

10-8588

2198.



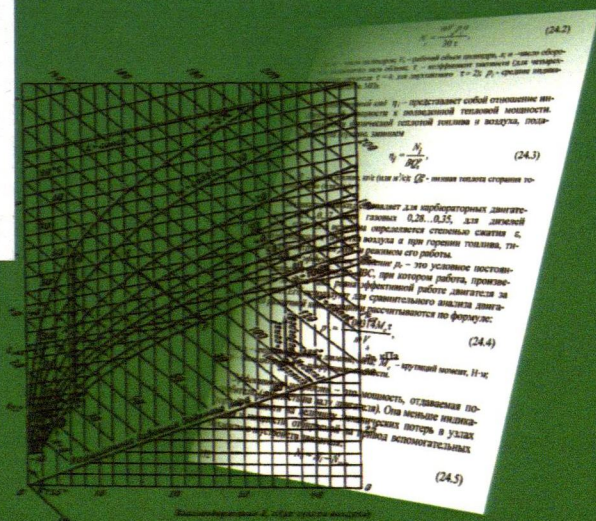
УЧЕБНИК

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

С. П. Рудобашта

ТЕПЛОТЕХНИКА

88001-51



С. П. РУДОБАШТА

ТЕПЛОТЕХНИКА

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ, ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено Министерством сельского хозяйства Российской Федерации
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки высшего образования
«Агроинженерия»

*Издательство «Перо»
Москва 2015*

УДК 621.1:631.3(075.8)

ББК 31.3

Р 83

Рецензенты:

заведующий кафедрой «Тепломассообменные процессы и установки»

Национального исследовательского университета «МЭИ»,

доктор технических наук, профессор

А. Б. Гаряев,

заведующий кафедрой «Энергообеспечение предприятий
и теплотехника» Тамбовского государственного технического
университета, доктор технических наук, профессор

Н. П. Жуков.

Рудобашта С. П.

Р 83

Теплотехника. Издание второе, дополненное. – М.:
Издательство «Перо», 2015. – 672 с.

ISBN 978-5-00086-279-7

Изложены понятия, определения, основные законы и другие закономерности технической термодинамики, дан термодинамический анализ работы энергетических установок и других теплотехнических устройств.

Рассмотрены основы тепломассообмена (теплопроводность, конвекция, излучение, теплопередача, молекулярная диффузия, конвективный массообмен, массопередача, концентрационное равновесие). Приведены основы расчета тепло- и массообменных аппаратов.

Описаны котельные установки, водо- и воздухонагреватели, паро- и газотурбинные установки, двигатели внутреннего сгорания и компрессоры.

Рассмотрено применение теплоты в сельскохозяйственном производстве: отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха, обогрев зданий и сооружений защищенного грунта, снабжение теплотой животноводческих и птицеводческих комплексов, сушка, хранение сельскохозяйственной продукции. Освещены вопросы применения холода в сельском хозяйстве, энергосбережения, использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

Для студентов вузов по направлению «Агроинженерия».

ББК 31.3

ISBN 978-5-00086-279-7

© Рудобашта С. П., 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Введение	5

Раздел 1

ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

Глава 1. Основные понятия и определения	7
1.1. Термодинамика как наука. Термодинамическая система.....	7
1.2. Параметры состояния термодинамической системы	11
1.3. Уравнение состояния идеального газа	15
1.4. Газовые смеси	17
1.5. Теплоемкость	22
1.6. Теплоемкость газовой смеси	25
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>26</i>
Глава 2. Первый закон термодинамики.....	26
2.1. Работа расширения и теплота как формы существования энергии.....	26
2.2. Уравнение первого закона термодинамики для закрытых систем.....	28
2.3. Уравнение первого закона термодинамики для потока.....	31
2.4. Выражение первого закона термодинамики для потока при- менительно к различным теплотехническим устройствам	34
2.5. Формулы для вычисления энтропии и изменения энтропии	36
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>38</i>
Глава 3. Исследование термодинамических процессов идеаль- ных газов в закрытых системах.....	38
3.1. Изохорный процесс	39
3.2. Изобарный процесс	40
3.3. Изотермический процесс	42
3.4. Адиабатный процесс	43
3.5. Политропный процесс.....	45
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>49</i>
Глава 4. Второй закон термодинамики. Эксергия	49
4.1. Круговые процессы (циклы).....	49
4.2. Формулировки второго закона термодинамики	52
4.3. Прямой обратимый цикл Карно	54
4.4. Обратный обратимый цикл Карно	56
4.5. Математическое выражение второго закона термодина- мики для обратимых и необратимых циклов	57
4.6. Эксергия	60
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>61</i>

