

УДК 621.036  
ББК 31.38  
А73

### Научный редактор

**Белашов В. И.**, доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры физики  
ГОУ ВПО «Казанский энергетический университет»

### Рецензенты:

**Братковский Е. В.**, кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой металлургических технологий Новотроицкого  
филиала «Государственного технологического университета  
"Московский институт стали и сплавов"»;

**Чурсин В. Б.**, кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры общих и профессиональных дисциплин  
ГОУ ВПО «Самарский государственный университет  
путей сообщения» (филиал в г. Орске)

**А73 Ануфриенко, О. С. Техническая термодинамика и теплообмен** : учебное пособие / О. С. Ануфриенко. – Орск : Издательство Орского гуманитарно-технологического института (филиала) ОГУ, 2011. – 266 с. – ISBN 978-5-8424-0487-2.

*Настоящее учебное пособие составлено на основании программ курсов «Физико-технические основы теплоэнергетики», «Теоретические основы теплотехники», «Теплотехника», «Перенос энергии и массы, основы теплотехники и аэродинамики», читаемых в Орском гуманитарно-технологическом институте студентам механико-технологического факультета.*

ISBN 978-5-8424-0487-2

© Ануфриенко О. С., 2011  
© Издательство Орского гуманитарно-  
технологического института (филиала) ОГУ, 2011

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
<b>1 ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА И ЕЕ ЗАКОНЫ</b> .....	7
1.1 Предмет технической термодинамики и ее задачи.....	7
1.2 Закон сохранения и превращения энергии и следствия из него .....	8
1.3 Теплота и работа.....	11
1.4 Первый закон термодинамики .....	12
1.5 Основные параметры состояния рабочего тела .....	14
<b>2 ГАЗЫ И ГАЗОВЫЕ СМЕСИ</b> .....	17
2.1 Уравнение состояния газов .....	17
2.2 Определение газовой постоянной .....	19
2.3 Уравнение состояния и газовая постоянная смеси газов .....	21
<b>3 РАБОТА И ТЕПЛОТА ГАЗОВОГО ПРОЦЕССА. ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ ГАЗА И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ</b> .....	26
3.1 Термодинамические процессы. Обратимые и реальные процессы .....	26
3.2 Графическое изображение процессов в $PV$ -диаграмме .....	27
3.3 Работа расширения и сжатия рабочего тела.....	28
3.4 Теплота газового процесса. Теплоемкости газов.....	31
3.5 Изменение внутренней энергии газа в процессах.....	37
<b>4 ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГАЗОВ И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ</b> .	41
4.1 Основные газовые процессы и задачи их исследования.....	41
4.2 Изменение состояния газа при постоянном объеме (изохорный процесс) ...	42
4.3 Изменение состояния газа при постоянном давлении (изобарный процесс) .....	44
4.4 Изменение состояния газа при постоянной температуре (изотермный процесс) .....	47
4.5 Изменение состояния газа без теплообмена с внешней средой (адиабатный процесс) .....	49
4.6 Политропные процессы .....	53
<b>5 СЖАТИЕ ГАЗА В КОМПРЕССОРЕ</b> .....	61
5.1 Рабочий процесс компрессора. Работа компрессора.....	61
5.2 Работа компрессора при различных процессах сжатия .....	65
5.3 Многоступенчатое сжатие.....	66
5.4 Действительная индикаторная диаграмма одноступенчатого компрессора	70
5.5 Работа и мощность действительного компрессора.....	71
<b>6 КРУГОВЫЕ ПРОЦЕССЫ. ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ</b> .....	73
6.1 Круговые термодинамические процессы (циклы) .....	73
6.2 Формулировки второго закона термодинамики для прямых обратимых циклов .....	75
6.3 Подвод и отвод тепла в цикле .....	77
6.4 Термический коэффициент полезного действия цикла .....	79
6.5 Обратный цикл .....	80

<b>7 ЦИКЛ КАРНО. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ ВТОРОГО ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ .....</b>	<b>83</b>
7.1 Цикл Карно.....	83
7.2 Математическое выражение второго закона термодинамики .....	88
<b>8 ЭНТРОПИЯ ТЕЛА И ЭНТРОПИЙНЫЕ ДИАГРАММЫ.....</b>	<b>91</b>
8.1 Понятие об энтропии .....	91
8.2 Энтропийные диаграммы .....	94
8.3 Изображение термодинамических процессов и циклов в $T_s$ диаграмме .....	95
8.4 Изображение цикла Карно в $T_s$ -диаграмме и доказательство теоремы Карно .....	98
8.5 Средние температуры подвода и отвода тепла и их влияние на экономичность цикла .....	101
<b>9 ЦИКЛЫ ГАЗОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ .....</b>	<b>103</b>
9.1 Циклы газовых тепловых двигателей .....	103
9.2 Циклы поршневых газовых двигателей .....	107
9.3 Циклы газотурбинных двигателей .....	114
9.4 Сравнительная экономичность циклов тепловых двигателей.....	119
<b>10 ПАРЫ, ИХ СВОЙСТВА И ПАРАМЕТРЫ.....</b>	<b>123</b>
10.1 Процесс парообразования. Насыщенные и перегретые пары .....	123
10.2 Метод изучения свойств паров. Таблицы для пара .....	126
10.3 Температура насыщения. Объем жидкости и пара.....	128
10.4 Теплота парообразования .....	130
10.5 Энтальпия (теплосодержание) жидкости и пара.....	134
10.6 Энтропия жидкости и пара .....	138
10.7 Диаграммы для водяного пара .....	141
<b>11 ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПАРОВ.....</b>	<b>146</b>
11.1 Процессы изменения состояния пара.....	146
11.2 Общий метод расчета термодинамических процессов паров.....	150
<b>12 ОСНОВНОЙ ЦИКЛ ПАРОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ.....</b>	<b>152</b>
12.1 Цикл Карно для пара .....	152
12.2 Цикл Ренкина .....	153
<b>13 ХОЛОДИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЦИКЛЫ .....</b>	<b>159</b>
13.1 Холодильные установки и их рабочие тела.....	159
13.2 Компрессионная холодильная установка и ее цикл .....	162
<b>14 ВЛАЖНЫЙ ВОЗДУХ.....</b>	<b>165</b>
14.1 Абсолютная и относительная влажность воздуха .....	165
14.2 Молекулярный вес и газовая постоянная влажного воздуха.....	169
14.3 Влагосодержание и энтальпия влажного воздуха.....	170
14.4 $Id$ - диаграмма для влажного воздуха.....	171
<b>15 ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ТЕПЛООБМЕНА .....</b>	<b>177</b>
15.1 Общие сведения.....	177
15.2 Виды передачи тепла .....	177
<b>16 ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ.....</b>	<b>180</b>
16.1 Общие понятия. Основной закон теплопроводности (закон Фурье).....	180