

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Пермский государственный аграрно-технологический университет  
имени академика Д.Н. Прянишникова»

С.Г. Гурьянов

## **ТЕПЛОТЕХНИКА**

Методические указания для самостоятельной работы обучающихся

Пермь  
*ИТЦ «Прокрость»*  
2020

УДК 631.371.(075.8)

ББК 40.7

Г 959

*Рецензенты:*

Трутнев Н.В., кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин и оборудования, ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ.

Кучков С.Б., кандидат экономических наук, доцент кафедры технического сервиса и ремонта машин, ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ.

**Г 959 Гурьянов, С.Г.**

Теплотехника : Методические указания для самостоятельной работы обучающихся / С.Г. Гурьянов ; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова». – Пермь : Прокрост, 2020. - 40 с.

В методических указаниях для самостоятельной работы обучающихся приведены общие методические указания для самостоятельной работы обучающихся, представлены вопросы и задания для самоконтроля, задачи.

Методические указания предназначены для обучающихся очной и заочной формы обучения по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

**УДК 631.371.(075.8)**

**ББК 40.7**

Утверждено в качестве методических указаний для самостоятельной работы обучающихся Методической комиссией инженерного факультета ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ (протокол № 2 от 13 октября 2020 г.)

© ИПЦ «Прокрость», 2020

© Гурьянов С.Г., 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	5
2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ.	7
Раздел I. Основы технической термодинамики.....	7
Тема 1 Законы термодинамики.....	7
Тема 2 Свойства рабочих тел.....	10
Тема 3 Термодинамика движущегося газа.....	12
Раздел II. Основы теории теплообмена.....	14
Тема 4 Теплопроводность.....	14
Тема 5 Конвективный теплообмен.....	16
Тема 6 Лучистый теплообмен.....	18
Тема 7 Теплопередача.....	19
Раздел III. Теплотехническое обеспечение объектов обитания .....	20
Тема 8 Пар и влажный воздух.....	20
Тема 9 Топливо и основы горения.....	22
Тема 10 Теплоэнергетические установки.....	23
Тема 11 Теплоснабжение объектов обитания.....	26
Тема 12 Вентиляция и кондиционирование.....	28
Вопросы для подготовки к экзамену.....	30
Заключение.....	33
Библиографический список .....	34
Электронные ресурсы.....	35

## Введение

Методические указания предназначены для помощи в самостоятельном изучении дисциплины «Теплотехника» обучающихся по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин. Основной целью методических указаний для самостоятельной работы обучающихся является стимулирование к творческим видам деятельности и формирование мотивации к самообразованию в общей системе обучения, повторение и закрепление изучаемого материала по разделам дисциплины.

Методические указания для самостоятельной работы обучающихся дисциплине составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Теплотехника», разработанной в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утвержденного Министерством образования и науки РФ 20.10.2015 №1166 по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, направленность (профиль) «Сервис автомобилей и транспортно-технологических машин» (уровень бакалавриата) и учебным планом, утвержденным Ученым советом ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ.

В методических указаниях для самостоятельной работы обучающихся приведены рекомендации по организации самостоятельного изучения дисциплины «Теплотехника», содержание разделов и тем дисциплины, основные понятия каждой темы, вопросы для самоконтроля, задачи для решения, вопросы для подготовки к экзамену.

# 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

К самостоятельному выполнению заданий следует приступать после прочтения теоретического материала методических указаний.

Для наиболее глубокого освоения дисциплины обучающимся рекомендуется изучать литературу, приведенную в данных методических указаниях, как основную, так и дополнительную.

Обучающийся должен уметь определить, расшифровать или объяснить любые использованные им термины, аббревиатуры или понятия.

Для формирования навыков самостоятельной познавательной деятельности необходимо использовать различные формы самостоятельной работы: работу с учебной литературой, ответы на вопросы и задания для самоконтроля, выполнение самостоятельного решения задач.

При работе с учебной литературой рекомендуется использовать различные приемы работы с текстом.

1. Конспектирование – краткая запись, краткое изложение содержания прочитанного. Различают сплошное, выборочное, полное, краткое конспектирование. Конспектировать можно от первого лица или от третьего лица. Предпочтительнее конспектировать от первого лица, т.к. в этом случае лучше развивается самостоятельность мышления.

2. Тезирование – краткое изложение основных идей в определенной последовательности.

3. Реферирование – обзор одного или ряда источников по теме с собственной оценкой их содержания, формы.

4. Составление плана текста – после прочтения текста необходимо разбить его на части и озаглавить каждую из них.

5. Составление формально-логической модели – словесно-схематичное изображение прочитанного.

Контроль за результатами работы осуществляется в виде ответов на вопросы выполнения заданий для самоконтроля и решение задач. Если в процессе самостоятельной работы возникают затруднения (непонимание отдельных положений дисциплины, трудности в решении задач и др.), обучающемуся следует обратиться за консультацией на кафедру к преподавателю, ведущему занятия в соответствующей группе. Основная форма контроля знаний по окончании изучения дисциплины - это экзамен.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

### Раздел I. Основы технической термодинамики

#### Тема 1 Законы термодинамики

##### 1. Содержание темы

Термодинамическая система и параметры ее задания. Энергия системы и ее составляющие. Теплота и работа – формы энергообмена. Первый закон термодинамики. Второй закон термодинамики. Законы термодинамики. Энтропия системы, эксэргия.

**Основные понятия (категории):** термодинамические и калорические параметры состояния системы, внутренняя энергия, энтальпия и энтропия, теплотехнические приборы, оценка погрешности измерения.

##### 2. Вопросы и задания для самоконтроля:

1. Дайте определение термодинамической системы.
2. Что понимается под энергией?
3. Дайте определение теплоты и работы.
4. Перечислите известные Вам приборы для замера давления газов.
5. Назовите известные Вам способы измерения температуры.
6. Что понимается под абсолютной и относительной погрешностью?
7. Дайте определение давления как термодинамического параметра.
8. Дайте определение температуры как термодинамического параметра.
9. Что понимается под молекул газа?