Глава 5. Идеальные циклы двигателей внутреннего сгорания ..	62
5.1. Допущения, принимаемые при формулировке понятия «идеальный цикл двигателей внутреннего сгорания»	62
5.2. Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме газа	63
5.3. Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении газа ..	65
5.4. Цикл со смешанным подводом теплоты	67
5.5. Сравнение идеальных циклов двигателей внутреннего сгорания	68
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	70
Глава 6. Термодинамический анализ работы компрессоров	70
6.1. Общая характеристика компрессоров	70
6.2. Одноступенчатый компрессор	72
6.3. Мертвое пространство и его влияние на работу компрессора...	75
6.4. Многоступенчатый компрессор	77
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	78
Глава 7. Термодинамические свойства реальных газов	79
7.1. Уравнения состояния реальных газов	79
7.2. Процесс парообразования. Основные понятия и определения ..	81
7.3. p, v -диаграмма водяного пара	83
7.4. Параметры состояния воды и водяного пара	86
7.5. T, s -диаграмма водяного пара	89
7.6. h, s -диаграмма водяного пара	90
7.7. Влажный воздух	92
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	99
Глава 8. Циклы турбинных установок	99
8.1. Цикл Карно на насыщенном паре	99
8.2. Цикл Ренкина на перегретом паре	101
8.3. Теплофикация	104
8.4. Парогазовые циклы	107
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	110
Глава 9. Истечение газа из сопел и диффузоров, дросселирование	110
9.1. Истечение газа из суживающегося сопла	110
9.2. Сверхзвуковое истечение газа из сопла	114
9.3. Истечение водяного пара из сопла	117
9.4. Дросселирование газов и паров	118
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	120
Глава 10. Циклы холодильных установок и тепловых насосов	121
10.1. Общая характеристика холодильных установок и тепловых насосов	121
10.2. Газокомпрессионная холодильная установка	122

10.3. Парокомпрессионная холодильная установка.....	123
10.4. Тепловой насос	127
10.5. Абсорбционная холодильная установка.....	128
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>131</i>

Раздел 2

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕПЛО - И МАССООБМЕНА

Глава 11. Основные положения тепло- и массообмена	132
11.1. Способы распространения теплоты в пространстве	132
11.2. Основные понятия и определения теплообмена	133
11.3. Общие сведения о массообменных процессах	134
11.4. Основные понятия и определения массообмена	136
11.5. Способы выражения состава фаз	138
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>139</i>
Глава 12. Теплопроводность	139
12.1. Закон теплопроводности Фурье	139
12.2. Стационарная теплопроводность в плоской и цилиндрической стенке	141
12.3. Дифференциальное уравнение теплопроводности.....	146
12.4. Условия однозначности задач теплопроводности.....	149
12.5. Постановка и решение задач нестационарной теплопроводности для тел простой формы.....	151
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>157</i>
Глава 13. Конвективный теплообмен	157
13.1. Основные понятия и определения	157
13.2. Уравнение теплоотдачи Ньютона.....	159
13.3. Режимы движения жидкости и пограничный слой	160
13.4. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена...	165
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>166</i>
Глава 14. Основные положения теории подобия и ее применение для описания теплоотдачи	167
14.1. Основные положения теории подобия	167
14.2. Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителя....	175
14.3. Теплоотдача при естественной конвекции	180
14.4. Теплоотдача при кипении.....	182
14.5. Теплоотдача при конденсации	184
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>187</i>
Глава 15. Теплообмен излучением	187
15.1. Основные понятия и определения	187
15.2. Законы теплового излучения	190

