

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

# ПРОЦЕССЫ МИНИМАЛЬНОЙ ДИССИПАЦИИ В НЕОБРАТИМОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ

А. М. Цирлин



[www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com)



ЛАНЬ®

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

<b>Введение</b> .....	3
<b>Глава 1. Математические модели термодинамики и термодинамические балансы</b> .....	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
<b>Глава 2. Процессы минимальной диссипации</b> .....	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
<b>Глава 3. Предельные возможности теплообменных систем</b> .....	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
<b>Глава 4. Предельные возможности тепломеханических систем</b> .....	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
<b>Глава 5. Процессы массопереноса и системы разделения .....</b>	<b>291</b>
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
<b>Приложение. Методы оптимизации .....</b>	<b>370</b>
<b>Литература.....</b>	<b>380</b>