

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ПРОЦЕССЫ МИНИМАЛЬНОЙ ДИССИПАЦИИ В НЕОБРАТИМОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ

А. М. Цирлин

www.e.lanbook.com



**ЭБС
ЛАНЬ®**

А. М. ЦИРЛИН

**ПРОЦЕССЫ
МИНИМАЛЬНОЙ ДИССИПАЦИИ
В НЕОБРАТИМОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ**

Монография



ЛАНЬ®
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
МОСКВА
КРАСНОДАР
2020

УДК 544.3
ББК 22.317я73

Ц 70 Цирлин А. М. Процессы минимальной диссипации в необратимой термодинамике : монография. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 400 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-8114-4375-8

Книга посвящена оценкам предельных возможностей термодинамических систем с заданной или максимально возможной интенсивностью потоков. Эти оценки базируются на применении уравнений балансов по веществу, энергии и энтропии. Производство энтропии зависит от кинетики процессов, структуры системы и интенсивности потоков. Изложены основные модели термодинамических систем. Методы оптимизации и оптимального управления использованы для решения задачи о минимуме производства энтропии в таких системах при тех или иных ограничениях.

Предложенная методология применена к тепломеханическим системам, процессам теплообмена и разделения. Приведены выражения для предельной мощности тепловой машины, максимальных КПД необратимых прямых и обратных циклов, предельной производительности колонны ректификации. Решены задачи об оптимальной организации процессов разделения многокомпонентных смесей и многопоточных теплообменных систем. Исследованы мембранные системы и диффузионные машины.

Книга может служить учебным пособием для студентов, обучающихся по направлениям подготовки и специальностям укрупненных групп: «Физика и астрономия», «Химия», «Химические технологии» и другим, где предусмотрен курс «Термодинамика необратимых процессов». Монография предназначена также специалистам по применению методов оптимального управления к необратимым термодинамическим процессам и основанным на них технологиям.

УДК 544.3
ББК 22.317я73

Обложка
П. И. ПОЛЯКОВА

© Издательство «Лань», 2020
© А. М. Цирлин, 2020
© Издательство «Лань»,
художественное оформление, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Математические модели термодинамики и термодинамические балансы	11
1.1. Общая схема исследования	11
1.2. Математическое описание термодинамических систем	16
1.3. Термодинамические балансы.....	35
1.4. Связь эффективности термодинамических систем с производством энтропии	45
1.5. Связь феноменологической термодинамики с моделями статистической физики	55
1.6. Последовательность решения оптимизационных задач термодинамики	61
Глава 2. Процессы минимальной диссипации	63
2.1. Условия минимальной диссипации.....	64
2.2. Условия минимальной диссипации для конкретных процессов.....	71
2.3. Эксергия и работоспособность термодинамических систем.....	84
2.4. Структура оптимального решения в задаче о максимальной работе	108
2.5. Примеры задач.....	115
2.6. Равновесие в открытых термодинамических системах. Теорема Пригожина	129
2.7. Классификация термодинамических систем по типу процессов минимальной диссипации.....	131
Глава 3. Предельные возможности теплообменных систем	138
3.1. Предельные возможности двухпоточных теплообменных систем.....	139
3.2. Двухпоточный теплообмен с различной гидродинамикой.....	145
3.3. Распределение тепловой нагрузки в теплообменных цепочках.....	155
3.4. Регенеративный теплообмен.....	160
3.5. Идеальный многопоточный теплообмен. Условие физической реализуемости теплообменной системы	168
3.6. Оптимизация системы многопоточного теплообмена, интегрированной с технологическим процессом.....	181
3.7. Системы отопления с общим теплоносителем.....	197
Глава 4. Предельные возможности тепломеханических систем	211
4.1. Задача о максимальной работе для тепломеханических систем	211
4.2. Преобразователи с непрерывным контактом с источниками.....	216
4.3. Преобразователи с поочередным контактом с источниками	223
4.4. Тепловая машина в нестационарной системе	232
4.5. Тепломеханические системы с двумя источниками конечной емкости	239
4.6. Тепломеханические преобразователи в открытых системах.....	251

4.7. Задача оптимального потенциалостатирования.....	254
4.8. Задача термостатирования в строительстве	262
4.9. Теплотрансформаторы.....	271
4.10. Абсорбционный холодильник.....	278
Глава 5. Процессы массопереноса и системы разделения	291
5.1 Изотермический массоперенос	291
5.2. Минимальная работа разделения в необратимом процессе	294
5.3. Последовательное разделение многокомпонентных смесей	305
5.4. Извлечение работы в массообменных системах. Диффузионные машины	309
5.5. Мембранные системы	324
5.6. Множество реализуемых режимов процесса бинарной ректификации	337
5.7. Ректификация многокомпонентных смесей	354
Приложение. Методы оптимизации	370
Литература.....	380