

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра «физики»**

**Методические рекомендации для  
самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

*Б1.Б.14 Теплофизика*

**Направление подготовки (специальность) 20.03.01 "Техносферная безопасность"**

**Профиль образовательной программы "Безопасность жизнедеятельности в  
техносфере"**

**Форма обучения заочная**

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>1. Организация самостоятельной работы .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Методические рекомендации по выполнению индивидуальных домашних заданий .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Темы индивидуальных домашних заданий .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Содержание индивидуальных домашних заданий .....</b>	<b>3</b>
<b>2.3 Порядок выполнения заданий .....</b>	<b>4</b>
<b>2.4 Пример выполнения задания .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Методические рекомендации по самостоятельному изучению вопросов ....</b>	<b>10</b>
<b>4. Методические рекомендации по подготовке к занятиям .....</b>	<b>11</b>

# 1. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

## 1.1. Организационно-методические данные дисциплины

№ п.п.	Наименование темы	Общий объем часов по видам самостоятельной работы				
		подготовка курсового проекта (работы)	подготовка реферата/эссе	индивидуальные домашние задания (ИДЗ)	самостоятельное изучение вопросов (СИБ)	подготовка к занятиям (ПкЗ)
1	2	3	4			
1	Предмет теплофизики	-	-	1	5	-
2	Законы термодинамики	-	-	2	5	4
3	Термодинамические процессы и циклы	-	-	2	10	-
4	Реальные газы и пары	-	-	3	10	2
5	Течение и дросселирование газов и паров	-	-	2	10	2
6	Тепловые машины и их циклы	-	-	3	10	2
7	Холодильные машины и их циклы	-	-	2	10	-
8	Теплообмен. Теплопроводность	-	-	2	10	-
9	Конвективный теплообмен. Теплообмен излучением	-	-	2	20	-

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ

Индивидуальные домашние задания выполняются в форме контрольной работы.

### 2.1 Темы индивидуальных домашних заданий

1. Расчет термодинамического процесса
2. Расчет изобарного процесса
3. Расчет изохорного процесса
4. Определение критического давления потока
5. Определение критической скорости потока
6. Течение водяного пара
7. Сравнение циклов двигателей внутреннего сгорания
8. Сравнение циклов газотурбинных установок
9. Сравнение циклов холодильных установок
10. Расчет теплового потока через однослойную стенку
11. Расчет теплового потока через многослойную стенку
12. Регулярный режим нестационарной теплопроводности

### 2.2 Содержание индивидуальных домашних заданий

1. В камере объемом  $V$  содержится  $m_1$  кг кислорода,  $m_2$  кг азота и  $m_3$  кг неона. Температура смеси газов  $T$ . Определить парциальные давления компонент, давление

смеси, а также эффективную молярную массу смеси. Компоненты считать идеальными газами.

2. Найти удельные теплоемкости смеси кислорода и азота при постоянном объеме и при постоянном давлении. Кислорода в смеси содержится  $m_1$  кг, азота  $m_2$  кг.
3. Изобразить последовательность указанных процессов в координатах  $p$ - $V$ ,  $p$ - $T$ ,  $V$ - $T$ .
4. Найти термический КПД газотурбинной установки с подводом теплоты при постоянном объеме и с подводом теплоты при постоянном давлении. Рабочим телом является двухатомный газ.
5. Найти тепловой поток через трехслойную плоскую стенку площадью  $15 \text{ м}^2$ , а также температуры между отдельными слоями. Изобразить распределение температуры в данной стенке.
6. Найти тепловой поток через однослойную плоскую стенку, а также температуры поверхностей стенки.

Исходные данные для расчетов берутся из таблиц по вариантам.

### **2.3 Порядок выполнения заданий**

При решении задач необходимо выполнить следующее:

1. Указать основные законы и формулы, на которых базируется решение задачи, дать словесную формулировку этих законов, разъяснить буквенные обозначения, употребляемые при написании формул.

Если при решении задачи применяется формула, полученная для частного случая, не выражающая какой-нибудь физический закон или не являющаяся определением какой-нибудь физической величины, то ее следует вывести.

