.....	179
11.2. Несколько примеров, иллюстрирующих особенности движения вязкой жидкости	183
11.3. Гидродинамический пограничный слой.....	191

11.4. Задача Блазиуса.....	196
11.5. Отрыв потока от поверхности и турбулизация пограничного слоя.....	200
11.6. Турбулентность. Свойства турбулентных потоков.....	204
11.7. Фильтрация.....	210
Глава 12. Диффузионные модели в химической технологии.....	213
12.1. Математические модели движения многокомпонентной жидкости.....	213
12.2. Уравнение конвективной диффузии.....	221

РАЗДЕЛ III

МАКРОКИНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Глава 13. Принципы макрокинетического анализа.....	227
13.1. Структурные неоднородности, возникающие в системах с химическими и фазовыми превращениями.....	227
13.2. Основные понятия, используемые в макрокинетическом анализе.....	229
13.3. Характерные времена разных стадий процесса и безразмерные критерии.....	233
13.4. Макрокинетика процессов в гомогенных системах с химическими превращениями.....	240
13.5. Макрокинетика процессов в гетерогенных системах с химическими превращениями.....	246
Глава 14. Диффузионный пограничный слой.....	251
14.1. Массоперенос между твердым телом и покоящейся жидкостью.....	251
14.2. Массоперенос между твердым телом и потоком невязкой жидкости.....	254
14.3. Задача Левича.....	260
Глава 15. Задача Гретца.....	267
15.1. Постановка задачи о теплообмене между потоком теплоносителя и твердой поверхностью.....	267
15.2. Макрокинетический анализ задачи Гретца.....	271
15.3. Сравнение модели Гретца с моделью Нуссельта.....	276
Глава 16. Макрокинетика процессов горения в гомогенных средах.....	281
16.1. Молекулярная энергетика процесса горения.....	281
16.2. Эффект Махе.....	285
16.3. Диффузионное горение.....	291
16.4. Медленное горение. Фронт пламени.....	297
16.5. Быстрое горение. Детонационная волна.....	301

РАЗДЕЛ IV

ФОРМАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ И ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Глава 17. Математические модели структуры потоков в химических реакторах	307
17.1. Характеризация интенсивности перемешивания в объеме реактора	307
17.2. Перемешивание в модельных реакторах	313
17.3. Экспериментальное исследование структуры потока в аппаратах	320
Глава 18. Масштабный эффект и продольная дисперсия в химических аппаратах	325
18.1. Коэффициент масштабного перехода.....	325
18.2. Гидродинамический фактор.....	329
18.3. Совместный вклад гидродинамического и «диффузионного» факторов в перемешивание в объеме реактора	332
18.4. Продольная дисперсия в реальных технологических аппаратах	336
Глава 19. Принципы описания тепло- и массообменных процессов в химической технологии	341
Глава 20. Математические модели теплообменных аппаратов	350
20.1 Математические модели теплообменных аппаратов идеального вытеснения.....	350
20.2. Анализ математических моделей теплообменных аппаратов ...	354
20.3. Эксергетическая эффективность теплообменных аппаратов.....	359
Глава 21. Математические модели массообменных аппаратов	362
21.1. Математическая модель газожидкостной абсорбционной колонны	362
21.2. Математическая модель дистилляционной колонны	369

РАЗДЕЛ V

ВВЕДЕНИЕ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Глава 22. Элементарные понятия материаловедения	374
Глава 23. Элементы теории упругости	382
23.1. Свойства вещественной симметричной матрицы	382
23.2. Деформации в твердом теле	383
23.3. Напряжения в твердом теле.....	387
23.4. Свободная энергия деформируемого тела.....	394
23.5. Простые задачи по теории упругости	396

Глава 24. Элементы теории разрушения	402
24.1. Прочность твердых тел	402
24.2. Энергетическая теория разрушения Гриффитса	414
24.3. Кинетическая теория разрушения	418
24.4. Критерии прочности	421
Глава 25. Углеродные материалы со структурой графита	423
25.1. Углеродные нанотрубки	423
25.2. Низкоплотные углеродные материалы	426
Глава 26. Композиционные материалы	441
26.1. Структура композиционных материалов и особенности их деформирования	441
26.2. Критерии качества композиционных материалов	446
26.3. Углеродные волокна	448
Приложения	451
Список литературы	457