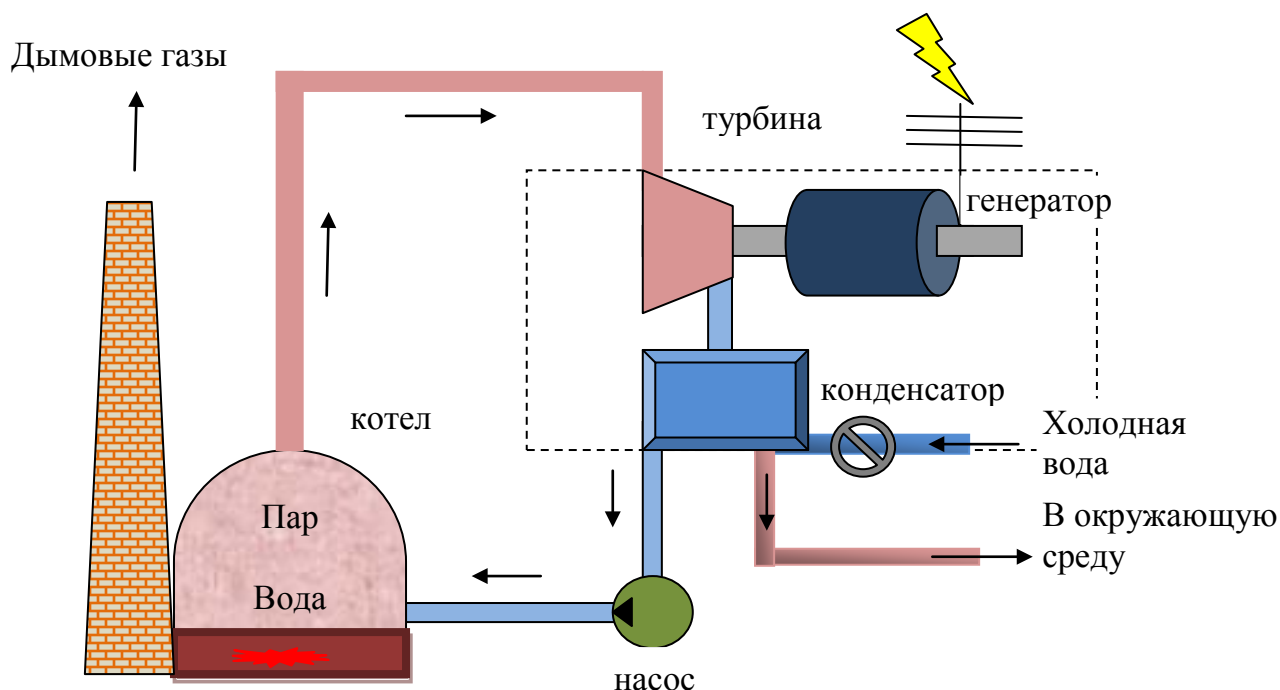


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
Донецкий национальный технический университет  
Донецкий национальный университет экономики  
и торговли имени Михаила Туган-Барановского

В.В. Кравцов, В.В.Карнаух, Н.С. Масс, А.Б.Бирюков

## ТЕРМОДИНАМИКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ

Учебник-монография



Донецк – 2011

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
Донецкий национальный технический университет  
Донецкий национальный университет экономики  
и торговли имени Михаила Туган-Барановского

В.В. Кравцов, В.В.Карнаух, Н.С. Масс, А.Б.Бирюков

**ТЕРМОДИНАМИКА ПРОМЫШЛЕННОЙ  
ТЕПЛОТЕХНИКИ**

Учебник-монография

*К 90-летию  
Донецкого национального  
технического университета*

Донецк – 2011

ББК 31.31я 73  
К-78  
УДК [536.7:621.1] (075.8)

**КРАВЦОВ В.В.**

**К-78 Термодинамика промышленной теплотехники [Текст]:** Учебник-монография / В.В. Кравцов, В.В. Карнаух, Н.С. Масс, А.Б. Бирюков. М-во образования и науки Украины, Донецк. нац. техн. ун-т, Донецк. нац. ун-т экономики и торговли им. М. Туган-Барановского. – Донецк: «Ноулидж» (донецкое отделение), 2011. - 466с.

ISBN 978-617-579-214-8

В учебнике-монографии приведено системное изложение основных законов и положений технической термодинамики. Особое внимание уделено вопросам преобразования теплоты в механическую и электрическую энергию, приведены примеры совершенствования технических средств генерации теплоты. Текст каждой главы сопровождается практическими примерами, иллюстрирующими применение изложенных базовых материалов к решению реальных практических задач и созданию инновационных технологий. В конце каждого раздела приведены тесты и задачи для самопроверки.

