

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ И. Т. ТРУБИЛИНА»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ**



## **Рабочая программа дисциплины**

### **«Теплотехника»**

**(Адаптированная рабочая программа для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов, обучающихся по адаптированным основным профессиональным образовательным программам высшего образования)**

**Направление подготовки**  
**35.03.06 «Агроинженерия»**

**Направленность подготовки**  
**«Электрооборудование и электротехнологии»**

**Уровень высшего образования**  
**Бакалавриат**

**Форма обучения**  
**Очная, заочная**

**Краснодар**  
**2022**

Рабочая программа дисциплины «Теплотехника» разработана на основе ФГОС ВО 35.03.06 Агроинженерия утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ 23 августа 2017 г. № 813

Автор:  
канд. техн. наук, доцент

  
\_\_\_\_\_ А.Н. Соболев

Рабочая программа обсуждена и рекомендована к утверждению решением кафедры электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии от 04 апреля 2022 г., протокол № 8

Заведующий кафедрой  
д-р техн. наук, профессор

  
\_\_\_\_\_ О.В. Григораш

Рабочая программа одобрена на заседании методической комиссии факультета энергетики от 18.04.2022 г., протокол № 8

Председатель  
методической комиссии  
д -р техн. наук, профессор

  
\_\_\_\_\_ И.Г. Стрижков

Руководитель  
основной профессиональной  
образовательной программы  
канд. техн. наук, доцент

  
\_\_\_\_\_ С.А. Николаенко

## 1 Цель и задачи освоения дисциплины

**Целью** освоения дисциплины Б1.О.15 «Теплотехника» является формирование комплекса знаний об методах получения, преобразования, передачи и использования теплоты.

### **Задачи дисциплины**

- решать инженерные задачи с использованием основных законов механики, электротехники, гидравлики, термодинамики и теплообмена;
- использовать типовые технологии технического обслуживания, ремонта и восстановления изношенных деталей машин и электрооборудования.

## 2 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения АОПОП ВО

**В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:**

ОПК-1 Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий

ОПК-5 Готов к участию в проведении экспериментальных исследований в профессиональной деятельности

## 3 Место дисциплины в структуре АОПОП ВО

Б1.О.15 «Теплотехника» является дисциплиной обязательной части АОПОП ВО подготовки обучающихся по направлению 35.03.06 «Агроинженерия», направленность «Электрооборудование и электротехнологии».

## 4 Объем дисциплины (108 часов, 3 зачетных единицы)

Виды учебной работы	Объем, часов	
	Очная	Заочная
<b>Контактная работа</b>	41	11
в том числе:		
— аудиторная по видам учебных занятий	40	10
— лекции	14	2
— практические	14	4
— лабораторные	12	4

Виды учебной работы	Объем, часов	
	Очная	Заочная
— внеаудиторная	1	1
— зачет	1	1
— экзамен	-	-
— защита курсовых работ (проектов)	-	-
<b>Самостоятельная работа</b> в том числе:	67	97
— курсовая работа (проект)*	-	-
— прочие виды самостоятельной работы	67	97
<b>Итого по дисциплине</b>	108	108

## 5 Содержание дисциплины

По итогам изучаемой дисциплины студенты сдают зачет.

Дисциплина изучается на 3 курсе, в 5 семестре (очное), а также на 3 курсе в 5 семестре (заочное).

### Содержание и структура дисциплины по очной форме обучения

№ п/п	Тема. Основные вопросы	Формируемые компетенции	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1	<b>Основные понятия теплотехники</b> 1. Введение и предмет теплотехники 2. Техническая термодинамика, основные понятия и определения, параметры состояния	ОП К-1 ОП К-5	5	2	2	2	10
2	<b>Первый закон термодинамики</b> 1. Сущность, аналитическое выражение.	ОП К-1 ОП К-5	5	2	2	2	10

№ п/п	Тема. Основные вопросы	Формируемые компетенции	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
	2. Внутренняя энергия						
3	<b>Второй закон термодинамики</b> 1. Сущность, аналитическое выражение второго закона термодинамики 2. Термодинамические циклы тепловых машин	ОП К-1 ОП К-5	5	2	2	2	10
4	<b>Термодинамические процессы</b> 1. Термодинамические процессы изменения состояния рабочих тел 2. Свойства реальных газов	ОП К-1 ОП К-5	5	2	2	2	10
5	<b>Влажный воздух</b> 1. Основные величины, характеризующие влажный воздух 2. Расчет процессов влажного воздуха	ОП К-1 ОП К-5	5	2	2	2	10
6	<b>Термодинамика потока</b> 1. Истечение газов и паров 2. Дросселирование газов и паров	ОП К-1 ОП К-5	5	2	2	2	10
7	<b>Компрессоры</b> 1. Основные сведения о компрессорах 2. Термодинамический анализ	ОП К-1 ОП К-5	5	2	2	-	7

№ п/ п	Тема. Основные вопросы	Формируемые компетенции	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
	процессов в компрессорах						
	Всего			14	14	12	67

### Содержание и структура дисциплины по заочной форме обучения

№ п/ п	Наименование темы с указанием основных вопросов	Формируемые компетенции	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1	<b>Основные понятия теплотехники</b> 1. Введение и предмет теплотехники 2. Техническая термодинамика, основные понятия и определения, параметры состояния	ОП К-1 ОП К-5	5	2	2	2	10
2	<b>Первый закон термодинамики</b> 1. Сущность, аналитическое выражение. 2. Внутренняя энергия	ОП К-1 ОП К-5	5	-	2	2	10
3	<b>Второй закон термодинамики</b> 1. Сущность, аналитическое выражение второго закона термодинамики 2. Термодинамические циклы тепловых машин	ОП К-1 ОП К-5	5	-	-	-	10
4	<b>Термодинамические процессы</b> 1.	ОП К-1 ОП	5	-	-	-	10

№ п/п	Наименование темы с указанием основных вопросов	Формируемые компетенции	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
	Термодинамические процессы изменения состояния рабочих тел 2. Свойства реальных газов	К-5					
5	<b>Влажный воздух</b> 1. Основные величины, характеризующие влажный воздух 2. Расчет процессов влажного воздуха	ОП К-1 ОП К-5	5	-	-	-	17
6	<b>Термодинамика потока</b> 1. Истечение газов и паров 2. Дросселирование газов и паров	ОП К-1 ОП К-5	5	-	-	-	20
7	<b>Компрессоры</b> 1. Основные сведения о компрессорах 2. Термодинамический анализ процессов в компрессорах	ОП К-1 ОП К-5	5	-	-	-	20
	Всего			2	4	4	97

## 6 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Елифанов В. С. Теплотехника. Сборник контрольных заданий [Электронный ресурс] / В. С. Елифанов. - М. : МГАВТ, 2008. - 63 с., 17 ил., 10 табл. - Режим доступа: <http://znanium.com/>

2. Кудинов В.А. Теплотехника: Учебное пособие / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, Е.В. Стефанюк. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 424 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-905554-80-3 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/486472>