10. Дайте определение удельного объема и плотности газа.

11. Поясните сущность внутренней энергии и энтальпии термодинамической системы.

12. Поясните прикладное значение первого закона термодинамики.

13. Поясните прикладное значение второго закона термодинамики.

### **3. Решить задачи:**

1. Давление в покрышке автомобильного колеса, измеренное трубчатым манометром, равно 0,22 МПа. Чему равно абсолютное давление в покрышке, если внешние условия соответствуют нормальным техническим?

2. В калориметр, содержащий 2,5 литра воды при температуре 17 °С, опустили стальной образец массой 0,32 кг, нагретый до 300 °С. Определить теплоемкость стали, если температура воды повысилась на 21 градус.

3. Какое минимальное время потребуется, чтобы вскипятить 0,7 литра воды кипятильником мощностью 400 Вт в открытом сосуде при нормальных технических условиях? Принять теплоемкость воды  $c_p = 4,18$  кДж/(кг·К). Потерями тепла в окружающую среду и на нагрев сосуда пренебречь.

4. К газу, находящемуся в цилиндре с подвижным поршнем, подводится извне 165 кДж теплоты. Определить изменение удельной внутренней энергии, если газ массой 0,15 кг совершил работу расширения 110 кДж.

5. В испарителе бытового холодильника к 1кг рабочего тела от охлаждаемых продуктов подведено 98 кДж теплоты. Определить энтропию рабочего тела на выходе из



испарителя, если на входе она равна  $s = 6,41$  кДж/(кг·К), а температура в испарителе  $t = -15$  °С.

6. Двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ) в количестве 1,92 кг находится в емкости под давлением 12 МПа с температурой 17 °С. Определить объем и плотность оксида углерода.

7. Газообразный фреон с молярной массой 120 кг/моль в количестве 0,02 кг нагнетается компрессором в объем 2,85 литра до давления 1,5 МПа. Определить температуру сжатого фреона.

8. В баллоне емкостью 40 л находится воздух с давлением 150 бар и температурой 20 °С. Определить массу воздуха в баллоне.

9. Определить, на сколько минут хватит аквалангисту воздуха, содержащегося в двух баллонах по 6 литров каждый при давлении 15 МПа, если аквалангист делает 20 вдохов в минуту и при каждом вдохе потребляет 2,5 литра воздуха при  $p = 0,1$  МПа?

10. Смесь газов при температуре в камере сгорания 2800 К имеет парциальные давления:  $p_{\text{N}_2} = 1,56$  МПа;  $p_{\text{H}_2\text{O}} = 0,93$  МПа;  $p_{\text{CO}_2} = 0,51$  МПа. Определить плотность продуктов сгорания.

11. Газовая смесь при  $t = 15$  °С имеет следующий массовый состав:  $g_{\text{CO}_2} = 0,07$ ;  $g_{\text{O}_2} = 0,21$  и  $g_{\text{N}_2} = 0,72$ . До какого давления нужно сжать эту смесь, чтобы ее плотность достигла 28 кг/м<sup>3</sup>?

12. Газовая смесь, заданная парциальными давлениями:  $p_{\text{N}_2} = 1,4$  МПа,  $p_{\text{CO}_2} = 0,4$  МПа,  $p_{\text{H}_2\text{O}} = 0,2$  МПа и расширяется. Теплоемкость смеси при постоянном давлении  $c_{p \text{ см}} = 1,2$  кДж/(кг·К). Определить показатель адиабаты.

13. Смесь газов задана парциальными давлениями:  $P_{N_2} = 1,2$  МПа и  $P_{O_2} = 0,9$  МПа. Теплоемкость смеси  $c_p = 1,2$  кДж/(кг•К). Определить теплоемкость смеси при постоянном объеме.

## **Тема 2 Свойства рабочих тел**

### **1. Содержание темы**

Понятие рабочего тела. Уравнения состояния идеального и реального газов. Газовые смеси. Теплоемкость газов, влияние на теплоемкость газов различных факторов. Термодинамические процессы. Характерные группы термодинамических процессов. Газ и газовые смеси, рабочее тело тепловых машин. Теплоемкость газов и газовых смесей.

**Основные понятия (категории):** равновесный термодинамический процесс, прикладное значение термодинамических процессов, изображение процессов в различных системах координат, графическая интерпретация теплоты и работы процесса, последовательность анализа изопараметрического процесса.

### **2. Вопросы и задания для самоконтроля:**

1. Запишите и проанализируйте уравнение состояния идеального газа.
2. Перечислите особенности газовых смесей.
3. Как вычисляется газовая постоянная смеси газа?
4. Раскройте особенности теплоемкости газов.
5. Дайте определение термодинамического процесса.
6. Проведите вывод политропного процесса.
7. Проведите вывод выражения работы расширения политропного процесса.
8. Проведите вывод выражения технической работы.

9. Проведите термодинамический анализ изобарного процесса.

10. Проведите термодинамический анализ изохорного процесса.

11. Проведите термодинамический анализ изотермического процесса.

12. Проведите термодинамический анализ адиабатного процесса.

13. Проведите анализ характерных групп политропных процессов.

### 3. Решить задачи:

1. Проба продуктов сгорания, отобранная из цилиндра ДВС при температуре  $2250\text{ }^{\circ}\text{C}$  и давлении  $5,8\text{ МПа}$  и находящаяся в герметичном газоотборнике, охлаждена до  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определить давление охлажденных продуктов сгорания.

2. В поршневом компрессоре  $1\text{ кг}$  воздуха при температуре  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  политропно сжимается от  $p_1 = 0,1\text{ МПа}$  до  $p_2 = 12\text{ МПа}$ . Показатель политропы  $n = 1,28$ . Вычислить температуру в конце сжатия и работу сжатия.

3. При продувке балластных цистерн подводной лодки воздух в количестве  $15\text{ кг}$  при  $p_1 = 15\text{ МПа}$  и  $t_1 = 17\text{ }^{\circ}\text{C}$  расширяется изотермически до тридцатикратного объема. Определить давление воздуха в цистерне и ее объем.