15.3. Теплообмен излучением между твердыми телами, разделенными прозрачной средой	191
15.4. Излучение и поглощение газов и паров	194
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	195
Глава 16. Теплопередача	195
16.1. Теплопередача через плоскую стенку	195
16.2. Теплопередача через цилиндрическую стенку	198
16.3. Критический диаметр теплоизоляции цилиндрической стенки ..	203
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	205
Глава 17. Теплообменные аппараты и основы их расчета	205
17.1. Классификация теплообменных аппаратов	205
17.2. Средняя разность температур в рекуперативном теплообменнике	209
17.3. Тепловой расчет рекуперативного теплообменника	213
17.4. Интенсификация теплообмена	214
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	221
Глава 18. Молекулярная диффузия	222
18.1. Закон молекулярной концентрационной диффузии Фика ...	222
18.2. Дифференциальное уравнение диффузии в неподвижной среде ..	225
18.3. Условия однозначности задач диффузии	228
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	230
Глава 19. Конвективный массообмен	230
19.1. Сущность конвективного массообмена	230
19.2. Диффузионный пограничный слой. Уравнение массоотдачи ...	232
19.3. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии ...	235
19.4. Критериальные уравнения для расчета коэффициентов массоотдачи	238
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	240
Глава 20. Массопередача	240
20.1. Фазовое концентрационное равновесие	240
20.2. Основное уравнение массопередачи	241
20.3. Материальный баланс массообменных процессов	242
20.4. Средняя движущая сила массообменных процессов	245
20.5. Модифицированные уравнения массопередачи	248
20.6. Выражение коэффициента массопередачи через коэффициенты массоотдачи	250
20.7. Общая схема массопередачи в системах с твердой фазой и закономерности внутреннего массопереноса	252
20.8. Кинетический расчет процессов массопередачи в системах с твердой фазой	255

<i>Контрольные вопросы и задания</i>	258
--	-----

Раздел 3

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Глава 21. Топливо и расчет процессов горения	260
21.1. Виды, состав топлива и его характеристики	260
21.2. Объемы воздуха, подаваемого на горение, и продуктов сгорания	268
21.3. Энтальпия воздуха и продуктов сгорания	272
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	274
Глава 22. Котельные установки	275
22.1. Классификация котельных установок, основные определения ..	275
22.2. Принципиальная схема паровой котельной установки	277
22.3. Тепловой и эксергетический балансы котла	281
22.4. Топки котлов	284
22.5. Паровые котлы	290
22.6. Водогрейные котлы	294
22.7. Вспомогательные поверхности нагрева котельной установки ..	301
22.8. Водоподготовка	305
22.9. Тягодутьевое оборудование	310
22.10. Контрольно- измерительные приборы и автоматика котельных установок	312
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	314
Глава 23. Нагреватели воды и воздуха	314
23.1. Теплогенераторы и электрические нагреватели воды	314
23.2. Теплогенераторы - воздухонагреватели	323
23.3. Паровые и водяные нагреватели и нагревательные установки воздуха	330
23.4. Электронагреватели и электронагревательные установки воздуха	340
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	343
Глава 24. Двигатели внутреннего сгорания	343
24.1. Общая характеристика и классификация	343
24.2. Принцип действия и рабочие циклы	345
24.3. Показатели экономичности работы двигателя	350
24.4. Тепловой баланс	354
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	355
Глава 25. Компрессоры	355
25.1. Общая характеристика газоперекачивающих устройств. Классификация	355

25.2. Показатели работы компрессора	358
25.3. Компрессоры объемного действия	360
25.4. Компрессоры динамического действия.....	368
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	371
Глава 26. Тепловые электростанции	372
26.1. Основные типы электростанций	372
26.2. Принципиальная тепловая схема КЭС	374
26.3. Принципиальная тепловая схема ТЭЦ.....	376
26.4. Мини – ТЭЦ на базе турбогенераторов.....	378
26.5. Мини – ТЭЦ на базе ДВС	380
26.6. Энергетические показатели эффективности тепловых электростанций	382
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	383