2. Дать чертеж, поясняющий содержание задачи (в тех случаях, когда это возможно); выполнять его надо аккуратно при помощи чертежных принадлежностей.

3. Сопровождать решение задачи краткими, но исчерпывающими пояснениями.

4. Выразить все величины, входящие в условие задачи, в единицах одной системы и выписать их для наглядности столбиком. Преимущественно следует пользоваться Международной системой единиц (СИ).

5. Подставить в окончательную формулу, полученную в результате решения задачи в общем виде, числовые значения, выраженные в единицах одной системы. Несоблюдение этого правила приводит к неверному результату. Исключение из этого правила допускается только для тех величин, которые входят в числитель и знаменатель формулы с одинаковыми показателями степени. Такие величины не обязательно выражать в единицах этой системы, в которой ведется решение задачи. Их можно выразить в любых, но только одинаковых единицах.

6. Проверить, дает ли рабочая формула правильную размерность искомой величины. Для этого в рабочую формулу следует подставить размерность всех величин и произвести необходимые действия. Если полученная таким путем размерность не совпадает с размерностью искомой величины, то задача решена неверно.

7. Произвести вычисление величин, подставленных в формулу, руководствуясь правилами приближенных вычислений, записать в ответе числовое значение и сокращенное наименование или размерность единицы измерения искомой величины в той системе, в которой производилось вычисление.

При выполнении контрольных работ студенту необходимо руководствоваться следующим:

1. Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставляются поля. Каждая следующая задача должна начинаться с новой страницы. Условия задач переписываются полностью без сокращений.

2. Решения задач должны сопровождаться исчерпывающими, но краткими объяснениями, раскрываемых физический смысл употребляемых формул.

3. В конце контрольной работы необходимо указать, каким учебником или учебным пособием студент пользовался при изучении физики (название учебника, автор, год издания).

4. В случае, если контрольная работа при рецензировании не зачтена, студент обязан представить ее на повторную рецензию, включив в нее те задачи, решения которых оказались неверными. Повторная работа представляется вместе с незачтенной работой.

5. Студент должен быть готов во время защиты работы дать пояснения по существу решения задач.

## 2.4 Пример выполнения задания

### Задание 1

В камере объемом  $V$  содержится  $m_1$  кг кислорода,  $m_2$  кг азота и  $m_3$  кг неона. Температура смеси газов  $T$ . Определить парциальные давления компонент, давление смеси, а также эффективную молярную массу смеси. Компоненты считать идеальными газами. Молярная масса кислорода  $32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ , азота

-  $28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ ; неона -  $20 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ .

$$m_1 := 1 \text{ кг} \quad m_2 := 0.1 \text{ кг} \quad m_3 := 0.2 \text{ кг} \quad V := 20 \text{ м}^3 \quad T := 1200 \text{ К} \quad R := 8.31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$\mu_1 := 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \quad \mu_2 := 28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \quad \mu_3 := 20 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$pV := \frac{m}{\mu} RT \text{ уравнение Менделеева-Клапейрона}$$

$$p_1 := \frac{m_1 \cdot R \cdot T}{\mu_1 \cdot V} \text{ давление кислорода} \quad p_1 = 1.5581 \times 10^4 \text{ Па}$$

$$p_2 := \frac{m_2 \cdot R \cdot T}{\mu_2 \cdot V} \text{ давление азота} \quad p_2 = 1.7807 \times 10^3 \text{ Па}$$

$$p_3 := \frac{m_3 \cdot R \cdot T}{\mu_3 \cdot V} \text{ давление неона} \quad p_3 = 4.986 \times 10^3 \text{ Па}$$

$$P := P_1 + P_2 + P_3 \text{ закон Дальтона} \quad P = 2.2348 \times 10^4 \text{ Па} \quad \text{давление смеси}$$

$$g_1 := \frac{m_1}{m_1 + m_2 + m_3} \quad \text{массовая доля кислорода} \quad g_1 = 0.7692$$

$$g_2 := \frac{m_2}{m_1 + m_2 + m_3} \quad \text{массовая доля азота} \quad g_2 = 0.0769$$

$$g_3 := \frac{m_3}{m_1 + m_2 + m_3} \quad \text{массовая доля неона} \quad g_3 = 0.1538$$

$$\mu_{\text{см}} := \frac{1}{\frac{g_1}{\mu_1} + \frac{g_2}{\mu_2} + \frac{g_3}{\mu_3}} \quad \text{молярная масса смеси} \quad \mu_{\text{см}} = 0.029 \quad \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