3. Крайнов А.В. Термодинамика и теплопередача. Ч. 1: Термодинамика : учеб. пособие / А.В. Крайнов, Е.Н. Пашков ; Томский политехнический университет. - Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. - 160 с. - ISBN 978-5-4387-0769-1. - Режим доступа: <https://new.znaniium.com/catalog/product/1043902>

## 7 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

### 7.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения АОПОП ВО

Номер семестра (этап формирования компетенции соответствует номеру семестра)	Этапы формирования и проверки уровня сформированности компетенций по дисциплинам, практикам в процессе освоения АОПОП ВО
<b>ОПК-1. Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий</b>	
1	Начертательная геометрия
1,2,3	Математика
1,2,3	Физика
2	Химия
2	Инженерная графика
2	Теоретическая механика
2	Ознакомительная практика (в том числе получение первичных навыков научно-исследовательской работы)
2, 3	Материаловедение и технология конструкционных материалов
3	Сопротивление материалов
5	Автоматика
<b>5</b>	<b>Гидравлика</b>
5	Теплотехника
8	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
<b>ОПК -5. Готов к участию в проведении экспериментальных исследований в профессиональной деятельности</b>	
<b>5</b>	<b>Гидравлика</b>
5	Теплотехника



Номер семестра (этап формирования компетенции соответствует номеру семестра)	Этапы формирования и проверки уровня сформированности компетенций по дисциплинам, практикам в процессе освоения АОПОП ВО
5	Автоматика
6	Б2.О.02.01(П) Технологическая (проектно-технологическая) практика
8	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы

## 7.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкалы оценивания

Планируемые результаты освоения компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Уровень освоения				Оценочное средство
	«неудовлетворительно» минимальный не достигнут	«удовлетворительно» минимальный (пороговый)	«хорошо» средний	«отлично» высокий	
<b>ОПК-1 Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий</b>					
ОПК-1.3 Использует основные законы общепрофессиональных дисциплин для решения стандартных задач с применением информационно-коммуникационных технологий в соответствии с направленностью профессиональной деятельности	Уровень знаний ниже минимальных требований, имели место грубые ошибки При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения, имели место грубые ошибки, не продемонстрированы базовые	Минимально допустимый уровень знаний, допущено много негрубых ошибок. Продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками, продемонстрированы	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, продемонстрированы навыки при	Задания лабораторных работ, тест

Планируемые результаты освоения компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Уровень освоения				Оценочное средство
	«неудовлетворительно» минимальный не достигнут	«удовлетворительно» минимальный (пороговый)	«хорошо» средний	«отлично» высокий	
	навыки	некоторыми недочетами	ированы базовые навыки при решении стандартных задач	решении нестандартных задач	
<b>ОПК-5 Готов к участию в проведении экспериментальных исследований в профессиональной деятельности</b>					
ОПК-5.1 Способен участвовать в экспериментальных исследованиях при решении инженерных и научно-технических задач	Уровень знаний ниже минимальных требований, имели место грубые ошибки При проведении экспериментальных исследований не продемонстрированы основные умения, имели место грубые ошибки, не продемонстрированы базовые навыки	Минимально допустимый уровень знаний, допущено много негрубых ошибок. Продемонстрированы основные умения, проведены экспериментальные исследования. Имеется минимальный набор навыков для проведения экспериментальных исследований с некоторыми недочетами	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения в проведении экспериментальных исследований с негрубыми ошибками, продемонстрированы базовые навыки при проведении экспериментальных исследований	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, проведены экспериментальные исследования с отдельными незначительными недочетами, продемонстрированы навыки при проведении экспериментальных исследований	Задания лабораторных работ, тест
ОПК-5.2 Способен пользоваться экспериментальными навыками и методиками измерений, характеристик, параметров явлений, связанных с будущей профессиональной деятельностью					

**7.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта**

## **деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения АОПОП ВО**

ОПК-1 Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий.

ОПК-5 Готов к участию в проведении экспериментальных исследований в профессиональной деятельности.

### **Примеры лабораторных работ**

#### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВОЗДУХА»**

##### **1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Экспериментальное определение средней объемной теплоемкости в процессе при постоянном давлении.

##### **2 ЗАДАНИЕ**

2.1 Определить с помощью экспериментальной установки среднюю объемную теплоемкость воздуха при постоянном давлении в интервале температур от комнатной до 50°C.

2.2 Вычислить средние массовые и молярные теплоемкости воздуха в процессах при  $P=const$  и  $V=const$  и сопоставить их с табличными данными.

2.3 Рассчитать средний показатель адиабаты для воздуха.

2.4 Определить с помощью полученных теплоемкостей изменение энтальпии и внутренней энергии в процессе при постоянном давлении. Вычислить работу, процесса, составить энергетический баланс процесса.

##### **3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Сообщение телу теплоты в каком-либо процессе вызывает изменение его состояния, в частности, температуры. Поэтому о количестве подведенной энергии в форме теплоты можно судить по изменению температуры, т.е.  $\Delta Q = C dT$ . Отношение количества теплоты  $\Delta Q$ , сообщаемой телу при бесконечно малом изменении его состояния, к соответствующему изменению температуры  $dT$  называют истинной теплоемкостью тела

$$C = \frac{\Delta Q}{dT} \quad (1)$$

Теплоемкость, отнесенную к единице количества вещества, т. е. к единице массы (1 кг) тела, называют удельной теплоемкостью ( $c$ ), Дж/(кг · К);

$$c_x = \left( \frac{dq}{dt} \right)_x$$

В общем случае истинная теплоемкость, где через  $x$  обозначен тот параметр, который сохраняется постоянным в данном процессе.

Теплоемкость зависит от температуры. При небольшом пределе изменения температуры, а также в приближенных расчетах зависимостью теплоемкости от температуры пренебрегают и принимают ее усредненное постоянное значение в данном интервале температур. Теплоемкость тела, соответствующую изменению температуры на конечную величину  $\Delta t = t_2 - t_1$ , называют средней теплоемкостью данного процесса

$$c_{x|t_1}^{t_2} = \frac{q_{1-2}}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

где  $q_{1-2}$  – количество теплоты, подведенной к 1 кг, 1 м<sup>3</sup> или киломолю вещества в данном процессе.

В зависимости от способа задания единицы количества вещества различают теплоемкость массовую, объемную и мольную.

Теплоемкость 1 кг газа или пара называется массовой и обозначается  $c_{|t_1}^{t_2}$  кДж/(кг·К)

Теплоемкость 1 м<sup>3</sup> газа или пара, отнесённого к нормальным физическим условиям НФУ, называется объемной и обозначается  $c'$  или  $c'_{|t_1}^{t_2}$ , кДж/(м<sup>3</sup>·К)

Теплоемкость 1 киломоля газа или пара называется мольной и обозначается  $\mu c_x$  или  $\mu c_x_{|t_1}^{t_2}$  кДж/(кмоль·К) Между этими теплоемкостями существует зависимость

$$c_x = c'_x \cdot V_0 = \frac{\mu c_x}{\mu}, \text{ кДж/(кг·К)} \quad (3)$$

где  $V$  – удельный объем газа или пара при НФУ, м<sup>3</sup>/кг.