4. Воздух из начального состояния 1 ( $p_1 = 4\text{ МПа}$  и  $t_1 = 1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) изохорно охлаждается до температуры  $t_2 = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а затем изотермически сжимается до состояния 3, в котором  $p_3 = p_1$ . Определить недостающие параметры состояния в точках 1, 2 и 3 и показать процесс 1-2-3 в  $p-v$  и  $T_s$ -координатах.

5. Воздух массой  $4\text{ кг}$  с начальным давлением  $p_1 = 0,2\text{ МПа}$  и начальной температурой  $t_1 = 17\text{ }^{\circ}\text{C}$  сжимается

адиабатно до конечного давления  $p_2 = 1,2$  МПа. Определить объем и температуру воздуха в конце сжатия, изменение внутренней энергии и работу сжатия.

6. Найти приращение энтропии 2,5 кг воздуха: а) при нагревании его в изобарном процессе от 20 до 400 °С; б) при нагревании его в изохорном процессе от 20 до 880 °С; в) при изотермическом расширении с увеличением его объема в 15 раз. Теплоемкость в процессах принимать при средних температурах.

7. В результате сгорания 0,01 кг топлива в ДВС при  $v = \text{const}$  температура рабочего тела изменилась от  $t_2 = 365$  °С до  $t_3 = 215$  °С. Определить изменение внутренней энергии и энтальпии в процессе горения, если молярная масса продуктов горения  $\mu_{\text{см}} = 28,7$  кг/моль и средняя теплоемкость  $c_{v \text{ ср}} = 0,83$  кДж/(кг•К). Сколько подведено теплоты при горении?

8. Определить техническую работу для 1 кг продуктов сгорания в ДВС, если при их адиабатном расширении температура изменяется от  $T_1 = 2650$  К до  $T_2 = 720$  К. Показатель адиабаты  $k = 1,31$ , молярная масса продуктов сгорания  $\mu = 27,3$  кг/моль.

### **Тема 3 Термодинамика движущегося газа**

#### **1. Содержание темы**

Уравнение энергии потока газа и его анализ. Параметры торможения. Движение газа в каналах. Вывод и анализ уравнений скорости и массового расхода газа в сечении канала. Дросселирование газа. Закономерности для потока газа. Температура инверсии газов.

**Основные понятия (категории):** сопла и диффузоры, дозвуковое и сверхзвуковое течение газа, число Маха,

понятие обращения воздействия на поток газа, параметры торможения, критические параметры в потоке газа.

## **2. Вопросы и задания для самоконтроля:**

1. Проанализируйте уравнения энергии в тепловой и механической формах.

2. Поясните, какие параметры называются параметрами торможения.

3. Какие параметры считаются критическими и как они вычисляются?

4. Выведите и проанализируйте уравнение скорости движения газа в канале переменного сечения.

5. Объясните, что понимается под скоростью звука и как она вычисляется.

6. Запишите и проанализируйте уравнение массового расхода газа через канал.

7. Укажите, при каких воздействиях дозвуковой поток будет ускоряться, а при каких – замедляться.

8. Можно ли в сужающемся канале разогнать поток газа до сверхзвуковой скорости?

## **3. Решить задачи:**

1. Воздух из резервуара с постоянным давлением  $p_0 = 10$  МПа и температурой  $T_0 = 288$  К вытекает в атмосферу с давлением  $p_a = 0,1$  МПа через трубку с внутренним диаметром 10 мм. Определить скорость адиабатного истечения воздуха из трубки и его начальный массовый расход.

2. Определить скорость газов на выходе из сверхзвукового сопла, если  $T_0 = 3500$  К;  $p_0 = 25$  МПа;  $R = 310$  (Дж/моль · К);  $p_a = 0,07$  МПа, а показатель политропы расширения  $n = 1,22$ .

3. Определить внутренний диаметр трубы, по которой движется воздух в количестве  $\dot{m} = 0,1$  кг/с со скоростью 2 м/с. Температура воздуха 18 °С, а давление 1,5 бара.

4. Вычислить величину давления торможения воздуха, если в критическом сечении сверхзвукового сопла оно равно  $p_{кр} = 0,6$  МПа.

5. Определить температуру заторможенного воздуха на поверхности космического корабля, движущегося в плотных слоях атмосферы со скоростью 3000 м/с. Температуру окружающей среды принять равной -45 °С.

## Раздел II. Основы теории теплообмена

### Тема 4 Теплопроводность

#### 1. Содержание темы

Основной закон теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности и условия однозначности. Стационарная теплопроводность плоской однослойной стенки. Цилиндрическая стенка. Стационарная и нестационарная теплопроводность.

**Основные понятия (категории):** теплообмен, температурное поле, градиент температуры, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности, плотность теплового потока для плоской и цилиндрических стенок.

#### 2. Вопросы и задания для самоконтроля:

1. Что понимается под теплообменом и какие виды теплообмена Вам известны?

2. Поясните что понимается под температурным полем?

3. Дайте определение градиента температуры.

4. Запишите основной закон теплопроводности и проанализируйте его.

5. Раскройте физическую сущность коэффициента теплопроводности.

6. Перечислите, как осуществляется передача тепла теплопроводностью в металлах, жидких и газообразных телах.

7. Запишите и проанализируйте дифференциальное уравнение теплопроводности.

8. Каков смысл коэффициента температуропроводности?

9. Сформулируйте условия однозначности.

10. Поясните, как изменяется температура по толщине плоской однослойной стенки.

11. Поясните, как изменяется температура по толщине плоской многослойной стенки.

### **3. Решить задачи:**

1. Определить коэффициент теплопроводности материала стенки толщиной 40 мм, если при разности температур на ее поверхностях в 32 градуса плотность теплового потока равна  $14,4 \text{ кВт/м}^2$ .

