

**ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ**

**Инженерный институт**

**Кафедра механизации животноводства и переработки  
сельскохозяйственной продукции**

## **ТЕПЛОТЕХНИКА**

**методические указания и задания для  
самостоятельной работы**

Новосибирск 2023

**Кафедра механизации животноводства и переработки  
сельскохозяйственной продукции**

УДК 621.1

ББК 31.3

**Теплотехника:** методические указания и задания для самостоятельной работы/ Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост. Е.А. Пшенов – Новосибирск, 2023. – 24 с.

Рецензент:

канд. тех. наук, доцент Е.А. Булаев

Методические указания и задания для самостоятельной работы предназначены для студентов очной и заочной форм обучения по направлениям подготовки:

Агроинженерия;

Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов;

Технология транспортных процессов;

Профессиональное обучение (по отраслям);

Продукты питания животного происхождения;

Технология продукции и организация общественного питания.

Утверждено и рекомендовано к изданию методическим советом Инженерного института (протокол № 8 от 28 марта 2023 г.).

© Новосибирский ГАУ, 2023

## ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа бакалавров рассматривается как одна из форм обучения, которая предусмотрена ФГОС и рабочим учебным планом по направлению подготовки Агроинженерия. Целью самостоятельной (внеаудиторной) работы студентов является обучение навыкам работы с учебной и научной литературой и практическими материалами, необходимыми для изучения дисциплины «Теплотехника» и развития у них способностей к самостоятельному анализу полученной информации для выполнения контрольной работы, а также подготовки к промежуточной аттестации.

Методические указания по самостоятельной работе включают краткое содержание разделов и тем, рассматриваемых в рамках дисциплины «Теплотехника» с указанием литературных источников для углубления полученных знаний на лекциях и подготовки к лабораторным занятиям.

Студент должен ответить на вопросы для самоконтроля приведенные после каждой темы. Рассмотреть примеры решения типовых задач и решить задачи, предложенные для самостоятельного решения.

Методические указания содержат тестовые задания по основным темам разделов «Теплотехники»: основные понятия и определения; первый закон термодинамики; второй закон термодинамики; термодинамические процессы идеальных газов; круговые процессы; водяной пар; влажный воздух; основные понятия тепломассообмена; конвективный теплообмен; теплопередача через стенку; лучистый теплообмен; основы теплового расчета; теплообменные аппараты.

**Целью дисциплины** «Теплотехника» является формирование представлений, знаний, умений и практических навыков в области рационального получения, преобразования и использования теплоты.

Исходя из цели, в процессе изучения дисциплины решаются следующие **задачи** изучения:

- основных законов преобразования энергии;
- законов термодинамики и тепломассообмена;
- термодинамических процессов и циклов;
- применения теплоты в сельском хозяйстве;
- основных способов энергосбережения.

# 1.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ КУРСА

Организация самостоятельной работы включает:

- работу с учебником и с дополнительной литературой;
- подготовку ответов на вопросы для самоконтроля;
- решение задач на основании примеров решения типовых задач [3];
- ответы на тестовые задания [12];
- подготовку к лабораторным занятиям [10];
- выполнение контрольной работы [9].

Дисциплина Теплотехника в соответствии с требованиями ФГОС ВО и с учетом ПООП направлена на формирование следующих компетенций УК-2, ОПК-1, ОПК-5:

Таблица 1. Связь результатов обучения с приобретаемыми компетенциями

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
1	2	3
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	ИУК-2.1 Формулирует в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения выделенных задач. ИУК-2.2 Проектирует решение конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений ИУК-2.3 Решает конкретные задачи проекта заявленного качества и за установленное время. ИУК-2.4 Публично представляет результаты решения конкретной задачи проекта	<b>знать:</b> основные способы энергосбережения; задачи тепломассообмена, отопления и теплоснабжения помещений, хранения и сушки сельскохозяйственной продукции. <b>уметь:</b> применять энергосберегающие технологии; находить и публично представлять оптимальные решения поставленных задач исходя из имеющихся теплоэнергетических ресурсов за установленное время. <b>владеть:</b> способами и методами сбережения тепловой энергии.
ОПК-1: способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических и естественных наук с применением информационно-коммуникационных технологий;	ИОПК-1.1 Демонстрирует знание основных законов математических, естественных и общепрофессиональных дисциплин, необходимых для решения типовых задач в области агроинженерии ИОПК-1.2 Использует знания основных законов математических и естественных наук для решения стандартных задач в агроинженерии	<b>знать:</b> основные законы преобразования энергии; законы термодинамики и тепломассообмена; термодинамические процессы и циклы; <b>уметь:</b> решать типовые задачи по теплотехнике; проводить термодинамические расчеты рабочих процессов в теплотехнических устройствах, применяемых в отрасли; проводить расчеты теплообменных аппаратов <b>владеть:</b> методикой определения термодинамических параметров с помощью диаграмм и таблиц; методикой расчета теплообменного оборудования.

1	2	3
ОПК-5 Способен участвовать в проведении экспериментальных исследований в профессиональной деятельности	ИОПК-5.1 Под руководством специалиста более высокой квалификации участвует в проведении экспериментальных исследований в области агроинженерии ИОПК-5.2 Использует классические и современные методы исследования в агроинженерии	<b>знать:</b> методику экспериментальных исследований в области теплотехники <b>уметь:</b> планировать и проводить экспериментальные исследования, а также обрабатывать полученные результаты в области теплотехники <b>владеть:</b> классическими и современными методами исследования в теплотехнике

#### Виды контроля знаний студентов и их отчетности

Текущая аттестация по дисциплине «Теплотехника» проводится в форме контрольных мероприятий (через представление, проверку и оценку решенных задач) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

Активность студента на занятиях оценивается на основе выполненных студентом работ и заданий, предусмотренных рабочей программой дисциплины.

Кроме того, оценивание студента проводится на контрольной неделе. Оценивание студента на контрольной неделе проводится преподавателем независимо от наличия или отсутствия студента (по уважительной или неуважительной причине) на занятии. Оценка носит комплексный характер и учитывает достижения студента по основным компонентам учебного процесса за текущий период. Оценивание осуществляется с выставлением оценок в ведомости и указанием количества пропущенных занятий.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ ТЕПЛОТЕХНИКА

### Раздел 1. Техническая термодинамика

#### 1.1 Основные понятия и определения термодинамики.

##### Смеси идеальных газов.

Энергия, виды энергии и ее свойства. Теплота и работа как формы передачи энергии, Рабочее тело, Параметры определяющие состояние рабочего тела. Термодинамическая система. Тепловое состояние. Равновесные и неравновесные состояния. Термодинамический процесс. Уравнение состояния идеальных газов.

Состав смеси в массовых, объемных и молярных долях, соотношение между массовыми и объемными долями. Плотность смеси. Газовая постоянная смеси [1] стр. 5-15; [2] стр. 6-10; [3] стр. 7-19; [5] стр. 8-14; [6] стр. 10-26.