Задание 2

Найти удельные теплоемкости смеси кислорода и азота при постоянном объеме и при постоянном давлении. Кислорода в смеси содержится  $m_1$  кг, азота  $m_2$  кг.

$$m_1 := 1 \quad \text{кг} \quad m_2 := 0.1 \quad \text{кг} \quad \mu_1 := 32 \cdot 10^{-3} \quad \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \quad \mu_2 := 28 \cdot 10^{-3} \quad \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$R_u := 8.31 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$i := 5$  число степеней свободы двухатомного газа

$$g1 := \frac{m1}{m1 + m2} \quad g1 = 0.9091 \quad \text{массовая доля кислорода}$$

$$g2 := \frac{m2}{m1 + m2} \quad g2 = 0.0909 \quad \text{массовая доля азота}$$

$$c_{mv1} := \frac{i}{2} \cdot R \quad c_{mv1} = 20.775 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \quad \text{молярная теплоемкость кислорода при постоянном объеме}$$

$$c_{mv2} := \frac{i}{2} \cdot R \quad c_{mv2} = 20.775 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \quad \text{молярная теплоемкость азота при постоянном объеме}$$

$c_{mp} := c_{mv} + R$  уравнение Майера

$$c_{mp1} := c_{mv1} + R \quad c_{mp1} = 29.085 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \quad \text{молярная теплоемкость кислорода при постоянном давлении}$$

$$c_{mp2} := c_{mv2} + R \quad c_{mp2} = 29.085 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \quad \text{молярная теплоемкость азота при постоянном давлении}$$

$$c_{v1} := \frac{c_{mv1}}{\mu1} \quad c_{v1} = 649.2188 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad \text{удельная теплоемкость кислорода при постоянном объеме}$$

$$c_{v2} := \frac{c_{mv2}}{\mu2} \quad c_{v2} = 741.9643 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad \text{удельная теплоемкость азота при постоянном объеме}$$

$$c_{p1} := \frac{c_{mp1}}{\mu1} \quad c_{p1} = 908.9063 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad \text{удельная теплоемкость кислорода при постоянном давлении}$$

$$c_{p2} := \frac{c_{mp2}}{\mu2} \quad c_{p2} = 1.0388 \times 10^3 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad \text{удельная теплоемкость азота при постоянном давлении}$$

$$c_v := c_{v1} \cdot g1 + c_{v2} \cdot g2 \quad \text{удельная теплоемкость смеси при постоянном объеме}$$

$$c_v = 657.6502 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_p := c_{p1} \cdot g1 + c_{p2} \cdot g2 \quad \text{удельная теплоемкость смеси при постоянном давлении}$$

$$c_p = 920.7102 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Задание 4

Найти термический КПД газотурбинной установки с подводом теплоты при постоянном объеме и с подводом теплоты при постоянном давлении. Рабочим телом является двухатомный газ.

$$\lambda := 15 \quad \varepsilon := 13 \quad k := \frac{5 + 2}{5} \quad k = 1.4 \quad \text{- показатель адиабаты}$$

$$\eta := 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad \eta = 0.6416 \quad \text{коэффициент полезного действия газовой турбины с подводом теплоты при постоянном давлении}$$

$$\eta_w := 1 - \frac{k}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\lambda^{\frac{1}{k}} - 1}{\lambda - 1} \quad \eta = 0.7878$$

коэффициент полезного действия газовой турбины  
с  
подводом теплоты при постоянном объеме

#### Задание 5

Найти тепловой поток через трехслойную плоскую стенку площадью  $15 \text{ м}^2$ , а также температуры между отдельными слоями. Изобразить распределение температуры в данной стенке.