Связь между истинной теплоемкостью  $c_x$  в данном процессе и средней устанавливается соотношением

$$c_{x|t_1}^{t_2} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} c_x dt \quad (4)$$

Обычно средние теплоемкости в таблицах даются в интервале температур от 0 до  $t$  °С, тогда средняя теплоемкость  $c_{xm|t_1}^{t_2}$  в заданном интервале температур  $t_1, t_2$  может быть определена следующим образом:

$$c_{x|t_1}^{t_2} = \frac{c_x|_0^{t_2} \cdot t_2 - c_x|_0^{t_1} \cdot t_1}{t_2 - t_1} \quad (5)$$

#### 4 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В основе экспериментального исследования лежит метод проточного калориметра.

Изменение теплоемкости невозможно производить в калориметре непроточного типа, так как масса исследуемого газа, заполняющего калориметр, получается небольшой и при подведении к ней теплоты большая часть ее уходит на тепловые потери и нагревание деталей калориметра. В проточном калориметре этих потерь меньше, так как в единицу времени прокачивается значительная масса газа, разогрев установки не учитывается и измерения проводят при стационарном режиме.

Расчетное уравнение для определения средней объемной теплоемкости воздуха при постоянном давлении может быть записано следующим образом

$$c_p \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{3,6Q}{V_0 \Delta t}, \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}) \quad (6)$$

где  $Q$  – тепловой поток, подводимый к воздуху, Вт,

$\Delta t$  – разность температур на входе и выходе в калориметр, °С;

$V_0$  – расход воздуха через калориметр, приведенный к нормальным физическим условиям, м<sup>3</sup>/ч.

## 5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Основными элементом экспериментальной установки является проточный калориметр (рисунок 1). Он состоит из стеклянной трубки, в которой смонтирован электронагреватель 5. Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду калориметр окружен стеклянной оболочкой 4. Воздух из пространства между калориметром и оболочкой удален.

Постоянный расход воздуха через калориметр создается пылесосом 2. Исследуемый воздух засасывается из помещения лаборатории, проходит через ротаметр 3 и пылесосом выбрасывается наружу. Температура на выходе замеряется с помощью хромель-алюмелевой термопары 1. Термопара подключается к милливольтметру.

Установка подключена к сети с напряжением 220 В. Сила тока в цепи электронагревателя измеряется амперметром, напряжение на зажимах электронагревателя регулируется регулятором напряжения 6 и измеряется вольтметром.

## 6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

6.1 Выписать в бланк отчета по лабораторной работе цель работы, задание, краткую методику проведения эксперимента. Заготовить таблицу для записей показаний прибора.

6.2 Включить пылесос и электронагреватель. Установить заданное преподавателем напряжение для проведения первого режима.

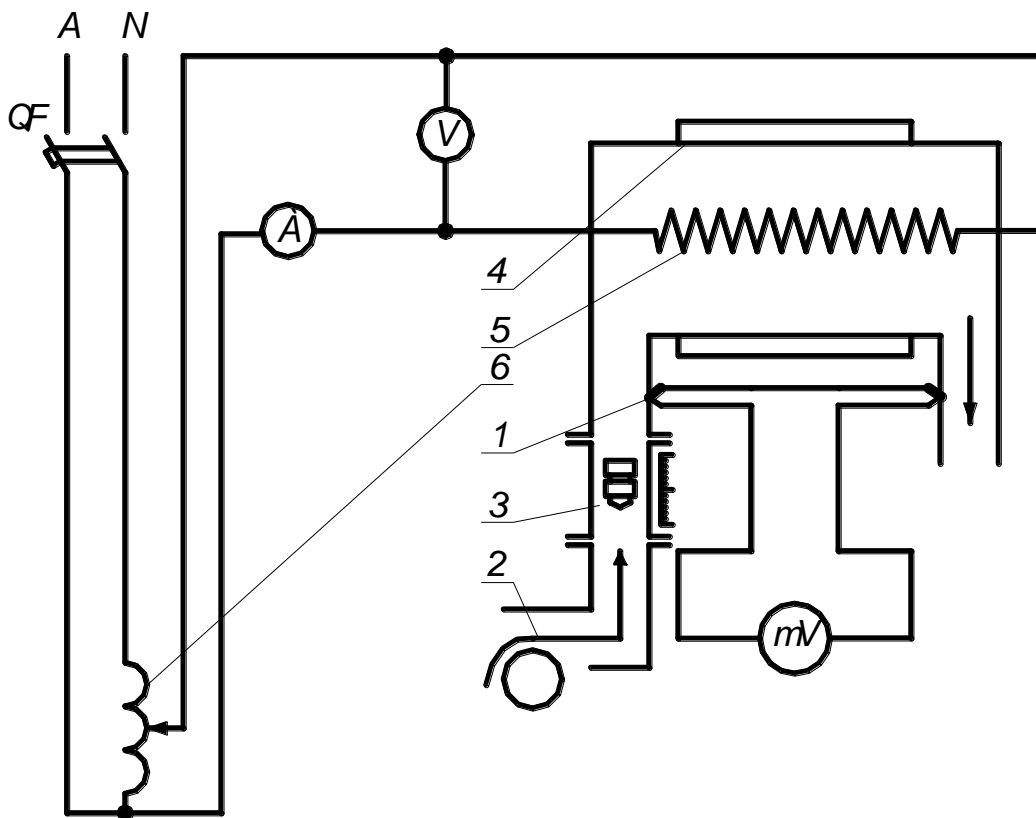


Рисунок 1 – Установка для определения средней теплоемкости воздуха

6.3 После достижения стационарного режима, о наступлении которого судят по постоянству положения стрелки милливольтметра (по истечении 4-5 минут), измерить показания воздуха по показаниям амперметра и вольтметра. С помощью милливольтметра сделать три замера термопары с интервалом в 3 минуты с записью значения в таблицу 1. Измерить температуру окружающего воздуха с помощью ртутного термометра.

6.4 Увеличить мощность электродвигателя через 5 минут произвести измерения на втором стационарном режиме.

Таблица 1 – Показания приборов и обработка экспериментальных данных

Режим	Повторность	Сила тока I, А	Напряжение U, В	Тепловой поток Q, Вт	Температура на входе t <sub>1</sub> , °С	Температура на выходе t <sub>2</sub> , °С	Расход		Теплоемкость		
							л/мин	м <sup>3</sup> /ч	$C_p' \Big _{t_1}^{t_2}$ $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$	$C_p \Big _{t_1}^{t_2}$ $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$C_v \Big _{t_1}^{t_2}$ $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

## 7 ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

7.1 С помощью градуированной таблицы термопар по значению термо-э.д.с. определить разность температур воздуха на выходе и входе в калориметр холодный спай термопары находится при температуре окружающего воздуха, а рабочий на выходе из колориметра подогретого воздуха.