Использование учебника-монографии в учебном процессе существенно расширяет возможности студентов по усвоению материала и в случае необходимости обеспечивает самостоятельное изучение студентами инженерных специальностей дисциплин «Термодинамика», «Техническая термодинамика» или одноименного раздела курса «Теплотехника». Предназначено для студентов, аспирантов, преподавателей высших учебных заведений, практических работников.

Ил. 149, табл. 32, библиографический список 56 назв.

*Рецензенты:*

**Мазуренко А.С.**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Тепловые электростанции и энергосберегающие технологии» Одесского национального политехнического университета.

**Дорошенко А.В.**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Техническая термодинамика» Одесской государственной академии холода, академик Международной академии холода (Украинское отделение).

**Недопекин Ф.В.**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Физика неравновесных процессов, метрологии и экологии» Донецкого национального университета.

Рекомендовано к печати Ученым советом Донецкого национального технического университета (протокол №3 от 18.03.2011г.).

ISBN 978-617-579-214-8

© Кравцов В.В., Карнаух В.В.,  
Масс Н.С., Бирюков А.Б., 2011  
© Издательство «Ноулидж», 2011

# Содержание

<b>Введение</b>	<b>7</b>
<b>Глава 1. Термодинамическая система. Основные понятия</b>	<b>10</b>
1.1 Основные понятия. . . . .	10
1.2 Свойство: молекулярная масса. . . . .	13
1.3 Параметры: масса и вес. . . . .	14
1.4 Параметры: плотность и удельный объём. . . . .	15
1.5 Параметр: давление. . . . .	16
1.6 Параметр: температура. . . . .	20
1.7 Свойство: энергия. . . . .	24
1.8 Равновесие: закон термодинамики. . . . .	31
Задачи и тесты к главе. . . . .	31
<b>Глава 2. Молекулярная точка зрения на природу теплоты</b>	<b>34</b>
2.1 Экспериментирование со свойствами газов. . . . .	34
2.2 Эксперимент № 1. . . . .	35
2.3 Эксперимент № 2. . . . .	37
2.4 Эксперимент № 3. . . . .	38
2.5 Уравнение состояния идеального газа . . . . .	40
2.6 Эксперимент № 4. . . . .	44
Задачи и тесты к главе. . . . .	45
<b>Глава 3. Теплота и работа – единственно возможные формы существования энергии: введение в первый закон термодинамики.</b>	<b>47</b>
3.1 Определение теплоты. . . . .	47
3.2 Эксперимент № 1. . . . .	48
3.3 Эксперимент № 2. . . . .	51
3.4 Эксперимент № 3. . . . .	53
3.5 Эксперимент № 4. . . . .	56
3.6 Эксперимент № 5. . . . .	59
3.7 Первый закон термодинамики. . . . .	62
Задачи и тесты к главе. . . . .	65
<b>Глава 4. Второй закон термодинамики.</b>	<b>68</b>
4.1 Принципы существования и возрастания энтропии. . . . .	68
4.2 Второй закон термодинамики. . . . .	69
Тесты и вопросы к главе. . . . .	71
<b>Глава 5. Термодинамический процесс идеального газа: изохорный процесс.</b>	<b>74</b>
5.1 Уравнение энергии. . . . .	74
5.2 Изохорный процесс. . . . .	75
5.3 Применение изохорного процесса. . . . .	78
5.4 Нагрев без использования топлива. . . . .	80
Задачи и тесты к главе. . . . .	82

Промышленное применение: Изохорный нагрев стали. . . . .	83
<b>Глава 6. Термодинамический процесс идеального газа:</b>	
<b>изобарный процесс.</b> . . . . .	88
6.1 Изобарный процесс. . . . .	88
6.2 Определение удельных теплоемкостей. . . . .	95
6.3 Промышленное применение изобарного процесса. Термодинамический газовый лифт. . . . .	102
6.4 Нагревание воздуха в неограниченном объеме. . . . .	105
Задачи и тесты к главе. . . . .	105
Промышленное применение: Ресурсоэнергосберегающая технология нагрева материала в печах. . . . .	107
<b>Глава 7. Термодинамический процесс идеального газа:</b>	
<b>изотермический процесс.</b> . . . . .	132
7.1 Более эффективный газовый лифт. . . . .	132
7.2 Пример реализации изотермического процесса. . . . .	138
7.3 «Закон идеального газа» для твердых тел, жидкостей и реальных газов. . . . .	142
7.4 Прикладные вычисления работы. . . . .	144
Задачи и тесты к главе. . . . .	145
<b>Глава 8. Термодинамический процесс идеального газа:</b>	
<b>адиабатный процесс.</b> . . . . .	148
8.1 Характеристики адиабатного процесса. . . . .	148
8.2 Работа адиабатного процесса. . . . .	155
8.3 Применение: воздушные компрессоры. . . . .	156
Задачи и тесты к главе. . . . .	162
<b>Глава 9. Термодинамический процесс идеального газа:</b>	
<b>политропный процесс.</b> . . . . .	165
9.1 Политропный процесс. . . . .	165
9.2 Процессы общего характера. . . . .	168
9.3 Общий термодинамический процесс. . . . .	172
Задачи и тесты к главе. . . . .	175
<b>Глава 10. Термодинамический анализ работы двигателей</b>	
<b>внутреннего сгорания.</b> . . . . .	178
10.1 Общие сведения о двигателях внутреннего сгорания. . . . .	178
10.2 Термодинамический анализ работы автомобильного двигателя. . . . .	184
10.2.1 Термодинамический анализ цикла Отто	184
10.2.2 Термодинамический анализ работы двигателя внутреннего сгорания Р. Дизеля	190