**Примеры решения задач см. [3] стр. 13-14.**

##### *Задачи для самостоятельного решения*

1. В сосуде объемом  $0,9 \text{ м}^3$  находится  $1,5 \text{ кг}$  окиси углерода. Определить удельный объем и плотность окиси углерода при указанных условиях. *Отв.*  $v = 0,6 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $\rho = 1,67 \text{ кг/м}^3$ .

2. Определить абсолютное давление в сосуде (см.рис.1.1), если показание присоединенного к нему ртутного манометра равно  $66,7 \text{ кПа}$  ( $500 \text{ мм рт. ст.}$ ), а атмосферное давление по ртутному барометру составляет  $100 \text{ кПа}$  ( $750 \text{ мм рт. ст.}$ ). Температура воздуха в месте установки приборов равна  $0^\circ \text{C}$ . *Отв.*  $p_{\text{абс}} = 0,1667 \text{ МПа}$ .

3. Определить абсолютное давление в конденсаторе паровой турбины, если показание присоединенного к нему ртутного вакуумметра равно  $94 \text{ кПа}$  ( $705 \text{ мм рт. ст.}$ ), а показание ртутного барометра, приведенное к  $0^\circ \text{C}$ ,  $B_0 = 99,6 \text{ кПа}$  ( $747 \text{ мм рт. ст.}$ ). Температура воздуха в месте установки приборов  $t = 20^\circ \text{C}$ . *Отв.*  $p = 60 \text{ кПа}$ .

**Примеры решения задач см. [3] стр. 17-18.**

##### *Задачи для самостоятельного решения*

1. Плотность воздуха при нормальных условиях  $\rho_n = 1,293 \text{ кг/м}^3$ . Чему равна плотность воздуха при давлении  $p = 1,5 \text{ МПа}$  и температуре  $t = 20^\circ \text{C}$ . *Отв.*  $\rho = 17,82 \text{ кг/м}^3$ .

2. В сосуде находится воздух под разрежением  $10 \text{ кПа}$  при температуре  $0^\circ \text{C}$ . Ртутный барометр показывает  $99\,725 \text{ Па}$  при температуре ртути  $20^\circ \text{C}$ . Определить удельный объем воздуха при этих условиях. *Отв.*  $v = 0,876 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

3. В цилиндрическом сосуде, имеющем внутренний диаметр  $d = 0,6 \text{ м}$  и высоту  $h = 2,4 \text{ м}$ , находится воздух при температуре  $18^\circ \text{C}$ . Давление воздуха составляет  $0,765 \text{ МПа}$ . Барометрическое давление (приведенное к нулю) равно  $101\,858 \text{ Па}$ . Определить массу воздуха в сосуде. *Отв.*  $M = 7,04 \text{ кг}$ .

**Примеры решения задач см. [3] стр. 20-21.**

##### *Задачи для самостоятельного решения*

1. В  $1 \text{ м}^3$  сухого воздуха содержится примерно  $0,21 \text{ м}^3$  кислорода и  $0,79$

м<sup>3</sup> азота. Определить массовый состав воздуха, его газовую постоянную и парциальные давления кислорода и азота. *Отв.*  $m_{O_2} = 0,232$ ;  $m_{N_2} = 0,768$ ;  $R = 287$  Дж/(кг·К);  $p_{N_2} = 0,79p_{\text{см}}$ ;  $p_{O_2} = 0,21p_{\text{см}}$ .

2. Генераторный газ состоит из следующих объемных частей:  $H_2 = 18\%$ ;  $CO = 24\%$ ;  $CO_2 = 6\%$ ;  $N_2 = 52\%$ . Определить газовую постоянную генераторного газа и массовый состав входящих в смесь газов. *Отв.*  $R_{\text{см}} = 342$  Дж/(кг·К);  $m_{CO_2} = 10,86\%$ ;  $m_{N_2} = 60,03\%$ ;  $m_{H_2} = 1,48\%$ ;  $m_{CO} = 27,63\%$ .

3. Анализ продуктов сгорания топлива, произведенный с помощью аппарата Орса, показал следующий их состав;  $r_{CO_2} = 12,2\%$ ;  $r_{O_2} = 7,1\%$ ;  $r_{CO} = 0,4\%$ ;  $r_{N_2} = 80,3\%$ . Найти массовый состав входящих в смесь газов. *Отв.*  $m_{CO_2} = 17,7\%$ ;  $m_{O_2} = 7,5\%$ ;  $m_{CO} = 0,37\%$ ;  $m_{N_2} = 74,43\%$ .

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Что такое термодинамическая система, термодинамический процесс?
2. Привести пример термодинамической системы.
3. Перечислите термические параметры состояния.
4. Записать уравнения состояния для идеальных газов.

***Ответить на тестовые задания по теме [12] стр. 4-5.***

### **1.2 Теплоемкость. Первый закон термодинамики.**

Массовая, объемная и молярная теплоемкости газа и зависимости между ними. Средняя и истинная теплоемкости газа. Теплоемкость при постоянном объеме и при постоянном давлении. Формулы и таблицы для определения теплоемкости газов. Теплоемкости смеси газов.

Содержание закона и его формулировки. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Принцип эквивалентности теплоты и работы. Внутренняя энергия и ее свойства. Энтальпия газа. Работа газа, ее определение и графическое изображение в координатах  $pV$ .

[1] стр. 19-21; [2] стр. 19; [3] стр. 23-35; [5] стр. 15-18; 32-34.

**Примеры решения задач см. [3] стр. 30.**

#### ***Задачи для самостоятельного решения***

1. Вычислить среднюю теплоемкость  $c_{pm}$  и  $c'_{vm}$  в пределах 200-800° С для  $CO$ , считая зависимость теплоемкости от температуры линейной. *Отв.*  $c_{pm} = 1,1262$  кДж/(кг·К);  $c'_{vm} = 1,0371$  кДж/(м<sup>3</sup>·К).

2. Вычислить среднюю теплоемкость  $c_{pm}$  для воздуха при постоянном давлении в пределах 200-800° С, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной. *Отв.*  $c_{pm} = 1,091$  кДж/(кг·К);

3. Вычислить значение истинной мольной теплоемкости кислорода при постоянном давлении для температуры 1000 °С, считая зависимость теплоемкости от температуры линейной. Найти относительную ошибку по сравнению с табличными данными. *Отв.*  $\mu_{c_p} = 36,55$  кДж/(кмоль·К);  $\varepsilon = 1,79\%$ .

**Примеры решения задач см. [3] стр. 38-40.**

### ***Задачи для самостоятельного решения***

1. В машине вследствие плохой смазки происходит нагревание 200 кг стали на  $40^{\circ}\text{C}$  в течение 20 мин. Определить вызванную этим потерю мощности машины. Теплоемкость стали принять равной  $0,46\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ .  
*Отв.* 3,07 кВт.

2. К газу, заключенному в цилиндре с подвижным поршнем, подводится извне 100 кДж теплоты. Величина произведенной работы при этом составляет 115 кДж. Определить изменение внутренней энергии газа, если количество его равно 0,8 кг. *Отв.*  $\Delta U = -18,2\text{ кДж}$ .