7.2 Вычислить объем воздуха, приведенного к нормальным физическим условиям

$$V_0 = V_T \frac{P_T}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T_T}, (\text{м}^3/\text{ч}) \quad (7)$$

где  $V_T$  – объем воздуха, проходящий через калориметр, замеренный с помощью ротаметра в относительных единицах и переведенный в  $\text{м}^3/\text{ч}$  с помощью тарировочного графика;

$P_0, T_0$  – давление и температура при нормальных физических условиях

$P_0=760$  мм рт. ст. ;  $T_0=273\text{К}$

$P_T=751,5$ мм рт. ст. ;  $T_T=290,45$  К-давление и температура, при которых был получен тарировочный график.

7.3 Вычислить среднюю объемную теплоемкости, по формуле (6), принимая тепловой поток равным мощности электронагревателя  $Q=I \cdot U$ , Вт.

7.4 Определить величину средней массовой теплоемкости при постоянном давлении

$$c_p|_{t_1}^{t_2} = \frac{c_p|_{t_1}^{t_2} \cdot 22,4}{\mu}, \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \quad (8)$$

где 22,4 – объем киломоля идеального газа при НФУ,  $\text{м}^3/\text{моль}$ ;

$\mu$  – масса киломоля. Для воздуха  $\mu=28,97\text{кг}/\text{моль}$

7.5 Рассчитать среднюю массовую теплоемкость при постоянном объеме в том же интервале температур. Так как в данном случае воздух по своим свойствам весьма близок к. идеальному газу, то связь; между теплоемкостями выражается формулой Майера

$$c_v|_{t_1}^{t_2} = c_p|_{t_1}^{t_2} - R, \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \quad (9)$$

где  $R$ -газовая постоянная для воздуха,  $R=0,287$  кДж/(кг·К).

7.6 Вычислить величину показателя адиабаты для воздуха

$$k = \frac{c_p|_{t_1}^{t_2}}{c_v|_{t_1}^{t_2}} \quad (10)$$

7.7 Определить изменение энтальпии воздуха в процессе при постоянном давлении

$$\Delta i = c_p|_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1), \text{кДж}/(\text{кг}) \quad (11)$$

Численно  $\Delta i$  равно количеству теплоты, подведенной к каждому килограмму воздуха в изобарном процессе, т.е.

$$Q_p = \Delta i_{1-2}$$

7.8 Вычислить изменение внутренней энергии воздуха в данном процессе

$$\Delta u = c_v \Big|_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1), \text{кДж/(кг)} \quad (12)$$

7.9 Рассчитать работу газа в изобарном процессе.

$$l = R(T_2 - T_1) \text{кДж/кг.}$$

7.10 Составить энергетический баланс процесса  $q = \Delta u + l$  кДж/кг.  
Определить невязку в процентах.

## ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ

Отчет о выполненной работе должен содержать:

- 1 Цель работы, задание.
- 2 Методику экспериментального определения теплоемкости.
- 3 Рисунок 1 и таблицу 1.
- 4 Обработку результатов эксперимента с необходимыми расчетами.
- 5 Сопоставление результатов эксперимента с табличными данными.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение массовой, объемной и мольной теплоемкостей.
2. Какой объем газа имеют ввиду, говоря об объемной теплоемкости? В каких единицах измеряются теплоемкости?
3. Какая функциональная зависимость положена в основу изменения теплоемкости от температуры? Показать графически зависимость теплоемкости от температуры.
4. Что такое истинная теплоемкость?
5. Дать определение средней теплоёмкости.
6. Написать уравнение количества теплоты через среднюю теплоемкость.
7. Как определить, среднюю теплоемкость в интервале от  $t$  до  $t$  пользуясь таблицами теплоемкостей от 0 до  $t$  градусов Цельсия?
8. Что такое теплоемкость при постоянном объеме и теплоемкость при постоянном давлении?
9. Почему, теплоемкость газа при постоянном давлении всегда больше теплоемкости при постоянном объеме?
10. Какая связь между теплоемкостями при подводе теплоты к газу при постоянном давлении и постоянном объеме? Объяснить смысл всех величин, входящих в уравнение Майера.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА»

### 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ



Целью работы является экспериментальное определение коэффициента теплопроводности материала методом трубы.

## 2 ЗАДАНИЕ

2.1 Определить экспериментально коэффициент теплопроводности для двух стационарных режимов.

2.2 Найти аналитическую зависимость коэффициента теплопроводности от температуры.

## 3 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Явление теплопроводности представляет собой процесс распространения тепловой энергии, при непосредственном соприкосновении отдельных частиц тела или отдельных тел, имеющих различные температуры. Теплопроводность обусловлена движением микрочастиц вещества. При этом в газах перенос энергии осуществляется путем диффузии молекул и атомов, а в жидкостях и в твердых телах – диэлектриках путем упругих волн, в металлах – путем диффузии свободных электронов. Согласно-основному закону теплопроводности – закону Фурье плотность теплового потока (количество теплоты, прошедшее в единицу времени через единицу изотермической поверхности) прямо пропорциональна градиенту температур.

$$q = -\lambda \text{grad}t, \text{ Вт/м}^2 \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплопроводности, Вт/(м·К), который является физическим параметром вещества, характеризующим его способность проводить теплоту. Численно коэффициент теплопроводности равен количеству теплоты, проходящему в единицу времени через единицу изотермической поверхности при условии  $\text{grad}t=1$ .

Температурный градиент является мерой интенсивности изменения температуры в направлении по нормали к изотермической поверхности. Направлен он в сторону возрастания температуры. Численно равен производной от температуры по этому направлению

$$\text{grad}t = \lim \left( \frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{dt}{dn} \quad (2)$$

Знак минус в законе Фурье указывает на то, что теплота передается в направлении уменьшения температуры.

## 4 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

При определении коэффициента теплопроводности материалов методом трубы исследуемому материалу придают форму цилиндрического слоя. При стационарном тепловом режиме коэффициент теплопроводности определяется из формулы теплового потока, полученной из закона Фурье для цилиндрической стенки

$$\lambda = \frac{Q \cdot 2.3Lg(d_2/d_1)}{2\pi L(t_{c1} - t_{c2})}, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}) \quad (3)$$

где  $l$  – длина трубы, м;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

$d_2, d_1$  – внутренний и наружный диаметры цилиндрического слоя материала, м;

$t_{c1}, t_{c2}$  – средние температуры внутренней и наружной поверхности слоя материала, °С.

## 5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Исследуемый материал 4 (рисунок 2) (кварцевый песок) находится, в пространстве между трубами 2 и 3. Во внутренней трубе расположен электронагреватель 6, тепловой поток от которого передается через, внутреннюю трубу, слой материала и наружную трубу в окружающую среду. При установившемся (стационарном) режиме через каждый слой проходит одно и то же количество теплоты, которое определяют по показаниям ваттметра. Потребляемая мощность регулируется регулятором напряжения 1. Благодаря хорошему контакту сыпучего материала с трубами, можно считать, что соприкасающиеся поверхности материала и труб имеют одинаковую температуру, которая измеряется с помощью хромель-алюмелевых термопар 5, зачеканенных в поверхности труб. Электродвижущую силу (ЭДС) в термопарах измеряют милливольтметром, подключая к нему термопары поочередно с помощью переключателя.