10.2.3 Цикл со смешанным подводом теплоты – цикл Тринклера.	192
Задачи и тесты к главе. . . . .	196
<b>Глава 11. Наиболее эффективный цикл тепловых двигателей.</b> . . . . .	<b>198</b>
Задачи к главе. . . . .	209
<b>Глава 12. Тепловые циклы газотурбинных установок</b>	<b>210</b>
12.1 Идеальный цикл ГТУ. . . . .	211
12.2 Действительный цикл ГТУ. . . . .	216
12.3 Регенеративный цикл ГТУ. . . . .	218
12.4 Комбинированные циклы. . . . .	221
12.5 Циклы реактивных двигателей. . . . .	222
12.6 Циклы ракетных двигателей. . . . .	227
Задачи к главе. . . . .	231
Промышленное применение: Использование синтез газа для производства электроэнергии. . . . .	233
<b>Глава 13. Обратные циклы.</b> . . . . .	<b>249</b>
13.1 Представление энтропии. . . . .	249
13.2 Двигатель лодки Карно. . . . .	255
13.3 Обратный термодинамический цикл. . . . .	258
13.4 Естественный тепловой поток: за и против. . . . .	261
13.5 Элементы термодинамического цикла охлаждения. . . . .	262
13.6 Термодинамический анализ цикла охлаждения. . . . .	270
13.7 Тепловые насосы. . . . .	272
Вопросы к главе. . . . .	281
Промышленное применение: Использование солнечного излучения как альтернативного источника энергии. . . . .	282
<b>Глава 14. Термодинамика материаловедения.</b> . . . . .	<b>285</b>
14.1 материаловедение фазовых изменений. . . . .	285
14.2 Вода и ее фазовые превращения. . . . .	289
14.3 Реальные газы: уравнение состояния, фазовые диаграммы и таблицы. . . . .	298
Задачи и вопросы к главе. . . . .	306
Промышленное применение: Совершенствование технологий непрерывной разливки стали. . . . .	307
<b>Глава 15. Возможности скрытой теплоты: охлаждение.</b> . . . . .	<b>323</b>
15.1 Представление скрытой теплоты охлаждения. . . . .	323
15.2 Механика скрытой теплоты. . . . .	327
15.3 Фазовая диаграмма Моля для R-22. . . . .	329
15.4 Работа систем охлаждения. . . . .	334
15.5 Влияние эффекта перегрева и переохлаждения на эффективность системы охлаждения. . . . .	336
15.6 Влияние давления на эффективность системы. . . . .	340
Задачи и вопросы к главе. . . . .	343

<b>Глава 16. Возможности скрытой теплоты: теплота пара и его тепловая мощность.</b>	<b>345</b>
16.1 Тепловая мощность пара.	345
16.2 Паровая мощность. Цикл Ренкина.	353
16.3 Влияние начальных значений давления и температуры пара на величину термического к.п.д. цикла Ренкина.	360
16.4 Цикл с промежуточным перегревом пара.	361
16.5 Использование паровых таблиц для анализа цикла.	367
16.6 Когенерация.	368
Задачи и тесты к главе.	369
<b>Глава 17. Психрометрика: взаимодействие влаги и воздуха.</b>	<b>372</b>
17.1 Водяной пар в воздухе (влажность).	372
17.2 Психрометрическая диаграмма.	383
17.3 «Мокрый» термометр, «сухой» термометр.	387
Задачи к главе.	397
Промышленное применение психрометрии: Пример расчета градирни.	398
<b>Глава 18. Процессы кондиционирования воздуха.</b>	<b>412</b>
18.1 Комфортное кондиционирование воздуха для людей.	412
18.2 Процесс нагревания воздуха.	415
18.3 Процесс нагревания с увлажнением.	419
18.4 Процесс охлаждения воздуха.	422
18.5 Процесс охлаждения воздуха с осушением.	423
18.6 Охлаждающий теплообменник – змеевик.	426
18.7 Параметр – энтальпия воздуха.	427
18.8 Смешивание воздушных потоков.	430
Задачи и вопросы к главе.	437
<b>Литература.</b>	<b>440</b>
<b>Приложения.</b>	<b>442</b>