3. Автомобиль массой 1,5 т останавливается под действием тормозов при скорости 40 км/ч. Вычислить конечную температуру тормозов  $t_2$ , если их масса равна 15 кг, начальная температура  $t_1=10^{\circ}\text{C}$ , а теплоемкость стали, из которой изготовлены тормозные части, равна  $0,46\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ . Потери теплоты в окружающую среду пренебречь. *Отв.*  $t_2=23,4^{\circ}\text{C}$ .

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Что такое работа, теплота. Понятие о внутренней энергии. Изображение работы и тепла в диаграммах P-V и T-S.

2. Математическое выражение первого закона термодинамики для идеальных реальных газов.

3. Теплоемкость. Различные виды теплоемкости и связь между ними.

4. Физическая сущность энтальпии.

***Ответить на тестовые задания по теме [12] стр. 6-7.***

### **1.3 Второй закон термодинамики**

Термодинамическая вероятность, необратимость и статистика. Термодинамическая вероятность и энтропия. Энтропия и теплообмен. Энтропия газов. Содержание второго закона и его формулировки. Аналитическое выражение второго закона. Основное уравнение термодинамики и вычисление энтропии. Диаграммы состояния  $T-s$  и  $h-s$ . [1] стр. 26,37-49; [2] стр. 22; [3] стр. 41-49; [5] стр. 27; [6] стр. 26-44.

### ***Задачи для самостоятельного решения***

1. 1 кг воздуха сжимается от  $p_1 = 0,1\text{ МПа}$  и  $t_1 = 15^{\circ}\text{C}$  до  $p_2 = 0,5\text{ МПа}$  и  $t_2 = 100^{\circ}\text{C}$ . Определить изменение энтропии. Теплоемкость считать постоянной. *Отв.*  $\Delta s = -0,196\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ .

2. 1 кг кислорода при температуре  $t_1 = 127^{\circ}\text{C}$  расширяется до пятикратного объема; температура его при этом падает до  $t_2 = 27^{\circ}\text{C}$ . Определить изменение энтропии. Теплоемкость считать постоянной.

*Отв.*  $\Delta s = 0,2324\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ .

3. Найти приращение энтропии 3 кг воздуха; а) при нагревании его по изобаре от 0 до  $400^{\circ}\text{C}$ ; б) при нагревании его по изохоре от 0 до  $880^{\circ}\text{C}$ ; а) при изотермическом расширении с увеличением объема в 16 раз. Теплоемкость считать постоянной.

*Отв.* а)  $\Delta s_p = 2,74$ ; б)  $\Delta s_v = 3,13$ ; в)  $\Delta s_T = 2,36\text{ кДж}/\text{K}$ .



### **Вопросы для самоконтроля**

1. Зависимость энтропии от основных термодинамических параметров.
2. Запишите аналитическое выражение второго закона.
3. Запишите основное уравнение термодинамики.
4. Запишите формулы для вычисления энтропии.
5. Сущность второго закона термодинамики и основные его формулировки.

**Ответить на тестовые задания по теме [12] стр. 8.**

#### **1.4 Исследование термодинамических процессов**

Изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный процессы – частные случаи политропного процесса. Их изображение в координатах  $pV$  и  $Ts$ . Политропный процесс. Уравнение политропы, Определение показателя политропы. Соотношения параметров. Определение работы, теплоемкости и теплоты во всех процессах. [2] стр. 25-35; [3] стр. 51-70; [5] стр. 36-40.

**Примеры решения задач см. [3] стр. 53-54, 57-60, 62-63, 65-66, 71-74.**

#### **Задачи для самостоятельного решения**

1. В закрытом сосуде емкостью  $V = 0,5 \text{ м}^3$  содержится двуокись углерода при  $p_1 = 0,6 \text{ МПа}$  и  $t_1 = 527^\circ \text{ С}$ . Как изменится давление газа, если от него отнять 420 кДж? Принять зависимость  $c = f(t)$  линейной. *Отв.*  $p_2 = 0,42 \text{ МПа}$ .

2. Определить количество теплоты, необходимое для нагревания  $2000 \text{ м}^3$  воздуха при постоянном давлении  $p = 0,5 \text{ МПа}$  от  $t_1 = 150^\circ \text{ С}$  до  $t_2 = 600^\circ \text{ С}$ . Зависимость теплоемкости от температуры считать нелинейной.

*Отв.*  $Q_p = 3937 \text{ МДж}$ .

3.  $8 \text{ м}^3$  воздуха при  $p_1 = 0,09 \text{ МПа}$  и  $t_1 = 20^\circ \text{ С}$  сжимаются при постоянной температуре до  $0,81 \text{ МПа}$ . Определить конечный объем, затраченную работу и количество теплоты, которое необходимо отвести от газа.

*Отв.*  $V_2 = 0,889 \text{ м}^3$ ;  $L = Q = -1581 \text{ кДж}$ .

4.  $0,8 \text{ м}^3$  углекислого газа при температуре  $t_1 = 20^\circ \text{ С}$  и давлении  $p_1 = 0,7 \text{ МПа}$  адиабатно расширяются до трехкратного объема. Определить конечные параметры  $p_2$  и  $t_2$  и величину полученной работы  $L$  ( $k$  принять равным 1,28). *Отв.*  $p_2 = 0,17 \text{ МПа}$ ;  $t_2 = -57,6^\circ \text{ С}$ ;  $L = 535,7 \text{ кДж}$ .

5. Воздух в количестве  $3 \text{ м}^3$  расширяется политропно от  $p_1 = 0,54 \text{ МПа}$  и  $t_1 = 45^\circ \text{ С}$  до  $p_2 = 0,15 \text{ МПа}$ . Объем, занимаемый при этом воздухом, становится равным  $10 \text{ м}^3$ . Найти показатель политропы, конечную температуру, полученную работу и количество подведенной теплоты.

*Отв.*  $n = 1,064$ ;  $t_2 = 21,4^\circ \text{ С}$ ;  $L = 1875 \text{ кДж}$ ;  $Q = 1575 \text{ кДж}$ .

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Исследование изохорного процесса, изобразить в диаграммах P-V и T-S.
2. Исследование изобарического процесса, изобразить в диаграммах P-V и T-S.
3. Исследование изотермического процесса, изобразить в диаграммах P-V и T-S.
4. Исследование адиабатного процесса, изобразить в диаграммах P-V и T-S.
5. Исследование политропного процесса, изобразить в диаграммах P-V и T-S.

**Ответить на тестовые задания по теме [12] стр. 9-11.**

### 1.5 Круговые процессы.

Общие сведения, термический КПД и холодильный коэффициент циклов. Цикл Карно. Эксергия. Циклы поршневых компрессоров [1] стр. 28-36, 51-57; [2] стр. 39-42, 51; [3] стр. 74-78, 87; [5] стр. 43-48.