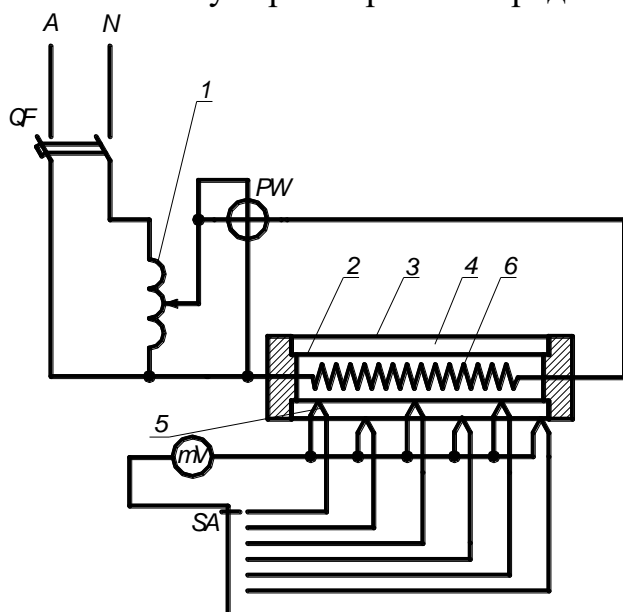


Рисунок 2 – Установка для определения

коэффициента теплопроводности

## 6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

6.1 Выписать в бланк отчета по лабораторной работе цель работы, задание, краткую методику проведения эксперимента. Подготовить таблицу для записи показаний приборов (таблица 2).

6.2 По показанию ваттметра записать мощность электронагревателя, соответствующую первому стационарному режиму (установка включается преподавателем до начала занятий).

6.3 Переключателем включать поочередно все термопары и фиксировать для каждой из них значение ЭДС по милливольтметру с записью их значений в таблице. Замеры производить с интервалами в 3-5 минут до тех пор, пока величина ЭДС для каждой термопары не будет изменяться во времени, что свидетельствует о наступлении стационарного режима.

6.4 На стационарном режиме сделать три замера ЭДС по прибору для каждой термопары с интервалами в 5 минут и записать в соответствующие графы таблицы.

6.5 Измерить термометром температуру окружающего воздуха вблизи от установки.

6.6 Показать результаты замеров преподавателю и с его разрешения переключить установку 2-й режим, увеличив с помощью регулятора напряжения 1 мощность нагревателя на 20-47 Вт. Эксперимент проводить через 25-30 минут в той же последовательности.

## 7 ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

7.1 По градировочной таблице термопар определить ЭДС, соответствующую температуре окружающего воздуха, чтобы сделать поправку на температуру холодных спаев термопар находящихся при температуре окружающего воздуха. Градировочная таблица рассчитана на температуру холодных спаев, равную 0°C.

7.2 Определить суммарные ЭДС  $E_1$ ,  $E_2$  ит.д. складывая в таблице для каждой термопары ЭДС по прибору с ЭДС, соответствующей температуре окружающего воздуха.

7.3 По градировочной таблице найти температуры в местах зачеканки термопар по значениям суммарных ЭДС.

7.4 Вычислить средние температуры поверхностей исследуемого слоя.

7.4.1 Средняя, температура внутренней поверхности слоя

$$t_{c1} = \frac{t'_1 + t'_2 + t'_3}{3}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

7.4.2 Средняя температура наружной поверхности слоя

$$t_{c2} = \frac{t''_1 + t''_2 + t''_3}{3}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

7.5 Определить среднюю температуру исследуемого слоя

$$t_c = \frac{t_1 + t_2}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

7.6 Вычислить коэффициент теплопроводности  $\lambda$  по формуле (3), принимая

$$Q = N \text{ Вт}; d_1 = 0,025 \text{ м}; d_2 = 0,05 \text{ м}; l = 1 \text{ м}$$

7.7 Полученные значения  $\lambda$  и  $t_c$  записать в таблицу.

7.8 Построить график зависимости  $\lambda = f(t_c)$ . По горизонтали отложить в выбранном масштабе средние температуры слоя ( $t_c$ ,  $^\circ\text{C}$ ), по вертикали соответствующие им значения коэффициентов теплопроводности.

7.9 Определить аналитическую зависимость коэффициента теплопроводности от температуры, которая для изоляционных и пористых материалов подчиняется линейному закону, и описывается уравнением

$$\lambda = \lambda_0(1 + bt) \quad (3)$$

где  $\lambda_0$  – коэффициент теплопроводности при  $0^\circ\text{C}$ ;

$b$  – постоянная, определяемая экспериментальным путем.

Величину  $\lambda_0$  определить по графику после чего из уравнения (3) определить значение постоянной  $b$ , взяв из эксперимента значение  $t_c$  и соответствующее ему значение  $\lambda$ .

7.10 Полученные значения коэффициентов теплопроводности сравнить с табличными данными.

Таблица 2 – Исследование коэффициент теплопроводности

Определения величины		Обоз- начения	Ед. изм	Режимы														
				1	2	3												
				Замеры														
Мощность электронагревателя		$N$	Вт															
Температура окружающего воздуха		$t_в$	$^\circ\text{C}$															
ЭДС, соответствующая темпера- тура окружающего воздуха		$E_в$	мВ															
Внутренняя труба Термопары	ЭДС по прибору	$E'_{n1}$	мВ															
	Суммарная ЭДС ( $E'_{n1} + E_в$ )	$E'_1$	мВ															
	Температура поверхн. трубы (опр. по вел. $E'_1$ )	$t'_1$	$^\circ\text{C}$															
	ЭДС по прибору	$E'_{n2}$	мВ															
	Суммарная ЭДС ( $E'_{n2} + E_в$ )	$E'_2$	мВ															

		Температура поверхн. трубы (опр. по вел. $E'_2$ )	$t'_2$	°С																	
		ЭДС по прибору	$E'_{n3}$	мВ																	
		Суммарная ЭДС ( $E'_{n3}+E_6$ )	$E'_3$	мВ																	
		Температура поверхн. трубы (опр. по вел. $E'_3$ )	$t'_3$	°С																	
		ЭДС по прибору	$E''_{n1}$	мВ																	
		Суммарная ЭДС ( $E''_{n1}+E_6$ )	$E''_1$	мВ																	
		Температура поверхн. трубы (опр. по вел. $E''_1$ )	$t''_1$	°С																	
		ЭДС по прибору	$E''_{n2}$	мВ																	
		Суммарная ЭДС ( $E''_{n2}+E_6$ )	$E''_2$	мВ																	
		Температура поверхн. трубы (опр. по вел. $E''_2$ )	$t''_2$	°С																	
		ЭДС по прибору	$E''_{n3}$	мВ																	
		Суммарная ЭДС ( $E''_{n3}+E_6$ )	$E''_3$	мВ																	
		Температура поверхн. трубы (опр. по вел. $E''_3$ )	$t''_3$	°С																	
		Коэффициент теплопроводности исследуемого материала	$\lambda$	$\frac{\Delta \theta}{i \cdot \delta}$																	
		Средняя температура исследуемого слоя	$t_{cp}$	°С																	

## ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ

Отчет по выполненной работе должен содержать:

- 1 Цель работы.
- 2 Описание методики определения коэффициента теплопроводности.
- 3 Рисунок 2 и таблицу 2.
- 4 Результаты обработки экспериментальных данных.
- 5 График  $\lambda=f(t_c)$ .