2. Стены жилого помещения выполнены из красного кирпича, пенобетона и сосновой доски. Толщины слоев соответственно равны:  $\delta_1 = 250 \text{ мм}$ ,  $\delta_2 = 150 \text{ мм}$  и  $\delta_3 = 25 \text{ мм}$ , Длина помещения 5 м, ширина 4 м, высота 2,5 м, а общая площадь окон и двери составляет  $6,5 \text{ м}^2$ . Каковы потери тепла только через стены в зимнее время года, если температура стен изнутри равна  $18^\circ\text{C}$  и  $-30^\circ\text{C}$  снаружи?

3. Потолок жилого помещения длиной 4,5 м и шириной 3,6 м выполнен трехслойным: железобетонная плита толщиной 200 мм, пенопласт ПХВ и сосновая доска

толщиной 40 мм. Какова должна быть толщина пенопласта, чтобы потери тепла через потолок были не более 230 Вт при температурах плиты: со стороны помещения 18 °С и -30 °С наружной стороны доски?

4. Перекрытие погреба размерами 4х3 м состоит из бетонной плиты  $\delta = 250$  мм, шлака котельного  $\delta = 800$  мм и снега толщиной 350 мм. Потери тепла через перекрытие составляют 130 Вт. При какой наружной температуре воздуха поверхность потолка погреба будет равна -2 °С?

## **Тема 5 Конвективный теплообмен**

### **1. Содержание темы**

Сущность конвективного теплообмена. Теплоотдача. Основной закон теплоотдачи. Дифференциальное уравнение теплоотдачи. Методы определения коэффициента теплоотдачи. Основы теории теплового подобия. Критерии теплового подобия. Критериальные уравнения. Теплоотдача при кипении и конденсации теплоносителя. Решение прикладных задач конвективного теплообмена.

**Основные понятия (категории):** конвективный теплообмен, теплоотдача, коэффициент теплоотдачи и факторы на него влияющие, правила теплового подобия процессов теплоотдачи, критерии теплового подобия, критериальные уравнения, определяющие геометрический размер и температура.

### **2. Вопросы и задания для самоконтроля:**

1. Что такое конвективный теплообмен?
2. Поясните, что понимается под теплоотдачей.
3. Запишите и проанализируйте основной закон теплоотдачи.



4. Раскройте физическую сущность коэффициента теплоотдачи и поясните факторы, влияющие на него.
5. Изложите сущность теории теплового подобия.
6. Что понимается под критериальным уравнением?
7. Напишите выражения и объясните сущность критериев теплового подобия.
8. Какие критерии относят к определяемым, а какие – к определяющим?
9. Поясните, как вычисляется коэффициент теплоотдачи при вынужденной конвекции в прямых гладких каналах.
10. Поясните, как изменяется коэффициент теплоотдачи на начальном участке канала.
11. Как влияет кривизна канала на коэффициент теплоотдачи?
12. Для чего вводятся понятия "определяющий размер", "определяющая температура"?
13. Как вычисляется эквивалентный диаметр для каналов?

### **3. Решить задачи:**

1. В трубках бойлера с внутренним диаметром 25 мм нагревающая вода с температурой 130 °С движется со скоростью 0,4 м/с. Каков коэффициент теплоотдачи, если трубка изнутри нагревается до 95 °С?
2. Определить коэффициент теплоотдачи от батареи водяного отопления к воздуху в комнате, если известны: высота батареи 600 мм; температура наружной стенки батареи 55 °С; средняя по высоте батареи температура воздуха 20 °С.
3. По трубе диаметром 30 мм движется воздух со скоростью 10 м/с. Средняя температура воздуха по длине трубы равна 200 °С, коэффициент кинематической вязкости  $\nu$

$= 3,48 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициент теплопроводности  $\lambda = 3,93 \cdot 10^{-2}$  Вт/м К.

4. По каналу вентиляции размерами 400×400 мм движется воздух со скоростью 2 м/с. Температура воздуха в центре канала 5 °С, температура внутренней стенки канала в сечении 15 °С. Используя табличные данные физических свойств воздуха, определить коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху.

## **Тема 6 Лучистый теплообмен**

### **1. Содержание темы**

Сущность лучистого теплообмена. Основные закономерности лучистого теплообмена. Лучистый теплообмен между телами, разделенными прозрачной средой. Излучение газов. Лучистый теплообмен в камерах сгорания.

**Основные понятия (категории):** полный лучистый поток, излучательная способность тела, спектральная интенсивность излучения, степень черноты тела.

### **2. Вопросы и задания для самоконтроля:**

1. Поясните особенности лучистого теплообмена.
2. Запишите и поясните закон Стефана-Больцмана.
3. Поясните особенности лучистого теплообмена между телами, разделенными прозрачной средой.
4. Как вычисляется лучистый поток от факела пламени?

### **3. Решить задачи:**

1. Вычислить удельный лучистый тепловой поток от пламени горящего топлива, имеющего  $T_{\Gamma} = 2300$  К и степень черноты  $\varepsilon_{\Gamma} = 0,265$ , к поверхности камеры сгорания с температурой  $T_{ст} = 950$  К и  $\varepsilon_{ст} = 0,82$ .

2. Определить степень черноты смеси газов, состоящих из  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , если температура смеси равна 2500 К; парциальные давления газов:  $p_{\text{CO}_2} = 4$  МПа и  $p_{\text{H}_2\text{O}} = 1,5$  МПа. Диаметр цилиндрического объема, в котором находится смесь, равен 700 мм, высота цилиндра равна его диаметру.

3. Определить отвод тепла излучением от коллектора выхлопных газов дизельного двигателя. Коллектор выполнен из чугуна наружным диаметром 150 мм и общей длиной 1200 мм. Температура поверхности коллектора 437 °С. Обратным излучением среды на коллектор пренебречь.

4. Определить количество тепла, переданного излучением дымовых газов стенкам трубчатого теплообменника. Температура газов 1100 °С; степень черноты газов  $\varepsilon_r = 0,32$ ; наружная температура труб 820 °С; степень черноты наружных стенок труб  $\varepsilon_{\text{ст}} = 0,84$ ; площадь поверхности труб 2,5 м<sup>2</sup>.

