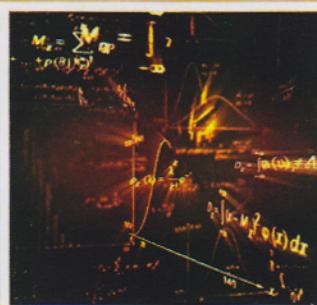
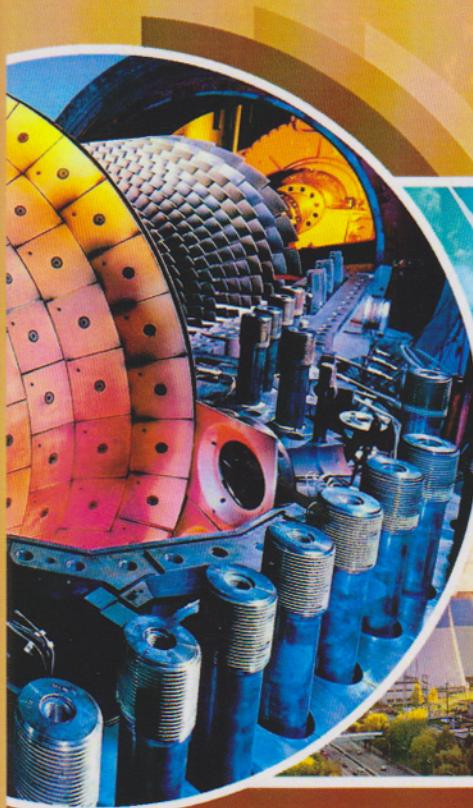


ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА



УЧЕБНИК

Министерство образования и науки
Донецкой Народной Республики
ГО ВПО «Донецкий национальный университет
экономики и торговли
имени Михаила Туган-Барановского»
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»

**Приурочен
100-летию ДонНТУ**

**Приурочен
100-летию ДОННУЭТ**

**ТЕХНИЧЕСКАЯ
ТЕРМОДИНАМИКА**
УЧЕБНИК

**Донецк
2021**

УДК [536+533.6.011.6](075.8)

ББК 31.31я73+22.253.3я73

Т35

Коллектив авторов:

Карнаух В.В., канд. техн. наук, проф. – раздел 8, 10, 12, 13

Бирюков А.Б., докт. техн. наук, проф. – раздел 4, 5, 6

Ржесик К.А., канд. техн. наук, проф. – раздел 1, 2, 3

Лебедев А.Н., канд. техн. наук, доц. – раздел 7, 9, 11

Рецензенты:

Трубаев П. А. – докт. техн. наук, профессор;

Белоусов В.В. – докт. техн. наук, профессор;

Поперечный А.Н. – докт. техн. наук, профессор;

Угланов Д. А. – канд. техн. наук, доцент.

Присвоен гриф «Рекомендовано Министерством образования и науки Донецкой Народной Республики» на основании решения Экспертного совета по присвоению учебным изданиям грифа от 28.12.2020г. (протокол №7)

Т 34 Техническая термодинамика [Текст] : учебник / М-во образования и науки Донец Нар. Респ., Гос. орг. высш. проф. образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Донецкий национальный технический университет» ; коллектива авт.: Карнаух В.В., Бирюков А.Б., Ржесик К.А., Лебедев А.Н. – Донецк : ДОННУЭТ, 2021. – 480с.

ISBN 978-5-91556-928-6

В учебнике рассмотрены основные положения классической и современной термодинамики: идеальный газ и его прикладные аспекты; газовые смеси; теплопроводность; 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. Кроме того, включены разделы, касающиеся анализа работы установок низкопотенциальной энергетики.

В ряде глав для лучшего понимания теоретического материала приведены примеры решения типовых задач по конкретной теме.

Учебник будет полезен студентам и аспирантам технических специальностей, инженерно-техническим работникам металлургической, энергетической, пищевой отраслей промышленности, также всем тем, кто имеет живой интерес к окружающему миру и протекающим термодинамическим процессам внутри него.