6 Сопоставление результатов эксперимента с литературными данными.  
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каков физический смысл коэффициента теплопроводности? Выведите его размерность из закона Фурье.
2. Сформулируйте основной закон теплопроводности Фурье и приведите, его математическое выражение.
3. Что такое температурное поле, изотермические поверхности, температурный градиент?
4. Дайте графическую интерпретацию температурного градиента и теплового потока
5. Объясните, почему в формуле закона Фурье в дифференциальной форме в правой части имеется знак минус?
6. Что такое установившийся и неустойчивый тепловые режимы? Приведите математическое выражение в общем виде температурного поля для обоих случаев.
7. Почему пористые материалы имеют низкий коэффициент теплопроводности?
8. Как зависит коэффициент теплопроводности изоляционного материала от температуры?
9. Опишите схему приборов и принцип определения коэффициента теплопроводности по методу трубы.

### Пример теста

№1

В цикле Карно максимальная температура  $T_1 = 2500$  К. Определить минимальную температуру цикла для получения термического КПД  $\eta_t = 0,75$ .

- 1  625 К
- 2  0 К
- 3  547 К
- 4  700 К

№2

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

- 1  7,13 кг
- 2  6,34 кг
- 3  5,47 кг
- 4  7,00 кг

№3

Определить, на сколько минут хватит аквалангисту воздуха, содержащегося в двух баллонах по 6 л каждый при абсолютном давлении 10 МПа, если аквалангист делает 20 вдохов в минуту и при каждом вдохе потребляет 0,75 л воздуха при  $p = 0,1$  МПа?

- 1  63 мин

- 2  54 мин
- 3  80 мин.
- 4  100 мин

№4

В баллоне емкостью 40 л содержится азот при давлении  $p_1 = 8$  МПа и температуре  $t_1 = -25$  °С. К нему подводится теплота, в результате его температура повышается до  $t_2 = 18$  °С. Каково будет конечное давление азота в баллоне?

- 1  6,3 МПа.
- 2  5,4 МПа
- 3  9,38 МПа.
- 4  200 МПа

№5

В баллоне емкостью 40 л содержится азот при давлении  $p_1 = 8$  МПа и температуре  $t_1 = -25$  °С. Определить количество теплоты, которое следует подвести к азоту, чтобы повысить его температуру до  $t_2 = 18$  °С?

- 1  65 кДж
- 2  542 кДж
- 3  138 кДж.
- 4  200 кДж

№6

В калориметр, содержащий 1,5 л воды при температуре 17 °С, опустили нагретый до 100 °С стальной образец массой 0,65 кг. Определить теплоемкость стали, если температура воды и образца установилась равной 21 °С.

- 1  654 Дж/(кг·К)
- 2  552 Дж/(кг·К)
- 3  490 Дж/(кг·К).
- 4  40 Дж/(кг·К)

№7

Какое минимальное время потребуется, чтобы вскипятить 0,7 л воды в открытом сосуде кипятильником мощностью 400 Вт при нормальных технических условиях? Принять

теплоемкость воды  $c_p = 4,18 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ . Потерями тепла в окружающую среду и на нагрев сосуда пренебречь.

- 1  53 мин
- 2  54 мин
- 3  4 мин
- 4  200 мин

№8

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

- 1   $367 \text{ кДж}/\text{кг}$
- 2   $23 \text{ кДж}/\text{кг}$ .
- 3   $322 \text{ кДж}/\text{кг}$
- 4   $40 \text{ кДж}/\text{кг}$

№9

В испарителе бытового холодильника от охлаждаемых продуктов к фреону массой  $0,15 \text{ кг}$  и температурой  $t = -28 \text{ }^\circ\text{C}$  подведено  $22,5 \text{ кДж}$  теплоты. Определить удельную энтропию фреона на выходе из испарителя, если на входе она равна  $s_1 = 4,18 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

- 1   $4,79 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
- 2   $6,22 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
- 3   $2,12 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
- 4   $57,5 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

№10

Газообразный фреон с молярной массой  $120 \text{ кг}/\text{моль}$  в количестве  $0,18 \text{ кг}$  нагнетается компрессором в объем  $2,83 \text{ л}$  до давления  $1,5 \text{ МПа}$ . Определить температуру сжатого фреона.

- 1   $67 \text{ }^\circ\text{C}$
- 2   $20 \text{ }^\circ\text{C}$



3  800 °С.

4  71 °С

№11

Один килограмм воздуха с начальными  $p_1 = 1,2$  МПа и  $t_1 = 19$  °С политропно расширяется до давления  $p_2 = 2,75$  Па и температуры  $T_2 = 265$  К. Определить количество теплоты, подведенное в процессе расширения

1  90,1 кДж/кг

2  120 кДж/кг

3  80 кДж/кг

4  кДж/кг

№12

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

1  0,19 м

2  10 м

3  8 м

4  0,21 м

№13

Определить коэффициент теплопроводности материала стенки толщиной 40 мм, если при разности температур на ее поверхностях в 32 градуса плотность теплового потока равна 14,4 кВт/м<sup>2</sup>

1  18 Вт/(м·К).

2  10 Вт/(м·К).

3  80 Вт/(м·К).

4  0,41 Вт/(м·К).

№14

Стены жилого помещения выполнены из красного кирпича, пенобетона и сосновой доски. Толщины слоев соответственно равны:  $\sigma_1 = 250$  мм,  $\sigma_2 = 150$  мм и  $\sigma_3 = 25$  мм. Длина

помещения 5 м, ширина 4 м, высота 36 2,5 м, а общая площадь окон и двери составляет 6,5 м<sup>2</sup>. Каковы потери тепла только через стены в зимнее время года, если температура стен изнутри равна 18 °С и – 30 °С снаружи?

- 1  950 Вт.
- 2  100 Вт
- 3  80 Вт
- 4  5,45 Вт

№15

В погребе длиной 4 м и шириной 2,5 м температура потолка равна 4 °С. Каковы потери теплоты в морозную погоду с температурой – 35 °С через перекрытие погреба, если оно состоит из железобетонной плиты толщиной 0,2 м, слоя земли в 1,2 м и снега толщиной 0,45 м?

- 1  132 Вт
- 2  200 Вт
- 3  60 Вт
- 4  6,5 Вт

№16

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?