## **Тема 7 Теплопередача**

### **1. Содержание темы**

Уравнение теплопередачи. Факторы, влияющие на коэффициент теплопередачи. Интенсификация теплопередачи. Теплозащита. Теплообменные аппараты, их классификация. Расчет теплообменных аппаратов. Теплообменные аппараты и методы их расчета. Особенности расчета тепловых труб.

**Основные понятия (категории):** теплопередача, коэффициент теплопередачи, рекуператоры, регенераторы, смесители.

### **2. Вопросы и задания для самоконтроля:**

1. Запишите и поясните уравнение теплопередачи.
2. Как осуществить интенсификацию теплопередачи?

3. Теплоизоляция и теплозащита, их сущность.
4. Классификация теплообменных аппаратов.
5. Поясните алгоритм расчета рекуператора.

### **3. Решить задачи:**

1. В противоточный водоводяной теплообменник с поверхностью теплопередачи  $2 \text{ м}^2$  поступает  $2100 \text{ кг/ч}$  нагревающей воды с температурой  $t'_1 = 95 \text{ °C}$ . Нагреваемая вода имеет  $\dot{m} = 1300 \text{ кг/ч}$  и  $t'_2 = 16 \text{ °C}$ . Определить конечные температуры теплоносителей, если коэффициент теплопередачи  $k = 1400 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ .

2. Определить поверхность нагрева рекуперативного водовоздушного теплообменника при прямоточном и противоточном движении теплоносителей. Массовый расход воды через теплообменник  $\dot{m}_1 = 0,1 \text{ кг/с}$ , ее температура на входе и выходе соответственно равна  $t'_1 = 95 \text{ °C}$  и  $t''_1 = 65 \text{ °C}$ . Воздух необходимо нагреть от  $t'_2 = -10 \text{ °C}$  до  $t''_2 = 30 \text{ °C}$  при коэффициенте теплопередачи  $k = 48 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ .

## **Раздел III. Теплотехническое обеспечение объектов обитания**

### **Тема 8 Пар и влажный воздух**

#### **1. Содержание темы**

Фазовые переходы. Парообразование и параметры паров. Диаграммы состояния отдельных веществ. Влажный воздух и его характеристики. Диаграмма Рамзина. Обработка влажного воздуха. Теория тепломассопереноса.

**Основные понятия (категории):** парообразование, абсолютная влажность, относительная влажность, влагосодержание, температура точки росы.

#### **2. Вопросы и задания для самоконтроля:**

1. Что понимается под степенью сухости пара?
2. Что такое перегретый пар?
3. Какой воздух называют влажным?
4. Что понимается под относительной влажностью?
5. Дать определение температуре точки росы.
6. Что понимается под влагосодержанием?
7. Выразить величину влагосодержания через относительную влажность.
8. Объяснить принцип построения  $i$ - $d$ -диаграммы.
9. Показать, как определяются параметры влажного воздуха по  $i$ - $d$ -диаграмме.

### **3. Решить задачи:**

1. Психрометр, установленный в овощехранилище, показывает температуры:  $t_c = 24$  °С и  $t_m = 20$  °С. Используя  $i$ - $d$ -диаграмму влажного воздуха, определить влагосодержание, относительную влажность и температуру точки росы.
2. Температура воздуха в сооружении 22 °С, относительная влажность 90%. Используя  $i$ - $d$ -диаграмму влажного воздуха, определить следующие характеристики: энтальпию, влагосодержание, температуру точки росы и парциальное давление водяного пара в помещении.
3. Используя  $i$ - $d$ -диаграмму влажного воздуха, определить в сооружении температуру воздуха, температуру точки росы, парциальное давление водяного пара, если относительная влажность воздуха  $\varphi = 90\%$  и влагосодержание  $d = 17$  г/кг.
4. В помещении объемом 60 м<sup>3</sup> при атмосферном давлении 750 мм рт.ст. влагосодержание воздуха  $d = 9$  г/кг. Какую массу воды необходимо испарить в помещении для достижения комфортных условий ( $t = 23$  °С,  $\varphi = 70\%$ )? При решении использовать  $i$ - $d$ -диаграмму влажного воздуха.

## Тема 9 Топливо и основы горения

### 1. Содержание темы

Источники энергии. Химические топлива. Механизм воспламенения и горения химических топлив. Возобновляемые источники энергии. Альтернативные горючие.

**Основные понятия (категории):** топливо, горючее, окислитель, стереохимическое соотношение компонентов топлива, коэффициент избытка окислителя, теплота сгорания топлива.

### 2. Вопросы и задания для самоконтроля:

1. Поясните, что понимается под топливом.
2. Поясните, как определяется условная химическая формула компонента топлива.
3. Поясните, что такое стехиометрическое соотношение компонентов.
4. Поясните, что понимают под коэффициентом избытка окислителя.
5. Поясните, что понимают под высшей и низшей теплотой сгорания.
6. Поясните, как протекает процесс воспламенения твердого горючего в среде газообразного окислителя.
7. Поясните, как протекает процесс воспламенения гетерогенных топлив.
8. Поясните, как протекает процесс воспламенения гомогенных топлив.
9. Что такое детонационное горение.

### 3. Решить задачи:

1. Природный газ, имеющий условную химическую формулу  $C_{62,3}H_{248}$ , сгорает в воздухе массового состава  $g_{N_2} =$

0,752 и  $g_{O_2} = 0,232$ . Определить стехиометрическое соотношение компонентов топлива.

2. Керосин, имеющий массовый состав  $g_C = 0,867$  и  $g_H = 0,133$  сгорает в смеси с воздухом состава  $g_{N_2} = 0,752$  и  $g_{O_2} = 0,232$ . Определить действительное соотношение компонентов, если коэффициент избытка окислителя  $\alpha = 0,8$ .

3. Биогаз, имеющий химическую формулу  $NH_3$ , сгорает с воздухом, условная химическая формула которого  $N_{53,9}O_{14,5}$ . Определить действительное соотношение компонентов, если коэффициент избытка окислителя  $\alpha = 0,7$ .