**Примеры решения задач см. [3] стр. 80-83, 90-92.**

#### ***Задачи для самостоятельного решения***

1. К газу в круговом процессе подведено 250 кДж Теплоты. Термический к. п. д. равен 0,46. Найти работу, полученную за цикл. *Отв.*  $L_o = 115$  кДж.

2. В результате осуществления кругового процесса получена работа, равная 80 кДж, а отдано охладителю 50 кДж теплоты. Определить термический к. п. д. цикла. *Отв.*  $\eta_t = 0,615$ .

3. 1 кг воздуха совершает цикл Карно между температурами  $t_1 = 327^\circ \text{C}$  и  $t_2 = 27^\circ \text{C}$ ; наивысшее давление при этом составляет 2 МПа, а наинизшее — 0,12 МПа. Определить параметры состояния воздуха в характерных точках, работу, термический к. п. д. цикла и количества подведенной и отведенной теплоты. *Отв.*  $v_1 = 0,086 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $v_2 = 0,127 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $v_3 = 0,717 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $v_4 = 0,486 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $p_1 = 1,36 \text{ МПа}$ ;  $p_4 = 0,18 \text{ МПа}$ ;  $\eta_t = 0,5$ ;  $l_0 = 33,7 \text{ кДж/кг}$ ;  $q_1 = 67,4 \text{ кДж/кг}$ ;  $q_2 = 33,7 \text{ кДж/кг}$ .

#### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Цикл Карно, вывод формулы КПД цикла.
2. Теоретическая индикаторная диаграмма одноступенчатого компрессора. Понятие о вредном пространстве.
3. Индикаторная диаграмма многоступенчатого компрессора.
4. Определение термической работы для одноступенчатого и многоступенчатого компрессора.
5. Назовите процессы входящие в цикл Карно.
6. Изобразите цикл Карно в  $p_v$  и  $T_s$  координатах.

***Ответить на тестовые задания по теме [12] стр. 12.***

### 1.6 Циклы теплосиловых установок

Термодинамическая эффективность циклов теплосиловых установок. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Цикл газотурбинной установки. Циклы паротурбинных установок. Парогазовые циклы [1] стр. 60-101; [2] стр. 43-61; [3] стр. 83, 123-130; [5] стр. 114-128.

#### ***Пример решения задач на тему «Циклы теплосиловых установок»***

Для идеального цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при  $v = \text{const}$  определить параметры в характерных точках, полученную работу, термический к. п. д., количество подведенной и отведенной теплоты, если дано;  $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ ;  $t_1 = 20^\circ \text{C}$ ;  $\varepsilon = 3,6$ ;  $\lambda = 3,33$ ;  $k = 1,4$ .

Рабочее тело — воздух. Теплоемкость принять постоянной.

Решение

Расчет ведем для 1 кг воздуха.

Точка 1

$$p_1 = 0,1 \text{ МПа}, t_1 = 20^\circ \text{ С}.$$

Удельный объем определяем из уравнения состояния:

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 293}{0,1 \cdot 10^6} = 0,84 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Точка 2.

Так как степень сжатия

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = 3,6,$$

то

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,84}{3,6} = 0,233 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Температура в конце адиабатного сжатия определится из соотношения

$$T_2 = T_1 \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = 293 \cdot 3,6^{0,4} = 489 \text{ К};$$

$$t_2 = 216^\circ \text{С}.$$

Давление в конце адиабатного сжатия

$$p_2 = \frac{RT_2}{v_2} = \frac{287 \cdot 489}{0,233 \cdot 10^6} = 0,6 \text{ МПа}.$$

Точка 3.

Удельный объем  $v_3 = v_2 = 0,233 \text{ м}^3 / \text{кг}$ .

Из соотношений параметров в изохорном процессе (линия 2-3) получается

$$\frac{p_3}{p_2} = \frac{T_3}{T_2} = \lambda = 3,33.$$

Следовательно,

$$p_3 = p_2 \cdot \lambda = 0,6 \cdot 3,33 = 2 \text{ МПа};$$

$$T_3 = T_2 \cdot \lambda = 489 \cdot 3,33 = 1628 \text{ К}; t_3 = 1355^\circ \text{С}.$$

Точка 4.

Удельный объем  $v_4 = v_1 = 0,84 \text{ м}^3 / \text{кг}$ .

Температура в конце адиабатного расширения

$$T_4 = T_3 \left( \frac{v_3}{v_4} \right)^{k-1} = T_3 \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^{k-1} = 1628 \frac{1}{3,6^{0,4}} = 976 \text{ К}.$$

Давление в конце адиабатного расширения определяем из соотношения параметров в изохорном процессе (линия 4-1):

$$p_4 = p_1 \frac{T_4}{T_1} = 0,1 \frac{976}{293} = 0,33 \text{ МПа}.$$

Количество подведенной теплоты

$$q_1 = c_v(T_3 - T_2) = \frac{20,93}{28,96}(1628 - 489) = 825 \text{ кДж / кг};$$

$$q_2 = c_v(T_4 - T_1) = \frac{20,93}{28,96}(976 - 293) = 495 \text{ кДж / кг}.$$

Термический к.п.д. цикла находим по формуле:

$$\eta_t = \frac{825 - 495}{825} = \frac{330}{825} = 0,4 = 40 \%$$

или, по формуле

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{3,6^{0,4}} = 0,4 = 40 \%.$$

Работа цикла

$$l_0 = q_1 - q_2 = 330 \text{ кДж/кг}.$$

#### ***Задачи для самостоятельного решения***

1. Для цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при  $v = \text{const}$  определить параметры характерных для цикла точек, количеств а подведенной и отведенной теплоты, термический к. п. д. цикла и его полезную работу, если дано:  $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ ;  $t_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\varepsilon = 6$ ;  $\lambda = 1,6$ ;  $k = 1,4$ . Рабочее тело — воздух. Теплоемкость принять постоянной.

Отв.  $v_1 = 1,07 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $v_2 = 0,178 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $T_2 = 761 \text{ К}$ ;  $T_3 = 1217 \text{ К}$ ;  $T_4 = 597 \text{ К}$ ;  $p_3 = 1,96 \text{ МПа}$ ;  $p_4 = 0,156 \text{ МПа}$ ;  $q_1 = 329,7 \text{ кДж/кг}$ ;  $q_2 = 162 \text{ кДж/кг}$ ;  $\eta_t = 0,51$ ;  $l_0 = 167,7 \text{ кДж/кг}$ .

2. В цикле поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при  $v = \text{const}$  степень сжатия  $\varepsilon = 5$ , степень увеличения давления  $\lambda = 1,5$ . Определить термический к, п. д. этого цикла, а также цикла Карно, совершающегося при тех же предельных температурах. Рабочее тело — воздух. Теплоемкость принять постоянной.

Отв. 1)  $\eta_t = 0,476$ ; 2)  $\eta_{tk} = 0,651$ .

#### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Назовите теоретические циклы двигателей внутреннего сгорания.
2. Изобразите циклы двигателей внутреннего сгорания в  $p-v$  и  $T-s$  координатах, назовите процессы входящие в эти циклы.
3. изобразите принципиальную схему паросиловой установки
4. Изобразите цикл Ренкина паросиловой установки в  $p-v$ ,  $T-s$  и  $h-s$  координатах
5. Дайте определение холодильной установки и теплового насоса. Укажите на их общие и отличительные особенности.

***Ответить на тестовые задания по теме [12] стр. 13-14.***

### **1.7 Водяной пар. Влажный воздух.**

Процесс парообразования в  $pv$ ,  $Ts$ ,  $hs$  координатах. Параметры и функции состояния жидкости и пара. Диаграммы состояния водяного пара. Термодинамические процессы водяного пара. Термодинамические таблицы водяного пара [1] стр. 60-101; [2] стр. 43-61; [3] стр. 92-105; [5] стр. 114-128.

**Примеры решения задач см.** [3] стр. 101-104, 111.

### ***Задачи для самостоятельного решения***

1. Вода, находящаяся под давлением 1,5 МПа, нагрета до 190° С. Наступило ли кипение? *Отв.* Нет.

2. На паропроводе насыщенного пара установлен термометр, показывающий  $t = 175^\circ \text{C}$ . Каково было бы показание манометра на этом паропроводе? *Отв.* 0,89 МПа.

3. Манометр парового котла показывает давление  $p = 0,15$  МПа. Показание барометра равно 1,01 МПа (764 мм рт. ст.).

Считая пар сухим насыщенным, найти его температуру и удельный объем. *Отв.*  $t_n = 127,69^\circ \text{C}$ ;  $v'' = 0,7133 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Проанализируйте процесс парообразования в  $pv$ ,  $Ts$  и  $hs$  координатах.
2. Что такое влажный насыщенный, сухой насыщенный и перегретый пар.
3. Укажите закономерности изменения основных параметров состояния в процессах нагрева воды, парообразования и перегрева.
4. Опишите диаграмму водяного пара
5. Дайте определение насыщенного и ненасыщенного влажного воздуха.
6. Дайте определение влагосодержания, абсолютной и относительной влажности воздуха.
7. Опишите  $Hd$  диаграмму. Объясните характер линий  $H = \text{const}$ ,  $d = \text{const}$ ,  $t = \text{const}$ .
8. Укажите на особенности процессов, где  $\phi < 100\%$  и  $\phi > 100\%$ .
9. Дайте анализ процессам нагревания, охлаждения, увлажнения и осушения воздуха.

***Ответить на тестовые задания по теме*** [12] стр. 15-19.

## ***Раздел 2. Основы теории теплообмена.***

### **2.1 Основные понятия и определения теплообмена.**

Предмет и задачи теории теплообмена. Значение теплообмена в процессах хранения и переработки продуктов питания. Основные понятия и определения. Виды переноса тепла: теплопроводность. Конвекция и излучение. Сложный теплообмен [1] стр. 103-115; [2] стр. 94-95; [3] стр. 139-150; [4] стр. 7; [5] стр. 150-153. [6] стр. 102-104.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Какими способами распространяется теплота в твердых, жидких, газовых средах и вакууме?
2. Дайте определение температурного поля, изотермической поверхности, теплового потока.

3. Назовите единицы измерения теплового потока и плотности теплового потока.

**Ответить на тестовые задания по теме [12] стр. 20-21.**

### **2.2 Теплопроводность.**

Температурное поле, Температурный градиент. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Теплопроводность плоской и цилиндрической стенок.

[1] стр. 103-115; [2] стр. 94-95; [3] стр. 150-153; [4] стр. 7; [5] стр. 150-153. [6] стр. 104-114.

**Примеры решения задач см. [3] стр. 153-154.**

#### ***Задачи для самостоятельного решения***

1. Стенка печи изготовлена из двух слоев кирпича. Внутренний слой – огнеупорный кирпич толщиной – 300 мм. Наружный слой – красный кирпич – толщиной 150 мм. Определить температуру на наружной поверхности стенки из красного кирпича, если на внутренней стороне стенки из огнеупорного кирпича температура – 400 °С. Потери тепла через 1 м<sup>2</sup> площади составляют 0,9 кВт/м<sup>2</sup>.  $\lambda_{\text{огнеуп}} = 1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ,  $\lambda_{\text{красн}} = 0,6 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ . *Отв.*  $t_{c2} = 277,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

2. Температура внутренней поверхности стенки – 600 °С, наружной - 80 °С. Толщина стенки – 0,6 м. Удельный тепловой поток, проходящий через стенку, равен 580 Вт/м<sup>2</sup>. Определить коэффициент теплопроводности кирпича. *Отв.*  $\lambda_{\text{кирп}} = 0,67 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ .

3. Определить температуру стенки при передаче тепла от воды с температурой 90 °С к стенке площадью 20 см<sup>2</sup>, если тепловой поток 15 Вт. Коэффициент теплоотдачи – 300 Вт/(м<sup>2</sup>·К). *Отв.*  $t_c = 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Сформулируйте основной закон теплопроводности (закон Фурье).
2. Каков смысл теплопроводности  $\lambda$  и ее единица измерения?
3. Напишите уравнение для теплового потока при теплопроводности (режим стационарный).

**Ответить на тестовые задания по теме [12] стр. 22.**

### **2.3 Конвективный теплообмен. Теплоотдача при фазовых переходах.**

Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена. Основы теории подобия. Теплоотдача при свободном и вынужденном движениях жидкости. [1] стр. 348-384; [2] стр. 99; [3] стр. 155-168; [5] стр. 199-246; [6] стр. 125-143.

**Примеры решения задач см. [3] стр. 165-167.**

### **Задачи для самостоятельного решения**

1. Найти тепловой поток, передаваемый от стенки канала спирального теплообменника к воде, если поверхность стенки  $30 \text{ м}^2$ . Температура воды –  $40^\circ\text{C}$ . Температура стенки –  $45^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде  $6500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ . *Отв.*  $Q = 975 \text{ кВт}$ .

2. Определить толщину стенки, если температура воздуха внутри помещения –  $30^\circ\text{C}$ ; снаружи –  $(-10^\circ\text{C})$ . Коэффициент теплопроводности кирпича –  $0,3 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ . Удельный тепловой поток через плоскую стенку –  $20 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Определить температуры поверхностей кирпичной стенки. Коэффициенты теплоотдачи от теплового воздуха к стенке –  $8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ; от стенки к холодному воздуху  $15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ . *Отв.*  $t_{c1} = 27,5^\circ\text{C}$ ;  $t_{c2} = 8,77^\circ\text{C}$ ;  $\delta = 0,544 \text{ м}$ .

3. Определить потери тепла в единицу времени с  $1 \text{ м}$  длины горизонтально расположенной цилиндрической трубы, охлаждаемой свободным потоком воздуха, по известному наружному диаметру трубы  $d = 200 \text{ мм}$ , температура стенки трубы  $t_c = 150^\circ\text{C}$  и температура воздуха  $t_\infty = 20^\circ\text{C}$  в помещении. Лучистым теплообменом пренебречь.