- 1  3140 Вт/(м<sup>2</sup> К)
- 2  1220 Вт/(м<sup>2</sup> К)
- 3  150 Вт/(м<sup>2</sup> К)
- 4  5000 Вт/(м<sup>2</sup> К)

№17

Атмосферный воздух с температурой – 10 °С по вентиляционному каналу сечением 200 х 50 мм и длиной 4 м поступает к калориферу. Скорость движения воздуха 38 равна 1,6 м/с; температура внутренней стенки канала соответствует 15 °С. Вычислить часовую потерю теплоты через стенки вентиляционного канала

- 1  1,55 МДж/ч
- 2  2,00 МДж/ч
- 3  6,50 МДж/ч.
- 4  70,72 МДж/ч

№18

В ДВС с изохорным подводом тепла известны:  $p_1 = 0,092$  МПа;  $t_1 = 29$  °С;  $R = 312$  Дж/(кг·К);  $\kappa = 1,31$ ;  $\lambda = 3,45$ . Давление рабочего тела в результате адиабатного сжатия достигло значения  $p_2 = 1,7$  МПа. Определить недостающие параметры состояния в характерных точках идеального цикла и его термический КПД

- 1   $\eta_t = 0,5$
- 2   $\eta_t = 0,89$
- 3   $\eta_t = 1$
- 4   $\eta_t = 0$

№19

В ДВС с изобарным подводом тепла известны:  $p_1 = 0,195$  МПа;  $t_1 = 36$  °С;  $R = 308$  Дж/(кг·К);  $\kappa = 1,32$ ;  $\rho = 2,35$ . Давление рабочего тела в результате адиабатного сжатия достигло значения  $p_2 = 7,8$  МПа. Определить его термический КПД

- 1   $\eta_t = 0,52$
- 2   $\eta_t = 0,44$
- 3   $\eta_t = 1,22$
- 4   $\eta_t = 0,04$

№20

Определить минимально необходимую степень сжатия в ДВС, чтобы горючее, поданное в цилиндр в конце хода сжатия, воспламенилось. Температура воспламенения горючего 970 К; температура воздуха перед сжатием 300 К; сжатие принять адиабатным

- 1   $\varepsilon = 8,9$
- 2   $\varepsilon = 4,2$
- 3   $\varepsilon = 7,4$

**Для промежуточного контроля (ОПК-1 Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий)**

**Вопросы к зачету**

1. Термодинамическая система. Основные параметры состояния.
2. Парциальное давление и парциальный объем смеси газов.
3. Обратимый процесс и цикл.
4. Уравнения состояния идеальных газов.
5. Свойства реальных газов.
6. Внутренняя энергия, работа, теплота.
7. Теплоемкость. Закон Майера.
8. 1-й закон термодинамики.
9. Энтальпия
10. 1-й закон термодинамики для потоков.
11. 2-й закон Термодинамики.
12. Энтропия и изменение ее в процессах.
13. Эксергия.
14. Прямой и регенеративный цикл Карно.
15. Адиабатный процесс идеального газа в закрытых системах.
16. Изотермный процесс идеального газа в закрытых системах.
17. Изохорный процесс идеального газа в закрытых системах.
18. Изобарный процесс идеального газа в закрытых системах.
19. Теплота парообразования.
20. Процессы изменения состояния водяного пара.
21. Процессы парообразования в  $p-v$  и  $T-s$  координатах.
22. Энтальпия жидкости и пара.
23. Энтропия жидкости и пара.
24. Процесс конденсации жидкости
25. Основные величины, характеризующие состояние влажного воздуха.
26.  $i-d$  диаграмма влажного воздуха.
27. Расчет основных процессов влажного воздуха.
28. Процессы изменения тепловлажностного состояния воздуха.

**Для промежуточного контроля (ОПК-5 Готов к участию в проведении экспериментальных исследований в профессиональной деятельности)**

**Вопросы к зачету**

1. Истечение газов и паров.

2. Дросселирование газов и пара.
3. Изменение параметров в процессе дросселирования.
4. Практическое использование процесса дросселирования.
5. Температура адиабатного торможения. Эффект Джоуля-Томпсона.
6. Цикл Ренкина.
7. Регенеративные циклы паросиловых установок.
8. Теплофикационный цикл паросиловых установок.
9. Цикл Отто. Изображение цикла в  $p-v$  и  $T-s$  диаграммах.
10. Цикл Дизеля. Изображение цикла в  $p-v$  и  $T-s$  диаграммах.
11. Цикл Тринклера. Изображение цикла в  $p-v$  и  $T-s$  диаграммах.
12. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатия.
13. Компрессоры. Многоступенчатые компрессоры.
14. Изображение в  $p-v$  и  $T-s$  диаграммах термодинамических процессов, протекающих в компрессорах.
15. Расчет потерь энергии и эксергетический КПД компрессора.
16. Цикл паровой компрессионной холодильной установки.
17. Абсорбционная холодильная установка.
18. Холодильный коэффициент и холодопроизводительность.
19. Тепловые насосы.
20. Виды теплообмена.
21. Теплопроводность. Закон Фурье.
22. Теплопроводность плоской однослойной стенки.
23. Теплопроводность многослойной плоской стенки.
24. Теплопроводность цилиндрической стенки.
25. Тепловой баланс производственного помещения.
26. Конвективный теплообмен.
27. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением.
28. Сложный теплообмен.
29. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости.
30. Назначение, классификация и схемы теплообменных аппаратов.
31. Методы интенсификации процессов теплоотдачи в теплообменных аппаратах.

#### **7.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков, опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Контроль освоения дисциплины Б1.О.15 «Теплотехника» проводится в соответствии с Пл КубГАУ 2.5.1 «Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация студентов». Текущий контроль по дисциплине позволяет оценить степень восприятия учебного материала и проводится для оценки результатов изучения разделов/тем дисциплины. Текущий контроль

проводится как контроль тематический (по итогам изучения определенных тем дисциплины) и рубежный (контроль определенного раздела или нескольких разделов перед тем, как приступить к изучению очередной части учебного материала).

### **Тестовые задания**

Оценка **«отлично»** выставляется при условии правильного ответа студента не менее чем на 85 % тестовых заданий.

Оценка **«хорошо»** выставляется при условии правильного ответа студента не менее чем на 70 % тестовых заданий.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется при условии правильного ответа студента не менее чем на 51 %.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется при условии правильного ответа студента менее чем на 50 % тестовых заданий.

### **Критерии оценки на экзамене**

Оценка **«отлично»** выставляется обучающемуся, который обладает всесторонними, систематизированными и глубокими знаниями материала учебной программы, умеет свободно выполнять задания, предусмотренные учебной программой, усвоил основную и ознакомился с дополнительной литературой, рекомендованной учебной программой. Как правило, оценка **«отлично»** выставляется обучающемуся усвоившему взаимосвязь основных положений и понятий дисциплины в их значении для приобретаемой специальности, проявившему творческие способности в понимании, изложении и использовании учебного материала, правильно обосновывающему принятые решения, владеющему разносторонними навыками и приемами выполнения практических работ.