4. Найти коэффициент избытка окислителя, если при сгорании бензина ( $C_{72,25}H_{133}$ ) с воздухом ( $N_{53,9}O_{14,5}$ ) на 1 кг бензина подается 17,3 кг воздуха.

## Тема 10 Теплоэнергетические установки

### 1. Содержание темы

Компрессоры. Циклы поршневых компрессоров. Способы получения низких температур. Цикл паровой компрессорной холодильной машины. Цикл Карно. Циклы двигателей внутреннего сгорания. Компрессоры и холодильные машины. Циклы двигателей внутреннего сгорания.

**Основные понятия (категории):** степень повышения давления в компрессоре, подача компрессора, коэффициент объемной подачи, многоступенчатое сжатие газов, обратный цикл Карно, холодильный коэффициент, хладагенты, тепловые насосы.

### 2. Вопросы и задания для самоконтроля:

1. Дайте определение термодинамического цикла.
2. Анализ цикла ДВС с подводом тепла при  $v = \text{const}$ .

3. Анализ цикла ДВС с подводом тепла при  $p = \text{const}$ .
4. Анализ цикла ГТД.
5. Цикл Карно, его особенности.
6. Компрессоры, их классификация.
7. Что относят к показателям компрессора?
8. Что такое подача компрессора?
9. На что влияет вредный объем в поршневом компрессоре?
10. Чем ограничивается величина давления в ступени?
11. Как подсчитывается величина индикаторной мощности?
12. Как определяется число ступеней компрессора?
13. Зачем охлаждают газ между ступенями поршневых компрессоров?
14. Объяснить принцип работы ПКХМ.
15. Изобразите цикл ПКХМ в  $Ts$ -координатах и поясните его.
16. Что понимается под холодильным коэффициентом?
17. Чем определяется давление после компрессора?
18. Какую функцию выполняет дроссель?
19. Какую функцию выполняет конденсатор?
20. Для чего нужен испаритель?
21. Что используется в качестве хладагента?
22. Назовите известные Вам способы понижения температуры тела.
23. Изобразите цикл воздушной холодильной машины в  $Ts$ -координатах и поясните его.
24. Поясните принцип работы теплового насоса.

### **3. Решить задачи:**

1. При горении топлива в турбореактивном двигателе при постоянном давлении изменение удельной энтальпии  $\Delta i =$



1800 Дж/кг. Определить термический КПД двигателя, если с каждым килограммом продуктов сгорания из двигателя отводится 810 кДж/кг теплоты.

2. Вычислить термический КПД карбюраторного ДВС, имеющего степень сжатия  $\varepsilon = 8,3$  и  $\kappa = 1,28$ .

3. Вычислить термический КПД газотурбинного двигателя при  $\pi = 18$  и  $\kappa = 1,33$ .

4. Вычислить термический КПД дизельного двигателя при  $\rho = 1,9$ ;  $\varepsilon = 22$  и  $\kappa = 1,28$ .

5. При адиабатном расширении рабочего тела в цикле Карно изменение температуры  $\Delta T = 1000$  К. Вычислить термический КПД цикла при  $T_1' = 2500$  К и при  $T_1'' = 1800$  К. Объяснить полученный результат.

6. В ДВС с изохорным подводом тепла известны:  $p_1 = 0,097$  МПа;  $t_1 = 270$ С;  $\lambda = 3,25$ ;  $\varepsilon = 8,5$ ;  $\kappa = 1,28$ . Определить термический КПД и сравнить его с КПД цикла Карно при максимальной и минимальной температурах изохорного цикла.

7. В ДВС с изобарным подводом тепла известны:  $p_1 = 0,185$  МПа;  $t_1 = 32$  °С;  $\varepsilon = 19,5$ ;  $\rho = 1,8$ ;  $\kappa = 1,27$ . Определить термический КПД и сравнить его с термическим КПД цикла Карно при максимальной и минимальной температурах изобарного цикла.

8. На вход в газотурбинный двигатель с подводом тепла при постоянном давлении подается воздух с давлением  $p_1 = 0,082$  МПа и температурой  $t_1 = -15$  °С. При сжатии в компрессоре температура воздуха повышается до  $t_2 = 257$  °С. Максимальная температура в камере сгорания 947 °С. Определить недостающие параметры состояния в характерных точках цикла и его термический КПД. Построить цикл в  $p-v$  и  $Ts$ -координатах.

## **Тема 11 Теплоснабжение объектов обитания**

### **1. Содержание темы**

Основы теплового расчета объекта обитания. Преобразователи энергии химических топлив. Котельные установки. Тепловые сети. Системы отопления и горячего водоснабжения. Системы отопления объектов обитания. Перспективные системы теплоснабжения.

**Основные понятия (категории):** низшая и высшая теплота сгорания топлива, тепловая мощность, брутто котла, системы котельной установки.

### **2. Вопросы и задания для самоконтроля:**

1. Перечислите основные объекты котельной установки.
2. Для чего предназначена котельная установка?
3. Поясните, что такое парогенератор.
4. Поясните, что называют водогрейным котлом.
5. Поясните, что называют воздухонагревателями.
6. Перечислите энергетические показатели химических теплогенераторов.
7. Как записывается уравнение теплового баланса для объекта обитания?
8. Перечислите требования к теплоносителю системы теплоснабжения.
9. Назовите особенности устройства тепловых сетей.

### **3. Решить задачи:**

1. Объем всасываемого воздуха в одноступенчатом поршневом компрессоре равен 2,5 литра. Вычислить работу цикла при сжатии воздуха от  $p_{вх} = 0,1$  МПа до  $p_{вых} = 3,8$  МПа в различных процессах: адиабатном, изотермическом и политропном с  $n = 1,28$ . Сделать вывод.

2. Двухступенчатый поршневой компрессор сжимает воздух от  $p_{\text{вх}} = 0,1$  МПа до  $p_{\text{вых}} = 1,6$  МПа. Подача компрессора  $= 72$  м<sup>3</sup>/ч. Определить распределение давления между ступенями и потребную мощность для сжатия воздуха при  $n = 1,27$ .

