

УДК 621.1.016.7(075)
ББК 31.31я7
Т38

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Казанского национального исследовательского технологического университета*

Рецензенты:

*зав. каф. автоматизации технологических процессов
и производств КГЭУ д-р техн. наук, проф. К. Х. Гильфанов
зав. каф. ТГВ КГАСУ д-р техн. наук, проф. Р. А. Садыков*

**Авторы: Д. Г. Амирханов, Р. Д. Амирханов, М. С. Курбангалеев,
А. А. Мухамадиев, И. Х. Хайруллин**

Т38 Техническая термодинамика : учебное пособие / Д. Г. Амирханов
[и др.]; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол.
ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2017. – 320 с.

ISBN 978-5-7882-2297-4

В краткой форме изложены основы и фундаментальные положения технической термодинамики. Рассматриваются эксергетические методы анализа термодинамических процессов, характеристические функции и химический потенциал, широко используемые при описании процессов в открытых системах. Содержит также лабораторные работы, задания для самостоятельной работы и справочные материалы.

Предназначено для студентов всех форм обучения, изучающих дисциплину «Техническая термодинамика».

Подготовлено на кафедре теоретических основ теплотехники.

**УДК 621.1.016.7(075)
ББК 31.31я7**

ISBN 978-5-7882-2297-4

© Амирханов Д. Г., Амирханов Р. Д.,
Курбангалеев М. С., Мухамадиев А. А.,
Хайруллин И. Х., 2017

© Казанский национальный исследовательский
технологический университет, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ	7
РАЗДЕЛ I. ОСНОВЫ ТЕОРИИ.....	9
ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	9
1.1. Основные параметры состояния	9
1.2. Уравнение состояния идеального газа.....	12
1.3. Уравнения состояния реальных газов	19
1.4. Задания для самостоятельной работы	25
ГЛАВА 2. ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ ДЛЯ ЗАКРЫТЫХ СИСТЕМ	27
2.1. Виды энергии	27
2.2. Аналитическое выражение первого закона термодинамики.....	31
2.3. Теплоемкость газов	33
2.4. Энтальпия	44
2.5. Энтропия идеального газа.....	46
2.6. Основные термодинамические процессы изменения состояния идеального газа	50
2.7. Компрессоры	65
2.8. Задания для самостоятельной работы.	73
ГЛАВА 3. ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ.....	75
3.1. Круговые процессы, или циклы	76
3.2. Общие свойства обратимых и необратимых циклов.....	81
3.3. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах.....	85
3.4. Принцип возрастания энтропии изолированной системы.....	87
3.5. Энтропия как статистическое понятие. Формула Больцмана	89
3.6. Эксергия	92
3.7. Эксергетический баланс и эксергетический КПД.....	99
3.8. Задания для самостоятельной работы.	101

ГЛАВА 4. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИКИ	103
4.1. Дифференциальное уравнение состояния.....	103
4.2. Дифференциальные уравнения теплоты, внутренней энергии, энтальпии и энтропии	105
4.3. Дифференциальные соотношения для теплоемкостей c_p и c_v	110
ГЛАВА 5. ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ.....	120
5.1. Аналитическое выражение первого закона термодинамики для потока.....	120
5.2. Геометрическое воздействие на поток	123
5.3. Истечение из суживающегося сопла	127
5.4. Дросселирование газов	134
5.5. Задания для самостоятельной работы.	139
ГЛАВА 6. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ.....	140
6.1. Основные термодинамические процессы изменения состояния водяного пара.....	149
6.2. Критические явления.....	161
6.3. Влажный воздух.....	176
6.4. Задания для самостоятельной работы	180
ГЛАВА 7. ТЕПЛОВЫЕ УСТАНОВКИ.....	182
7.1. Циклы двигателей внутреннего сгорания	182
7.2. Циклы газотурбинных установок	190
7.3. Циклы паротурбинных установок.....	196
7.4. Парогазовые установки.....	209
7.5. Задания для самостоятельной работы.	210
ГЛАВА 8. ХОЛОДИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ	213
8.1. Циклы воздушных холодильных установок	213
8.2. Циклы паровой компрессорной холодильной установки	216
8.3. Абсорбционная холодильная машина	219
8.4. Схема и устройство теплового насоса	222
8.5. Задания для самостоятельной работы.	224

РАЗДЕЛ II. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ.....	226
Правила техники безопасности	226
Теплотехнические измерения.....	226
Оценка погрешности эксперимента.....	229
Лабораторная работа 21. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА В ПРОЦЕССАХ СУШКИ	234
Лабораторная работа 22. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВОЗДУХА	246
Лабораторная работа 23. ИССЛЕДОВАНИЕ PV -ДИАГРАММЫ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА. ОПЫТ ЭНДРЮСА	256
Лабораторная работа 24. ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВОЙ НАСЫЩЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА.....	267
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	277
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	278
ПРИЛОЖЕНИЕ	279