$S_w := 15 \text{ м}^2$  - площадь поверхности теплообмена

$tc1 := 1050 \text{ } ^\circ\text{C}$  - температура одной поверхности стенки

$tc2 := 450 \text{ } ^\circ\text{C}$  - температура другой поверхности стенки

$\lambda_1 := 46 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$  коэффициент теплопроводности первой  
стенки

$\lambda_2 := 19 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$  коэффициент теплопроводности второй  
стенки

$\lambda_3 := 1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$  коэффициент теплопроводности третьей  
стенки

$\delta_1 := 0.01 \text{ м}$  - толщина первой стенки

$\delta_2 := 2 \text{ м}$  - толщина второй стенки



$\delta_3 := 0.1$  м - толщина третьей стенки

$$Q := \frac{(t_{c1} - t_{c2}) \cdot S}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}}$$

$Q = 4.38 \times 10^4$  Вт - тепловой поток через стенку

$$t_{c12} := t_{c1} - \frac{Q}{S} \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_1}$$

$t_{c12} = 1.0494 \times 10^3$  °C - температура между первым и вторым слоями

$$t_{c23} := t_{c12} - \frac{Q}{S} \cdot \frac{\delta_2}{\lambda_2}$$

$t_{c23} = 741.9984$  °C - температура между вторым и третьим слоями

Задание 6

Найти тепловой поток через однослойную плоскую стенку, а также температуры поверхностей стенки.

$t_1 := 1050$  °C - температура одной среды

$t_2 := 50$  °C - температура другой среды

$$\lambda := 46 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \quad \text{коэффициент теплопроводности стенки}$$

$$\delta := 0.01 \quad \text{м} \quad \text{толщина стенки}$$

$$\alpha_1 := 7200 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad \text{коэффициент теплоотдачи одной поверхности стенки}$$

$$\alpha_2 := 7500 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad \text{коэффициент теплоотдачи другой поверхности стенки}$$

$$S := 20 \quad \text{м}^2 \quad \text{площадь поверхности теплообмена}$$

$$Q := \frac{(t_1 - t_2) \cdot S}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$Q = 4.0849 \times 10^7 \quad \text{Вт} \quad \text{тепловой поток через стенку}$$

$$t_{c1} := t_1 - \frac{Q}{\alpha_1 \cdot S}$$

$$t_{c1} = 766.3296 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{температура одной поверхности}$$

$$t_{c2} := t_2 + \frac{Q}{\alpha_2 \cdot S}$$

$$t_{c2} = 322.3236 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{температура другой поверхности}$$

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСОВ

#### 3.1 Газовые смеси

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на способы задания состава газовой смеси.

#### 3.2 Энтальпия

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на использование понятия «энтальпия» в решении задач теплофизики.

#### 3.3 Эффективность превращения энергии разных видов

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на отличительные особенности различных видов энергии.

#### 3.4 Влажный воздух

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на параметры и свойства влажного воздуха.

#### 3.5 Компрессоры

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на конструкцию и принцип действия различных типов компрессоров.

### **3.6 Парогазовые установки**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на конструкцию, принцип действия, преимущества и недостатки парогазовых установок.

### **3.7 Газовые холодильные машины**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на конструкцию, принцип действия, преимущества и недостатки газовых холодильных машин.

### **3.8 Теплообмен. Теплопроводность**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на способы передачи тепловой энергии и закон теплопроводности.

### **3.9 Конвективный теплообмен. Теплообмен излучением**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на закон конвективного теплообмена и закономерности теплообмена излучением.

## **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЗАНЯТИЯМ**

### **4.1. Практическое занятие 1 (ПЗ-1) Реальные газы и пары**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты:

1. Диаграмма состояния
2. Свойства водяного пара
3. Методики расчета параметров водяного пара

### **4.2. Практическое занятие 2 (ПЗ-2) Течение и дросселирование газов и паров**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты:

1. Закономерности движущегося потока газа или пара
2. Расчет процессов течения и дросселирования
3. Применение эффекта дросселирования

### **4.3. Практическое занятие 3 (ПЗ-3) Тепловые машины и их циклы**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты:

1. Конструктивные особенности различных типов тепловых машин
2. Принцип действия различных типов тепловых машин
3. Преимущества и недостатки различных типов тепловых машин