3. Из поршневого детандера воздушной холодильной машины в теплообменник воздух поступает с температурой  $-42$  °С и давлением  $0,18$  МПа. В изобарном процессе в теплообменнике от охлаждаемого тела к воздуху подводится  $34$  кДж/кг тепла. Степень повышения давления в компрессоре ВХМ  $\pi_k = 3,6$ . Сжатие и расширение воздуха считать политропным с показателем  $n = 1,38$ . Определить холодильный коэффициент ВХМ.

4. Воздушная холодильная установка с поршневым детандером имеет холодильную мощность  $\dot{Q} = 2,3$  кВт. Определить холодильный коэффициент и массовый расход хладагента ВХМ, если компрессор изменяет давление от  $p_1 = 0,11$  МПа до  $p_2 = 0,38$  МПа; температура входе в компрессор  $t_1 = -5$  °С. Сжатие в компрессоре осуществляется с показателем  $n = 1,28$ , а расширение в детандере с  $n = 1,20$ . Температура воздуха на входе в детандер  $t_3 = 35$  °С. Построить цикл в Ts-координатах.

5. Определить холодильную мощность ПКХМ, если известно, что в качестве хладагента используется фреон R-22 с массовым расходом  $\dot{m} = 0,013$  кг/с. Температура хладагента на входе и выходе из компрессора при адиабатном сжатии соответственно равна:  $t_1 = -35$  °С и  $t_2 = 65$  °С. Построить цикл ПКХМ в Ts-координатах. При решении использовать диаграмму состояния фреона R-22 в координатах  $\ln p-i$ .

6. К  $1$  кг рабочего тела в испарителе бытового холодильника с холодильным коэффициентом  $\varepsilon = 2,5$

подведено от охлаждаемых продуктов  $q = 68$  кДж/кг теплоты. Определить удельную работу компрессора и энтропию рабочего тела на выходе из испарителя, если на входе она равна  $s = 6,41$  кДж/(кг•К), а температура в испарителе  $t = -15$  °С.

7. Химическая формула фреона  $\text{CHFCL}_2$ . Какова международная маркировка этого хладагента?

8. Составить химическую формулу фреона R 134.

## **Тема 12 Вентиляция и кондиционирование**

### **1. Содержание темы**

Определение потребной подачи воздуха в объект обитания. Системы вентиляции объектов. Кондиционирование воздуха. Системы кондиционирования в автотранспорте. Тепломассообмен в системах кондиционирования.

**Основные понятия (категории):** осевой, радиальный, диаметральный вентиляторы, аэродинамические характеристики вентиляторов, номер радиального вентилятора, подбор вентилятора.

### **2. Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Каково назначение систем вентиляции и их классификация?
2. Какие типы вентиляторов Вам известны? Поясните их принцип работы.
3. Запишите и проанализируйте уравнение Эйлера для рабочего колеса вентилятора.
4. Как рассчитывается необходимая подача вентилятора?
5. Как определяется необходимое давление на выходе вентилятора?
6. Что понимается под номером серии вентилятора?

7. Как осуществляется подбор вентилятора?
8. Объясните отличие систем вентиляции от систем кондиционирования воздуха.
9. Раскройте систему очистки воздуха в кондиционере.
10. Как нагревается и охлаждается воздух в кондиционере?
11. Какую функцию в кондиционере выполняет камера орошения?
12. Зачем необходим блок озонирования в кондиционере?

### **3. Решить задачи:**

1. В сварочный цех необходима объемная подача воздуха  $3500 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Используя аэродинамическую характеристику вентилятора, определить № вентилятора, его КПД и обороты, если необходимое избыточное давление на выходе из вентилятора  $900 \text{ Па}$ .

2. Центробежный вентилятор с диаметром колеса  $D_2 = 0,5 \text{ м}$  вращается с частотой  $1400 \text{ об/мин}$ . Определить объемную подачу вентилятора и создаваемое им избыточное давление, если его КПД равен  $75\%$ . При решении использовать аэродинамическую характеристику вентилятора.

## Вопросы для подготовки к экзамену

1. Термодинамическая система. Характеристики систем.
2. Термодинамические параметры состояния.
3. Внутренняя энергия и энтальпия – функции состояния систем.
4. Теплота и работа – формы энергообмена.
5. Первый закон термодинамики, его сущность и математическое выражение.
6. Второй закон термодинамики, его сущность и математическое выражение.
7. Уравнение состояния идеального газа.
8. Теплоемкость газов, ее зависимость от температуры.
9. Политропный процесс, его анализ.
10. Изохорный процесс, его анализ.
11. Изотермический процесс, его анализ.
12. Изобарный процесс его анализ.
13. Адиабатный процесс, его анализ.
14. Влажный воздух, его характеристики.
15. Определение параметров влажного воздуха по  $i-d$ -диаграмме.
16. Уравнение скорости газа в каналах.
17. Уравнение расхода газа через канал.
18. Уравнение энергии газового потока, его анализ.
19. Параметры торможения потока газа.
20. Дросселирование газа.
21. Цикл Карно, его анализ.
22. Идеальный цикл ДВС с подводом тепла при  $v = \text{const}$ .

23. Идеальный цикл ДВС с подводом тепла при  $p = \text{const}$ .
24. Идеальный цикл газотурбинной установки.
25. Поршневой компрессор, его показатели.
26. Идеальный цикл одноступенчатого поршневого компрессора.
27. Цикл паровой компрессорной холодильной установки.
28. Теплопроводность. Основной закон теплопроводности.
29. Стационарная теплопроводность однослойной плоской стенки.
30. Основной закон теплоотдачи.
31. Коэффициент теплоотдачи, факторы на него влияющие.
32. Основы теории теплового подобия.
33. Критерии теплового подобия, критериальные уравнения.
34. Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителя в каналах.
35. Лучистый теплообмен, его закономерности.
36. Лучистый теплообмен между телами, разделенными прозрачной средой.
37. Уравнение теплопередачи, его анализ.
38. Интенсификация теплопередачи. Тепловая защита.
39. Теплообменные аппараты, их классификация.
40. Расчет рекуперативного теплообменника.
41. Топливо и основы горения.
42. Котельные установки. Теплогенераторы.
43. Тепловые сети, тепловые пункты.
44. Системы отопления сооружений.