Раздел 4

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Глава 27. Вентиляция и кондиционирование воздуха в помещениях зданий и сооружений	384
27.1. Микроклимат помещений.....	384
27.2. Общая характеристика систем вентиляции	389
27.3. Расчет требуемого расхода воздуха.....	391
27.4. Вентиляторы и их выбор	393
27.5. Кондиционирование.....	404
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	410
Глава 28. Отопление зданий и помещений	411
28.1. Тепловой баланс помещения.....	411
28.2. Тепловые потери помещения	412
28.3. Дополнительные тепловыделения в здании	418
28.5. Системы отопления.....	420
28.6. Отопительные приборы и их расчет	424
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	430
Глава 29. Отопление и вентиляция животноводческих и птицеводческих помещений	430
29.1. Микроклимат животноводческих и птицеводческих помещений	430
29.2. Балансовые уравнения тепло - влаго - и газообмена	436
29.3. Расчет воздухообмена. Угловой коэффициент тепло - и влагообмена	443
29.4. Испарительное охлаждение помещений	448
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	451

Глава 30. Сушка сельскохозяйственных продуктов	452
30.1. Основные понятия и определения	452
30.2. Способы сушки.....	454
30.3. Характеристика влажных материалов и агентов сушки.....	456
30.4. Материальный и тепловой балансы конвективной сушки...	462
30.5. Расчет процесса охлаждения высушенного материала.....	466
30.6. Схемы процесса сушки	467
30.7. Кинетика сушки.....	478
30.8. Конструкции сушилок.....	485
30.9. Технология сушки сельскохозяйственных продуктов	491
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>493</i>
Глава 31. Обогрев сооружений защищенного грунта.....	493
31.1 Общая характеристика сооружений защищенного грунта..	493
31.2. Способы обогрева сооружений защищенного грунта.....	498
31.3. Расчет мощности системы обогрева сооружений защищенного грунта	501
31.4. Устранение перегрева растений в теплицах	504
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>506</i>
Глава 32. Технологические основы хранения продукции растениеводства	507
32.1. Процессы, происходящие при хранении, и условия хранения продукции растениеводства	507
32.2. Хранение зерна	513
32.3. Хранение плодоовощной продукции.....	520
32.4. Динамика охлаждения продуваемого слоя	524
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>528</i>
Глава 33. Применение холода в сельском хозяйстве	529
33.1. Потребители холода	529
33.2. Охлаждение с помощью водного льда	530
33.3. Льдосоляное охлаждение.....	532
33.4. Машинное охлаждение	533
33.5. Расчет холодильной мощности и выбор холодильной установки.....	536
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>538</i>
Глава 34. Системы теплоснабжения в сельском хозяйстве.....	538
34.1. Характеристика систем теплоснабжения и потребителей теплоты	538
34.2. Определение расхода теплоты по укрупненным показателям...	542
34.3. Тепловая мощность котельной. Выбор котлов.....	547
34.4. Графики потребления теплоты.....	549

34.5. Теплотехнические показатели работы котельной	554
34.6. Системы теплоснабжения.....	557
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>561</i>
Глава 35. Тепловые сети	561
35.1. Общие сведения о тепловых сетях	561
35.2. Гидравлический расчет тепловой сети.....	564
35.3. Тепловой расчет сети	567
35.4. Тепловые пункты.....	572
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>575</i>
Глава 36. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии ..	575
36.1. Общая характеристика источников энергии.....	575
36.2. Энергия биомассы	577
36.3. Солнечная энергия	584
36.4. Ветровая энергия	593
36.5. Малая гидроэнергетика.....	595
36.6. Энергия морей и океанов.....	596
36.7. Геотермальная энергия	599
36.8. Водородная энергетика.....	602
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>605</i>
Глава 37. Энергосбережение.....	606
37.1. Общие вопросы энергосбережения	606
37.2. Энергосбережение на ТЭС	609
37.3. Повышение эффективности производства энергии за счет применения мини-ТЭЦ.....	611
37.4. Энергосбережение в тепловых сетях.....	613
37.5. Энергосбережение при отоплении зданий и сооружений ..	616
37.6. Энергосбережение при сушке	626
37.7. Энергетические обследования, энергоаудит и учет теп- ловой энергии	628
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>631</i>
Глава 38. Охрана окружающей среды.....	631
38.1. Общие вопросы. Основные понятия и определения.....	631
38.2. Охрана окружающей среды от вредных выбросов ко- тельных установок.....	635
38.3. Охрана окружающей среды в сельскохозяйственном про- изводстве	643
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	<i>646</i>
Приложения.....	647
Литература.....	652
Предметный указатель	658