При заданном в задаче случае теплообмена критериальное уравнение для горизонтальной трубы имеет вид:

$$Nu = 0,5(Gr \cdot Pr) \cdot 0,25 \cdot (Pr / Pr_c)^{0,25}$$

Формула справедлива для диапазона  $(Gr \cdot Pr) = 10^5 - 10^8$ .

В ней за определенную температуру принята температура воздуха (кроме критерия  $Pr_c$ , который определяется при  $t_c$ ), за определяющий размер принимается наружный диаметр трубы  $d$ . *Отв.*  $Q = 486,9 \text{ МВт}$ ;

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Дайте определение теплоотдачи.
2. Запишите закон теплоотдачи (закон Ньютона-Рихмана).
3. Физический смысл и единица измерения коэффициента теплоотдачи.
4. Что понимают под естественной и вынужденной конвекцией?
5. Что такое теория подобия и для чего она применяется.
6. запишите критерии подобия  $Nu$ ,  $Re$ ,  $Pr$ ,  $Gr$  и поясните их физический смысл.
7. Приведите общую форму записи критериального уравнения для расчета коэффициента теплообмена.

**Ответить на тестовые задания по теме [12] стр. 23.**

### **2.4 Теплопередача.**

Теплопередача через плоскую однослойную и многослойную стенки. Коэффициент теплопередачи и термическое сопротивление теплопередаче. Теплопередача через цилиндрическую однослойную и многослойную стенки. Тепловая изоляция [2] стр. 105-107; [3] стр. 175-180; [4] стр. 251-267.

**Примеры решения задач см. [3] стр. 179-180.**

### ***Задачи для самостоятельного решения***

1. Плоская стальная стенка, толщиной  $\delta_c = 3$  мм омывается с одной стороны горячими газами с температурой  $t_1 = 750^\circ\text{C}$ , а с другой стороны с температурой водой  $t_2 = 120^\circ\text{C}$ . Определить коэффициент теплопередачи от газов к воде, плотность теплового потока и температуру обеих поверхностей стенки, если известны коэффициенты теплоотдачи от газа к стенке  $\alpha_1 = 52$  Вт/м<sup>2</sup>·К, а от стенке к воде  $\alpha_2 = 360$  Вт/м<sup>2</sup>·К, а коэффициенты теплопроводности стали  $\lambda_c = 50$  Вт/м·К. Определить также все указанные ниже величины для случая, если стенка, омываемая водой, покрывается слоем накипи толщиной  $\delta_n = 0,7$  мм; коэффициент теплопроводности накипи  $\lambda_n = 1$  Вт/м·К. Для указанных вариантов задачи построить эпюры температур от  $t_1$  до  $t_2$ . Объяснить, в чем состоит вред отложения накипи на стальных поверхностях нагрева. *Отв.*  $K = 45,3$  Вт/м<sup>2</sup>·К;  $q = 28547$  Вт/м<sup>2</sup>;  $t_{c1} = 201,1$  °С;  $t_{c2} = 199,3$  °С;  $K = 43,92$  Вт/м<sup>2</sup>·К;  $q = 27670$  Вт/м<sup>2</sup>;  $t_{c2} = 196,9$  °С.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Дайте определение для теплопередачи.
2. Напишите уравнение теплопередачи.
3. Раскройте физический смысл коэффициента теплопередачи, приведите формулу для его расчета и единицу измерения.

***Ответить на тестовые задания по теме [12] стр. 24-25.***

## **2.5 Теплообмен излучением**

Основные понятия и определения. Законы излучения реальных тел. Теплообмен между поверхностями тел, угловые коэффициенты. Особенности излучения газов. Коэффициент теплоотдачи излучением [2] стр. 103-105; [3] стр. 181-193; [4] стр. 234-247; [5] стр. 250-271.

**Примеры решения задач см. [3] стр.194-195.**

### ***Задачи для самостоятельного решения***

1. Определить теплопередачу излучением от 1 м<sup>2</sup> поверхности отопительного радиатора в большом помещении. Температура стенок радиатора 100 °С. Температура стен помещения 20 °С. Степень черноты поверхности радиатора  $\varepsilon = 1$ . *Отв.*  $Q = 733,85$  Вт.

2. Определите удельный лучистый поток тепла в единицу времени между двумя параллельными плоскостями, имеющими температуры  $t_1 = 450^\circ\text{C}$  и  $t_2 = 40^\circ\text{C}$  степени черноты  $\varepsilon_1 = 0,72$  и  $\varepsilon_2 = 0,42$ . Как изменится этот поток, если между плоскостями установить листовой экран со степенью черноты  $\varepsilon_3 = 0,15$ ? *Отв.*  $q = 733,85$  Вт/м<sup>2</sup>; в 0,183 раза.

3. Степень черноты серого тела составляет 0,75. Определить коэффициент излучения серого тела. *Отв.*  $C = 4,25$

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Как осуществляется лучистый теплообмен между телами?
2. Что называется поверхностной плотностью интегрального излучения, а также спектральной плотностью потока излучения?



3. дайте определение поглощательной, отражательной и пропускательной способности тела.
4. Сформулируйте законы Планка и Вина.
5. Сформулируйте закон Стефана-Больцмана для абсолютно черного тела и для серых тел.
6. Дайте определение закона Кирхгофа. Что такое степень черноты тела, какова его связь с коэффициентом поглощения.
7. Чему равен тепловой поток между телами при наличии экрана.
8. Во сколько раз снижается тепловой поток один, два и  $n$  экранов.
9. Напишите выражение определения критического диаметра изоляции.

**Ответить на тестовые задания по теме [12] стр. 26-28.**

### **2.6 Основы расчета теплообменных аппаратов**

Назначение, классификация и схемы теплообменных аппаратов. Принцип расчета теплообменных аппаратов. Конструктивный и поверочный тепловые расчеты теплообменных аппаратов. Средний температурный напор. Основы гидродинамического расчета теплообменных аппаратов. Способы интенсификации теплообмена при однофазном течении газов и жидкости, при кипении и конденсации применительно к высокоэффективным теплообменным аппаратам. Современные конструкции трубчатых и пластинчатых теплообменных аппаратов. Методы оценки эффективности интенсификации теплообмена и оптимизация теплообменных аппаратов.

[2] стр. 107-111; [3] стр. 196-201; [4] стр. 272-311; [5] стр. 288; [6] стр. 161-167

**Примеры решения задач см. [3] стр.201-202.**

#### ***Задачи для самостоятельного решения***

1. Определить поверхность нагрева рекуперативного водо-воздушного теплообменника при прямоточном и противоточном движении теплоносителей. Для обеих схем теплообменников представить графики изменения температур теплоносителей вдоль поверхности теплообмена. Указать преимущество противоточной схемы теплообменника по сравнению с прямоточной. Объемный расход воздуха  $V_n = 0,01 \text{ м}^3/\text{с}$  (при нормальных условиях), средний коэффициент теплопередачи от воздуха к воде  $K = 200 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ , температура воздуха  $t_{\text{воз}}^1 = 340^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{воз}}^2 = 140^\circ\text{C}$  и температура воды  $t_{\text{вод}}^1 = 15^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{вод}}^2 = 100^\circ\text{C}$  соответственно на входе и выходе из теплообменника. *Отв.*  $F_{\text{прям}} = 0,0974 \text{ м}^2$ ;  $F_{\text{прот}} = 0,0751 \text{ м}^2$ .

#### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Назовите типы теплообменных аппаратов и поясните принцип их действия.
2. Какие существуют разновидности теплового расчета рекуперативных теплообменников? Что является целью расчета?
3. Напишите уравнение теплопередачи в интегральной и дифференциальной форме.

4. Напишите формулу для расчета теплового потока в рекуперативном теплообменнике.
5. Что такое средняя разность температур и как она рассчитывается?
6. Какие встречаются на практике схемы движения теплоносителей?
7. дайте сравнительный анализ прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей.

*Ответить на тестовые задания по теме [12] стр. 29-31.*

### ***Раздел 3. Применение теплоты в сельском хозяйстве.***

#### **3.1 Вентиляция и кондиционирование воздуха в помещениях зданий и сооружений**

Принципиальные схемы вентиляции. Расчет системы вентиляции. Подбор вентиляторов. Кондиционирование воздуха [2] стр. 153-167; [6] стр. 290-292, 299-310. [7] стр. 202-228.

##### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Приведите классификацию видов и систем вентиляции.
2. Перечислите факторы определяющие количество подаваемого (удаляемого) воздуха при расчете воздухообмена.
3. На чем основан метод расчета воздухообмена по удельным показателям.
4. Приведите классификацию местных отсосов в местной вытяжной вентиляции.
5. Расскажите последовательность расчета вентиляционных сетей.
6. Что называют кондиционированием воздуха? Приведите классификацию систем кондиционирования воздуха.
7. Рассмотрите на  $H-d$ -диаграмме процесс кондиционирования воздуха.
8. Приведите схему кондиционирования воздуха и изложите принцип ее работы.

#### **3.2 Отопление зданий и помещений**

Тепловая мощность системы отопления. Системы отопления. Нагревательные приборы системы отопления. Оборудование для нагревания воздуха. Горячее водоснабжение [2] стр. 128-149; [6] стр. 267-285.

##### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Что называют микроклиматом помещения и какими факторами он определяется?
2. Как определяют основные потери теплоты из помещений?
3. Что такое требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций?
4. Проанализируйте величины, входящие в формулу для определения экономически целесообразного термического сопротивления теплопередаче.
6. Приведите классификацию систем водяного отопления.

7. Рассмотрите схемы водяного отопления и выполните их сравнительный анализ.
8. Приведите схему теплового пункта и объясните его работу.

### **3.3 Отопление и вентиляция животноводческих и птицеводческих помещений**

Балансовые уравнения тепло-, влаго- и газообмена. Расчет отопления и вентиляции при помощи  $H-d$  – диаграммы [6] стр. 319-324.

#### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Каковы основные параметры, определяющие микроклимат животноводческих (птицеводческих) помещений? Приведите их краткую характеристику.
2. Запишите тепловой баланс животноводческих помещений и проанализируйте каждый член уравнений.
3. Как определяется теплопоступление от солнечной радиации?
4. Запишите балансовое уравнение для процесса газообмена.
5. Как выражается балансовое уравнение влагообмена?
6. Как записывается уравнение для выполнения условия одновременного удаления из помещения избытков теплоты и влаги?
7. Чему равен угловой коэффициент тепловлагообмена?
8. Как рассчитывают отопление и вентиляцию помещения при помощи  $H-d$ -диаграммы влажного воздуха? Рассмотрите этот вопрос для разных периодов года.
9. Изложите сведения об испарительном охлаждении воздуха в помещении для летнего периода года.

### **3.4 Сушка сельскохозяйственных продуктов**

Общие сведения и основные определения. Кинетика процесса сушки. Материальный и тепловой балансы конвективной сушки. Классификация и принципиальные схемы зерносушилок конвективного действия. Технология сушки. Контроль и автоматизация процесса сушки [2] стр. 175-182; [6] стр. 338-349.

#### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Дайте определение процесса сушки и назовите способы сушки.
2. Приведите характеристику термической сушки.
3. Каковы формы связи влаги с материалом и как принято разделять влажные тела?
4. Приведите основные теплофизические характеристики влажного материала.
5. Что называется гидротермическим равновесным состоянием и гигроскопической влажностью?
6. Какая зависимость имеется между изотермой сорбции и изотермой десорбции? Изобразите изотерму десорбции для капиллярно-пористых тел и дайте соответствующие разъяснения.

7. Какую закономерность называют кинетикой сушки? Каковы особенности отдельных периодов сушки?
8. Охарактеризуйте материальный баланс конвективной сушки.
9. Изложите основные положения теплового баланса конвективной сушки. В чем особенности процесса охлаждения материала?
10. Приведите классификацию и принципиальные схемы зерносушилок.
11. В чем состоят особенности технологии сушки?
12. Как осуществляются контроль и автоматизация процесса сушки?

### **3.5 Обогрев сооружений защищённого грунта**

Виды обогрева. Предупреждение перегрева растений в теплицах. Регулирование микроклимата в сооружениях защищенного грунта. Тепловой расчет сооружений защищенного грунта [6] стр. 327-335.

#### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Дайте определения сооружениям защищенного грунта и приведите их классификацию.
2. Каковы основные конструктивные и теплофизические характеристики культивационных сооружений?
3. Какие виды обогрева используются в сооружениях защищенного грунта? Приведите их сравнительный анализ.
4. Укажите способы теплотехнического обогрева теплиц. Как обогреваются шатер теплицы и грунт?
5. В чем особенности водяного обогрева теплиц?
6. Изложите отличительные особенности парового и воздушного обогревов теплиц.
7. Каковы способы и область применения газового обогрева теплиц?
8. Приведите основные сведения об электрическом обогреве.
9. Приведите примеры использования возобновляемых источников энергии для обогрева теплиц.
10. В чем особенности вентиляции теплиц?
11. Каковы способы затенения теплиц? В чем особенности испарительного охлаждения растений?
12. Приведите сведения о подкормке растений углекислым газом.
13. Приведите основные сведения об автоматическом управлении парниками, ангарными и блочными теплицами.
14. Изложите принципы теплового расчета теплиц.

### **3.6 Технологические основы хранения продукции растениеводства**

Типы хранилищ для овощей и плодов. Их характеристика. Вентиляция хранилищ. Хранение плодов в регулируемой газовой среде. Автоматическое регулирование температурно-влажностного режима в хранилищах. Тепловой расчет капитальных хранилищ [2] стр. 182; [6] стр. 351-359.

#### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Приведите значения параметров микроклимата в хранилищах для овощей.
2. Какие типы временных хранилищ Вы знаете?
3. Дайте характеристику капитальным хранилищам.
4. Назовите способы и режимы хранения овощей.
5. Какие существуют способы вентиляции хранилищ? Изобразите соответствующие схемные решения.
6. В чем особенности вентиляции продукции при её хранении в контейнерах?
7. Нарисуйте схему общеобменной вентиляции хранилища.
8. Каковы особенности хранения продукции в регулируемой среде?
9. Каковы особенности систем управления микроклиматом в хранилищах с ОРТХ и комплексом «Среда»?
10. В чем суть метода расчета капитальных хранилищ?

### **3.7 Применение холода в сельском хозяйстве**

Общие сведения. Основные типы холодильных машин. Хладагенты и хладоносители. Холодильное оборудование и установки. Ледяное и льдосоляное охлаждение. Льдогенераторы. Аккумуляторы холода [6] стр. 249-257; [7] стр. 4-30; 98-151; [8] стр. 159-161; 301-307.

#### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Изложите принцип работы холодильной машины (теоретический и действительный).
2. Приведите классификацию холодильных машин и изложите их характеристику.
3. Нарисуйте схему и изложите принцип работы компрессорной холодильной машины с регенерацией и без регенерации теплоты.
4. Приведите основные показатели работы холодильных машин.
5. Приведите схему абсорбционной холодильной машины и дайте соответствующие разъяснения.
6. Опишите принцип работы парожекторной и газовой холодильных машин.
7. В чем заключается разница между холодильной машиной и тепловым насосом? Приведите принципиальные циклы термотрансформаторов.
8. Приведите схемы энергетических систем с компрессорным или абсорбционным тепловым насосом.
9. Каковы показатели работы тепловых насосов?

***Ответить на тестовые задания по теме*** [12] стр. 32-39.

### **3.8 Системы теплоснабжения в сельском хозяйстве. Тепловые сети**

Общие сведения. Трубопроводы, опоры, компенсаторы. Гидравлический расчет тепловых сетей. Тепловой расчет сетей [6] стр. 312-316.

#### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Дайте определение тепловых сетей и приведите их классификацию.

2. Приведите основные сведения об изоляции теплопроводов. Какие материалы используют для изоляции теплопроводов?
3. Приведите основные сведения об опорах и компенсаторах теплопроводов.
4. Какая запорная аппаратура устанавливается на тепловых сетях?
5. Изложите основные положения гидравлического расчета сетей.
6. Приведите метод теплового расчета тепловых сетей.
7. Чему равняется КПД тепловых сетей?

### **3.9 Экономия теплоэнергетических ресурсов**

Общие сведения. Возобновляемые источники энергии. Аккумулирование теплоты. Теплонасосные установки. Когенерация. Альтернативные источники на базе мини-ТЭЦ. Энергоэффективные здания. Интенсификация энергосберегающих технологий методом дискретно-импульсного ввода энергии. Основы оптимизации энергетических систем [2] стр. 192-203; [6] стр. 363-408.

#### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Дайте общую характеристику энергосбережения.
2. Приведите принципиальные схемы пассивных и активных гелиоустановок.
3. Проанализируйте схему солнечной системы теплоснабжения.
4. Изложите краткие сведения о фотоэлектрических элементах.
5. Приведите данные об автоматизации систем солнечного тепло- и хладоснабжения.
6. Каковы основные элементы ветроэнергетических установок?
7. Изложите основы теории ветроэнергетических установок.
8. Приведите схемы подключения ветроустановок к потребителям.
9. Приведите принципиальные схемы теплоснабжения от геотермальных вод.
10. Приведите краткие сведения о термохимической переработке биомассы (сжигание, газификация, пиролиз, метановое сбраживание).
11. Назовите основные элементы биогазовой установки и дайте им характеристику.
12. Приведите сведения об аккумуляторах теплоты.
13. Приведите классификацию тепловых насосов. Как определяется показатель эффективности тепловых насосов?
14. Приведите принципиальные схемы теплоснабжения с тепловыми насосами.
15. Охарактеризуйте особенности когенерационной технологии. Приведите пример схемы когенерационной установки.
16. Изложите особенности мини-ТЭЦ и приведите пример такой установки.
17. Охарактеризуйте основные пути энергосбережения в зданиях.
18. В чем основные принципы дискретно-импульсного ввода энергии?
19. Изложите основы оптимизации энергетических установок. В чем особенности эксерго экономической оптимизации?

## Список литературы

1. Кудинов, А. А. Тепломассообмен : учебное пособие / А.А. Кудинов. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 375 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1842529> .
2. Круглов, Г. А. Теплотехника / Г. А. Круглов, Р. И. Булгакова, Е. С. Круглова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 208 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/263066>
3. Петухов, Н.А. Краткий курс теплотехники / Новосиб.гос. аграр. ун-т; Инж.ин-т. - Новосибирск, 2007. - 231 с.
4. Кудинов, А. А. Тепломассообмен : учебное пособие / А.А. Кудинов. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 375 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1842529> .
5. Ляшков, В. И. Теоретические основы теплотехники: Учеб. пособие для вузов / В.И. Ляшков, 2-е изд., испр. и доп. - М.: КУРС: ИНФРА-М, 2019. -с: ил. - ISBN 978-5-905554-85-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1002345>. — Режим доступа: по подписке.
6. Амерханов, Р. А., Драганов Б. Х. Теплотехника: Учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп.—М.: 2006. — 432 с.; ил. — ISBN 5-283-03245-0
7. Оболенский Н.В. Холодильное и вентиляционное оборудование: учеб. пособие для студ. вузов / Н.В. Оболевский, Е.А. Денисюк. — М.: КолосС, 2006. — 247 с. — ISBN 5-9532-0170-2
8. Цуранов, О.А. Холодильная техника и технология: учеб. для студ. вузов / О.А. Цуранов, А.Г. Крысин. — СПб.: Питер, 2004. — 446 с. ISBN 5-94723-965-5
9. Теплотехника: задания и методические указания по выполнению контрольной работы / Новосибир. гос. аграр. ун-т, инженер. ин-т; сост.: Е.А. Пшенов. — Новосибирск, 2023. — 20 с.
10. Теплотехника: рабочая тетрадь для лабораторных работ / Новосиб. гос. аграр. ун-т; Инжен. ин-т; сост. Е.А. Пшенов — Новосибирск, 2023. — 54 с.
11. Теплотехника: словарь терминов и определений по дисциплине/ Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост. Е.А. Пшенов, А.Г. Христенко. — Новосибирск, 2023. — 16 с.
12. Теплотехника: тесты контроля остаточных знаний / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост. Е.А. Пшенов — Новосибирск, 2023. — 44 с.

Составитель: *Пшенов Евгений Александрович*

## **ТЕПЛОТЕХНИКА**

### **Методические указания для самостоятельной работы**

Печатается в авторской редакции  
Компьютерная верстка Е.А. Пшенов

---

Подписано к печати 28 марта 2023 г. Формат 60×84<sup>1/16</sup>  
Объем 1,5 уч.изд. л. Заказ №11 Тираж экз.

Отпечатано в минитипографии Инженерного института НГАУ  
630039, г. Новосибирск, ул. Никитина, 147, ауд. 209