45. Системы горячего водоснабжения.
46. Вентиляция помещений. Расчет подачи воздуха при вентиляции.
47. Вентиляторы, их принцип работы. Подбор вентиляторов.
48. Кондиционирование воздуха. Требования к системам кондиционирования.
49. Виды систем кондиционирования. Устройство кондиционера.
50. Обработка воздуха в кондиционерах.



## Заключение

Для формирования навыков проведения теплотехнических расчётов и изучения основ теплотехники в процессе самостоятельной работы обучающемуся рекомендовано:

- активно исследовать рекомендованную литературу по каждой теме дисциплины, законспектировать ответы на вопросы для самопроверки знаний и подготовиться по составленному конспекту к сдаче экзамена по дисциплине;

- закрепить навыки проведения теоретических расчетов и теоретические знания путем самостоятельного решения представленных задач по каждой теме дисциплины;

- пройти по вопросам и заданиям в разрезе тем дисциплины для завершения подготовки к экзамену.

С целью оптимизации поиска информационных источников обучающемуся рекомендуется использовать не только учебную литературу, представленную в библиотечных фондах, но и находящуюся в электронных библиотечных системах (ЮРАЙТ, РУКОНТ, ЛАНЬ и т.д.), электронных периодических справочниках и справочно-правовых системах. С наличием учебной литературы, находящейся в библиотечных фондах обучающийся может ознакомиться в электронном каталоге университета и электронной библиотеке. Наряду с представленными источниками информации с целью расширения возможностей информационного поиска обучающемуся следует воспользоваться Интернет-ресурсами, находящимися в свободном доступе.

## Библиографический список

### Основная:

1. Круглов, Г. А. Теплотехника. Электронный ресурс : учебное пособие для ВО / Г. А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е. С. Круглова. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Издательство Лань, 2020. – 208 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/143117/#4>

2. Манташов, А. Т. Теплотехника. Электронный ресурс : учебное пособие : в 2 частях. Часть 1. Термодинамика и теплопередача / А. Т. Манташов. – Пермь : Издательство Пермская ГСХА, 2011. – 184 с. Режим доступа: <https://pgsha.ru/generalinfo/library/elib/>

3. Манташов, А. Т. Теплотехника. Электронный ресурс : учебное пособие : в 2 частях. Часть 2. Теплотехническое обеспечение обитаемости объектов сельскохозяйственного назначения / А. Т. Манташов. – Пермь : Издательство Пермская ГСХА, 2011. – 116 с. Режим доступа: <https://pgsha.ru/generalinfo/library/elib/>

### Дополнительная:

1. Кошман, В. С. Словарь терминов и определений по гидравлике, теплотехнике и газовой динамике. Электронный ресурс : учебное пособие / В. С. Кошман, А.Т. Манташов. – Пермь : Издательство Пермская ГСХА, 2011. – 55 с. Режим доступа: <https://pgsha.ru/generalinfo/library/elib/>

1. Манташов, А. Т. Практикум по теплотехнике. Электронный ресурс : учебное пособие / А. Т. Манташов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Пермь : Издательство Прокрость, 2015. – 90 с. Режим доступа: <https://pgsha.ru/generalinfo/library/elib/>

2. Манташов, А. Т. Теплотехника. Электронный ресурс : Сборник задач / А. Т. Манташов. – Пермь: Издательство Прокрость, 2018. – 108 с. Режим доступа: <https://pgsha.ru/generalinfo/library/elib/>

3. Периодические издания: СПРАВОЧНИК. ИНЖЕНЕРНЫЙ ЖУРНАЛ С ЕЖЕМЕСЯЧНЫМ ПРИЛОЖЕНИЕМ. КОМПЛЕКТ. ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЕЛА

### Электронные ресурсы

1. Электронный каталог библиотеки Пермского ГАТУ: базы данных, содержащие сведения о всех видах лит., поступающей в фонд библиотеки Пермского ГАТУ (<https://pgsha.ru/generalinfo/library/webirbis/>).

2. Собственная электронная библиотека (<https://pgsha.ru/generalinfo/library/elib/>).

3. ConsultantPlus: (КонсультантПлюс): компьютерная справочно-правовая система.

4. ЭБС издательского центра «Лань» – «Ветеринария и сельское хозяйство», «Лесное хозяйство и лесоинженерное дело», «Инженерно-технические науки», «Информатика», «Технологии пищевых производств» (<http://e.lanbook.com/>)

5. «ЭБС ЮРАЙТ» [www.biblio-online.ru](http://www.biblio-online.ru).

6. Электронная библиотечная система «Национальный цифровой ресурс «Рукопт». Коллекция «Электронная библиотека авторефератов диссертаций ФГБОУ ВПО РГАУ МСХА имени К.А. Тимирязева», тематическая коллекция «Сельское хозяйство. Лесное дело» (<https://lib.rucont.ru/search>)

7. ООО Научная электронная библиотека

[\(http://elibrary.ru/\)](http://elibrary.ru/).

8. ООО «ИД «Гребенников» (<http://grebennikon.ru>).

9. ЭБС Библиокомплектатор. Тематические коллекции через платформу Библиокомплектатор «Информатика и вычислительная техника», «Геодезия. Землеустройство», «Технические науки» (<http://www.bibliocomplectator.ru/>).

10. ЭБС Polpred.com (Полпред.ком). Доступ к электронным изданиям «Агропром в РФ и за рубежом» (<https://polpred.com/>).

Архив контрактов на предоставление доступа к электронно-библиотечным системам представлен на сайте Университета (<https://pgsha.ru/generalinfo/library/accreditation/>).