

ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

В. В. КАРНАУХ
А. Б. БИРЮКОВ
К. А. РЖЕСИК
А. Н. ЛЕБЕДЕВ



«Инфра-Инженерия»

ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

Учебник

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2022

УДК 536:533.6.011.6
ББК 31.31+22.253.3
Т38

Авторы:

Карнаух В. В., Бирюков А. Б., Ржесик К. А., Лебедев А. Н.

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *Трубаев П. А.*;
доктор технических наук, профессор *Белоусов В. В.*;
доктор технических наук, профессор *Поперечный А. Н.*;
кандидат технических наук, доцент *Угланов Д. А.*

Т38 **Техническая термодинамика** : учебник / [Карнаух В. В. и др.].
– Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 500 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0862-2

Рассмотрены основные положения классической и современной термодинамики: идеальный газ и его прикладные аспекты, газовые смеси, теплоёмкость, анализ термодинамических процессов, законы термодинамики и их приложения, термодинамика реальных газов и потоков, влажный воздух и основы кондиционирования, анализ прямых и обратных термодинамических циклов, работоспособность термодинамической системы – эксергия. Включены разделы, касающиеся анализа работы установок низкопотенциальной энергетики.

Для студентов и аспирантов технических специальностей, а также инженерно-технических работников металлургической и энергетической отраслей промышленности.

УДК 536:533.6.011.6
ББК 31.31+22.253.3

ISBN 978-5-9729-0862-2

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	10
ГЛАВА 1. Термодинамическая система:	
основные понятия и определения	13
1.1. Основные понятия	13
1.2. Параметры: молекулярная масса, масса и вес	18
1.3. Параметры: плотность и удельный объём	20
1.4. Параметр: давление	21
1.5. Параметр: температура.....	25
1.6. Калорические параметры вещества.....	30
ГЛАВА 2. Законы идеального газа. Теплоёмкость	37
2.1. Законы идеального газа	37
2.2. Уравнение состояния идеального газа	43
2.3. Теплоёмкость газов.....	48
2.4. Параметры процесса: работа и теплота	60
ГЛАВА 3. Смеси идеальных газов	66
3.1. Закон Дальтона.....	66
3.2. Теплоёмкость газовой смеси.....	72
ГЛАВА 4. Первый закон термодинамики	75
4.1. Тепловое равновесие: нулевой закон термодинамики	75
4.2. Первый закон термодинамики как форма закона сохранения и превращения энергии	76

4.3. Уравнение первого закона термодинамики для закрытых и открытых термодинамических систем.....	82
---	----

ГЛАВА 5. Основные термодинамические процессы идеальных газов.....	89
5.1. Алгоритм анализа термодинамических процессов.....	89
5.2. Изохорный процесс. Примеры применения.....	90
5.3. Изобарный процесс. Примеры применения.....	95
5.4. Изотермический процесс. Примеры применения.....	101
5.5. Адиабатный процесс. Примеры применения.....	107
5.6. Политропный процесс. Примеры применения.....	117

ГЛАВА 6. Второй закон термодинамики.....	123
6.1. Обратимые и необратимые процессы и циклы.....	123
6.2. Формулировки второго закона термодинамики.....	127
6.3. Энтропия. Принципы существования и возрастания энтропии.....	131
6.4. Объединённое уравнение первого и второго законов термодинамики.....	135
6.5. Цикл Карно. Термический коэффициент полезного действия цикла Карно.....	136

ГЛАВА 7. Дифференциальные уравнения термодинамики.....	144
7.1. Уравнение Максвелла.....	144
7.2. Дифференциальные уравнения для внутренней энергии, энтальпии и энтропии.....	146
7.3. Дифференциальное уравнение теплоёмкости.....	150

ГЛАВА 8. Термодинамика реальных газов.....	154
8.1. Реальные газы: уравнение состояния.....	154

8.2. Реальные газы: фазовые превращения, фазовые диаграммы и таблицы.....	162
8.3. Термодинамические процессы водяного пара	177
8.4. Устройства для получения пара и горячей воды	181
ГЛАВА 9. Истечение газов и паров	189
9.1. Уравнение первого закона термодинамики для потока	189
9.2. Основные уравнения процессов течения.....	193
9.3. Скорость звука	199
9.4. Истечение из суживающихся сопел.....	206
9.5. Переход через скорость звука. Сопло Лавалья	215
9.6. Истечение газов и паров с учётом трения	220
9.7. Температура адиабатного торможения.....	222
ГЛАВА 10. Влажный воздух и основы кондиционирования.....	224
10.1. Влажный воздух.....	224
10.2. Психрометрические диаграммы	234
10.3. Процессы кондиционирования воздуха.....	239
10.4. Гигиенические основы кондиционирования. Классификация систем кондиционирования воздуха.....	256
ГЛАВА 11. Прямые термодинамические циклы тепловых машин.....	262
11.1. Общие сведения о двигателе внутреннего сгорания	263
11.2. Термодинамический анализ циклов поршневых двигателей внутреннего сгорания.....	267
11.3. Циклы газотурбинных установок.....	277
11.4. Теплосиловые паровые циклы.....	289

ГЛАВА 12. Обратные термодинамические циклы	315
12.1. Обратный цикл Карно	315
12.2. Основные элементы холодильной машины (теплового насоса).....	319
12.3. Цикл и термодинамический анализ газовой холодильной машины	326
12.4. Цикл и термодинамический анализ парокompрессионной холодильной машины	329
12.5. Фазовые диаграммы холодильных агентов	335
12.6. Цикл и термодинамический анализ пароэжекторной холодильной машины	342
12.7. Цикл и термодинамический анализ абсорбционной холодильной машины	347
12.8. Тепловые насосы.....	351
12.9. Теорема Нернста. Третий закон термодинамики	357
ГЛАВА 13. Работоспособность термодинамической системы.	
Эксергия	361
13.1. Эксергия, её виды и составляющие.....	362
13.2. Анергия.....	378
13.3. Уравнение эксергетического баланса.	
Эксергетический КПД.....	384
13.4. Эксергетические диаграммы.....	388
13.5. Примеры эксергетического анализа работы тепловых и холодильных установок	397
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	409
ГЛОССАРИЙ	413
ПРИЛОЖЕНИЯ	424