Публикуется в авторской редакции.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
ДонНТУ**

9426311
ISBN 978-5-91556-928-6

УДК [536+533.6.011.6](075.8)

ББК 31.31я73+22.253.3я73

© Коллектив авторов, 2021

© ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», 2021

© ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	8
ГЛАВА 1 Термодинамическая система: основные понятия и определения.....	11
1.1 Основные понятия	11
1.2 Параметры: молекулярная масса, масса и вес	15
1.3 Параметры: плотность и удельный объём.....	17
1.4 Параметр: давление	19
1.5 Параметр: температура	22
1.6 Калорические параметры вещества	27
ГЛАВА 2 Законы идеального газа. Теплоёмкость	34
2.1 Законы идеального газа.....	34
2.2 Уравнение состояния идеального газа.....	40
2.3 Теплоёмкость газов	44
2.4 Параметры процесса: работа и теплота	55
ГЛАВА 3 Смеси идеальных газов	61
3.1 Закон Дальтона	61
3.2 Теплоёмкость газовой смеси	67
ГЛАВА 4 Первый закон термодинамики.....	69
4.1 Тепловое равновесие: нулевой закон термодинамики	69
4.2 Первый закон термодинамики как форма закона сохранения и превращения энергии	70
4.3 Уравнение первого закона термодинамики для закрытых и открытых термодинамических систем	75
ГЛАВА 5 Основные термодинамические процессы идеальных газов	83
5.1 Алгоритм анализа термодинамических процессов	83
5.2 Изохорный процесс. Примеры применения	84
5.3 Изобарный процесс. Примеры применения	89
5.4 Изотермический процесс. Примеры применения	95
5.5 Адиабатный процесс. Примеры применения	101
5.6 Политропный процесс. Примеры применения	110

ГЛАВА 6 Второй закон термодинамики.....	117
6.1 Обратимые и необратимые процессы и циклы	117
6.2 Формулировки второго закона термодинамики.....	121
6.3 Энтропия. Принципы существования и возрастания энтропии	125
6.4 Объединённое уравнение первого и второго законов термодинамики.....	129
6.5 Цикл Карно. Термический коэффициент полезного действия цикла Карно	131
ГЛАВА 7 Дифференциальные уравнения термодинамики	137
7.1 Уравнение Максвелла.....	137
7.2 Дифференциальные уравнения для внутренней энергии, энталпии и энтропии.....	139
7.3 Дифференциальное уравнение теплоёмкости	143
ГЛАВА 8 Термодинамика реальных газов	147
8.1 Реальные газы: уравнение состояния	147
8.2 Реальные газы: фазовые превращения, фазовые диаграммы и таблицы.....	155
8.3 Термодинамические процессы водяного пара	170
8.4 Устройства для получения пара и горячей воды	174
ГЛАВА 9 Истечение газов и паров	183
9.1 Уравнение первого закона термодинамики для потока.....	183
9.2 Основные уравнения процессов течения	187
9.3 Скорость звука	193
9.4 Истечение из суживающихся сопл	201
9.5 Переход через скорость звука. Сопло Лаваля	210
9.6 Истечение газов и паров с учётом трения.....	215
9.7 Температура адиабатного торможения	217
ГЛАВА 10 Влажный воздух и основы кондиционирования	219
10.1 Влажный воздух	219
10.2 Психрометрические диаграммы	229
10.3 Процессы кондиционирования воздуха	234
10.4 Гигиенические основы кондиционирования.	
Классификация систем кондиционирования воздуха....	250

ГЛАВА 11 Прямые термодинамические циклы

тепловых машин.....	256
11.1 Общие сведения о двигателе внутреннего сгорания	257
11.2 Термодинамический анализ циклов поршневых двигателей внутреннего сгорания.....	261
11.3 Циклы газотурбинных установок.....	271
11.4 Теплосиловые паровые циклы.....	282
11.5 Органический цикл Ренкина.....	303

ГЛАВА 12 Обратные термодинамические циклы 308

12.1 Обратный цикл Карно	308
12.2 Основные элементы холодильной машины (теплового насоса)	312
12.3 Цикл и термодинамический анализ газовой холодильной машины.....	319
12.4 Цикл и термодинамический анализ парокомпрессионной холодильной машины	322
12.5 Фазовые диаграммы холодильных агентов	327
12.6 Цикл и термодинамический анализ пароэжекторной холодильной машины.....	334
12.7 Цикл и термодинамический анализ абсорбционной холодильной машины.....	339
12.8 Тепловые насосы	343
12.9 Теорема Нернста. Третий закон термодинамики.....	349

ГЛАВА 13 Работоспособность термодинамической

системы. Эксергия	353
13.1 Эксергия, её виды и составляющие	353
13.2 Анергия.....	370
13.3 Уравнение эксергетического баланса. Эксергетический КПД.....	376
13.4 Эксергетические диаграммы	380
13.5 Примеры эксергетического анализа работы тепловых и холодильных установок	389

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 401**ГЛОССАРИЙ** 405**ПРИЛОЖЕНИЯ.....** 415