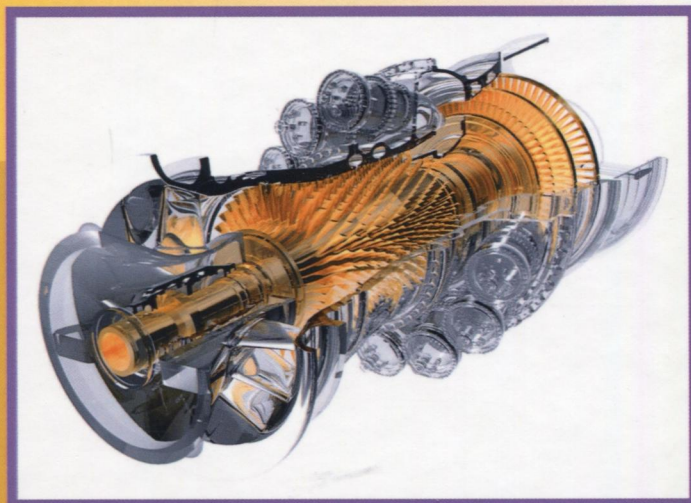


В. Я. ПОТАПОВ, В. Н. МАКАРОВ, Н. В. МАКАРОВ

ТЕРМОДИНАМИКА И ГАЗОДИНАМИКА



В. Я. Потапов, В. Н. Макаров, Н. В. Макаров

ТЕРМОДИНАМИКА И ГАЗОДИНАМИКА

Учебник

Под редакцией доктора технических наук В. Я. Потапова,
доктора технических наук В. Н. Макарова

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2022

УДК 621.1+536.7
ББК 22.317
П64

*Печатается по решению учебно-методического совета
Уральского государственного
горного университета*

Рецензенты:

доктор технических наук, заведующий кафедрой оборудования и автоматизации силикатных производств ФГАОУ ВО «УрФУ» *В. Я. Дзюзер*;
кандидат геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой технологии и техники разведки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «УГГУ» *С. Г. Фролов*

Потапов, В. Я.

П64 Термодинамика и газодинамика : учебник / В. Я. Потапов, В. Н. Макаров, Н. В. Макаров ; под ред. д. т. н. В. Я. Потапова, д. т. н. В. Н. Макарова. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 272 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0827-1

Изложены законы термодинамики и газодинамики, термодинамические и газодинамические процессы. Рассмотрены основы теории подобия и конвективного теплообмена, вопросы истечения газов и пара, газодинамики струй и всасывающих факелов, а также аэродинамики зданий. Представлены законы теплопроводности при стационарном и нестационарном режимах. Приведены основные положения теории пограничного слоя, потенциальных течений несжимаемой жидкости.

Для студентов и аспирантов газовых, машиностроительных и горных вузов. Может быть полезно инженерно-техническим и научным работникам газовой и горнорудной промышленности.

УДК 621.1+536.7
ББК 22.317

ISBN 978-5-9729-0827-1

© Потапов В. Я., Макаров В. Н., Макаров Н. В., 2022
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ТЕРМОДИНАМИКА	7
ВВЕДЕНИЕ В ТЕРМОДИНАМИКУ И ГАЗОДИНАМИКУ. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕРМОДИНАМИКИ И ГАЗОДИНАМИКИ	7
1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	11
1.1.1. Термодинамическая система.....	11
1.1.2. Термические параметры состояния. Уравнение состояния.....	13
1.1.3. Смеси идеальных газов.....	15
1.1.4. Работа и теплота в термодинамическом процессе. Теплоемкость	18
1.1.5. Калорические параметры состояния	23
Примеры решения задач по разделу.....	24
Контрольные вопросы.....	26
1.2. ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ И АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГАЗАХ И ПАРАХ	28
1.2.1. Первый закон термодинамики	28
1.2.2. Анализ основных термодинамических процессов идеального газа ...	30
1.2.3. Общие свойства реальных газов.....	36
1.2.4. Свойства и процессы водяного пара	38
1.2.5. Влажный воздух	43
Примеры решения задач по разделу.....	45
Контрольные вопросы.....	50
1.3. ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОДИНАМИКИ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ	52
1.3.1. Уравнение первого закона термодинамики для потока	52
1.3.2. Истечение газов и паров	55
1.3.3. Дросселирование газов и паров	64
Примеры решения задач по разделу.....	66
Контрольные вопросы.....	68
1.4. ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ И АНАЛИЗ КРУГОВЫХ ПРОЦЕССОВ	70
1.4.1. Сущность и формулировки второго закона термодинамики	70
1.4.2. Цикл Карно	72
1.4.3. Математическое выражение второго закона термодинамики	75

1.4.4. Работоспособность (эксергия)	77
Примеры решения задач по разделу.....	78
Контрольные вопросы.....	80
1.5. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ.....	81
1.5.1. Основные положения теплопроводности	81
1.5.2. Закон Фурье	81
1.5.3. Дифференциальное уравнение теплопроводности.....	81
1.5.4. Краевые условия.....	81
Примеры решения задач по разделу.....	81
Контрольные вопросы.....	81
1.6. РЕЖИМЫ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ.....	91
1.6.1. Теплопроводность при стационарном режиме и граничных условиях первого рода	91
1.6.2. Теплопроводность при стационарном режиме и граничных условиях третьего рода (теплопередача)	91
1.6.3. Теплопроводность при нестационарном режиме	101
Примеры решения задач по разделу.....	101
Контрольные вопросы.....	101
1.7. КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН	101
1.7.1. Основные понятия и определения.....	101
1.7.2. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена	111
1.7.3. Основы теории подобия	111
1.7.4. Моделирование.....	111
1.7.5. Теплостдача при вынужденном движении теплоносителя	111
Примеры решения задач по разделу.....	121
Контрольные вопросы.....	121
РАЗДЕЛ 2. ГАЗОДИНАМИКА.....	121
2.1. ОСНОВЫ АЭРОДИНАМИКИ.....	121
2.1.1. Уравнение неразрывности.....	121
2.1.2. Уравнение энергии.....	121
2.1.3. Уравнение количества движения	121
2.1.4. Уравнение движения.....	131
2.1.5. Уравнение моментов количества движения.....	131

Примеры решения задач по разделу.....	134
Контрольные вопросы.....	138
2.2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ	
ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ	139
2.2.1. Пограничный слой	139
2.2.2. Уравнения пограничного слоя для течения вдоль плоской пластины.....	140
2.2.3. Примеры решения уравнений ламинарного пограничного слоя	142
Примеры решения задач по разделу.....	143
Контрольные вопросы.....	145
2.3. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ТЕЧЕНИЯ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ	146
2.3.1. Плоскопараллельные потоки	150
2.3.2. Источник и сток.....	152
2.3.3. Плоский вихрь	153
2.3.4. Вихреисточник (вихресток)	156
2.3.5. Диполь	158
Примеры решения задач по разделу.....	160
Контрольные вопросы.....	162
2.4. ОБТЕКАНИЕ ТЕЛ ПОТЕНЦИАЛЬНЫМ ПОТОКОМ	163
2.4.1. Бесциркуляционное обтекание круглого цилиндра прямолинейным потоком	163
2.4.2. Обтекание круглого цилиндра с циркуляцией.....	168
2.4.3. Аэродинамическая сила и аэродинамический момент	170
2.4.4. Скорость витания и скорость трогания.....	173
2.4.5. Подъемная сила	175
2.4.6. Теорема Жуковского о подъемной силе для решетки профилей.....	179
Примеры решения задач по разделу.....	184
Контрольные вопросы.....	185
2.5. ДВИЖЕНИЕ ГАЗА В КАНАЛАХ	186
2.5.1. Ламинарное и турбулентное движение.....	186
2.5.2. Расчет падения давления при движении воздуха в каналах некруглого сечения	189
2.5.3. Течение в каналах переменного сечения с изменением направления потоков.....	191
2.5.4. Аэродинамический расчет разветвленных сетей воздухопроводов	194

2.5.5. Воздуховоды и фасонные части	196
2.5.6. Особенности расчета сетей пневмотранспорта.....	197
Примеры решения задач по разделу.....	198
Контрольные вопросы.....	199
2.6. АЭРОДИНАМИКА СТРУЙ И ВСАСЫВАЮЩИХ ФАКЕЛОВ	200
2.6.1. Классификация струй	201
2.6.2. Свободные изотермические струи	203
2.6.3. Неизотермические струи	213
2.6.4. Конвективные струи	217
2.6.5. Всасывающие факелы.....	220
Примеры решения задач по разделу.....	222
Контрольные вопросы.....	224
2.7. АЭРОДИНАМИКА ЗДАНИЙ	225
2.7.1. Обтекание здания воздушным потоком. Распределение давлений на поверхности зданий	225
2.7.2. Аэродинамические коэффициенты	228
2.7.3. Расход воздуха, проходящего через отверстия. Определение давлений на наружной поверхности ограждений	230
2.7.4. Аэрация зданий.....	233
2.7.5. Конструктивное оформление аэрационных устройств	238
2.7.6. Неорганизованный воздухообмен	240
2.7.7. Воздушные завесы	240
2.7.8. Обеспечение чистоты атмосферного воздуха.....	246
2.7.9. Расчет рассеивания в атмосфере вредных веществ из низких источников	248
Примеры решения задач по разделу.....	251
Контрольные вопросы.....	248
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	264
ЛИТЕРАТУРА	266