Оценка **«хорошо»** выставляется обучающемуся, обнаружившему полное знание материала учебной программы, успешно выполняющему предусмотренные учебной программой задания, усвоившему материал основной литературы, рекомендованной учебной программой. Как правило, оценка **«хорошо»** выставляется обучающемуся, показавшему систематизированный характер знаний по дисциплине, способному к самостоятельному пополнению знаний в ходе дальнейшей учебной и профессиональной деятельности, правильно применяющему теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеющему необходимыми навыками и приемами выполнения практических работ.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется обучающемуся, который показал знание основного материала учебной программы в объеме, достаточном и необходимым для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справился с выполнением заданий, предусмотренных учебной программой, знаком с основной литературой, рекомендованной учебной программой. Как правило, оценка **«удовлетворительно»** выставляется обучающемуся, допустившему погрешности в ответах на

экзамене или выполнении экзаменационных заданий, но обладающему необходимыми знаниями под руководством преподавателя для устранения этих погрешностей, нарушающему последовательность в изложении учебного материала и испытывающему затруднения при выполнении практических работ.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется обучающемуся, не знающему основной части материала учебной программы, допускающему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных учебной программой заданий, неуверенно с большими затруднениями выполняющему практические работы. Как правило, оценка **«неудовлетворительно»** выставляется обучающемуся, который не может продолжить обучение или приступить к деятельности по специальности по окончании университета без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценки **«зачтено»** и **«незачтено»** выставляются по дисциплинам, формой заключительного контроля которых является зачет. При этом оценка **«зачтено»** должна соответствовать параметрам любой из положительных оценок (**«отлично»**, **«хорошо»**, **«удовлетворительно»**), а **«незачтено»** — параметрам оценки **«неудовлетворительно»**.

## **8 Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

### **Основная учебная литература**

1. Гарькавый К.А. Теплотехника [Электронный ресурс] : учебное пособие / К.А. Гарькавый, А.Н. Соболев. – Краснодар: КубГАУ, 2018. –102 с. – 978-5-6041101-4-0. –Режим доступа: [https://edu.kubsau.ru/file.php/124/Teplotekhnika\\_uchebnoe\\_posobie\\_25-09-2018\\_409028\\_v1\\_.PDF](https://edu.kubsau.ru/file.php/124/Teplotekhnika_uchebnoe_posobie_25-09-2018_409028_v1_.PDF)

2. Гарькавый К.А. Теплотехника: Применение теплоты в сельском хозяйстве [Электронный ресурс]: учебное пособие / К.А. Гарькавый, А.Н. Соболев. – Краснодар: КубГАУ, 2018. –118 с. – 978-5-6041101-6-4. –Режим доступа: [https://edu.kubsau.ru/file.php/124/2\\_2018\\_Teplotekhnika\\_uchebnoe\\_posobie\\_2\\_422213\\_v1\\_.PDF](https://edu.kubsau.ru/file.php/124/2_2018_Teplotekhnika_uchebnoe_posobie_2_422213_v1_.PDF)

3. Соболев А.Н. Теплотехника: практикум / А. Н. Соболев. – Краснодар. - КубГАУ, 2019. – 84 с. – Режим доступа: [https://edu.kubsau.ru/file.php/124/Teplotekhnika\\_praktikum35.03.06.pdf](https://edu.kubsau.ru/file.php/124/Teplotekhnika_praktikum35.03.06.pdf)

### **Дополнительная учебная литература**

1. Журавец И.Б. Конспект лекций по теплотехнике [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.Б. Журавец, С.З. Манойлина. — Электрон. текстовые данные. –Воронеж: Воронежский Государственный Аграрный Университет им. Императора Петра Первого, 2016. – 286 с. –978-5-7267-0899-7. –Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72678.html>

2. Епифанов В. С. Теплотехника. Сборник контрольных заданий [Электронный ресурс] / В. С. Епифанов. - М. : МГАВТ, 2008. - 63 с., 17 ил., 10 табл. - Режим доступа: <http://znanium.com/>

3. Кудинов В.А. Теплотехника: Учебное пособие / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, Е.В. Стефанюк. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 424 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-905554-80-3 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/486472>

4. Крайнов А.В. Термодинамика и теплопередача. Ч. 1: Термодинамика : учеб. пособие / А.В. Крайнов, Е.Н. Пашков ; Томский политехнический университет. - Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. - 160 с. - ISBN 978-5-4387-0769-1. - Режим доступа: <https://new.znanium.com/catalog/product/1043902>

## 9 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

№	Наименование	Тематика
1	Znanium.com	Универсальная
...	IPRbook	Универсальная
	Образовательный портал КубГАУ	Универсальная

Перечень Интернет сайтов:

1. База данных Scopus. Режим доступа: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic>
2. База Данных Web of Science. Режим доступа: <http://login.webofknowledge.com/error/Error?Src=IP&Alias=WOK5&Error=IPError&Params=&PathInfo=%2F&RouterURL=http%3A%2F%2Fwww.webofknowledge.com%2F&Domain=.webofknowledge.com>
3. <https://ru.wikipedia.org>

## 10 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

1. Соболев А.Н. Теплотехника: практикум / А. Н. Соболев. – Краснодар. - КубГАУ, 2019. – 84 с. – Режим доступа: [https://edu.kubsau.ru/file.php/124/Teplotekhnika\\_praktikum35.03.06.pdf](https://edu.kubsau.ru/file.php/124/Teplotekhnika_praktikum35.03.06.pdf)
2. Соболев А.Н. Теплотехника: методические указания к выполнению контрольной работы / А. Н. Соболев. – Краснодар. - КубГАУ, 2019. – 51 с. - Режим доступа:



## **11 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине позволяют: обеспечить взаимодействие между участниками образовательного процесса, в том числе синхронное и (или) асинхронное взаимодействие посредством сети "Интернет"; фиксировать ход образовательного процесса, результатов промежуточной аттестации по дисциплине и результатов освоения образовательной программы; организовать процесс образования путем визуализации изучаемой информации посредством использования презентаций, учебных фильмов; контролировать результаты обучения на основе компьютерного тестирования.

### Перечень лицензионного ПО

	Наименование	Краткое описание
	Microsoft Windows	Операционная система
	Microsoft Office (включает Word, Excel, PowerPoint)	Пакет офисных приложений

## **12. Материально-техническое обеспечение обучения по дисциплине для лиц с ОВЗ и инвалидов**

Входная группа в главный учебный корпус оборудован пандусом, кнопкой вызова, тактильными табличками, опорными поручнями, предупреждающими знаками, доступным расширенным входом, в корпусе есть специально оборудованная санитарная комната. Для перемещения инвалидов и ЛОВЗ в помещении имеется передвижной гусеничный ступенькоход. Корпус оснащен противопожарной звуковой и визуальной сигнализацией

№ п/п	Наименование учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), практики, иных видов учебной деятельности, предусмотренных учебным планом образовательной программы	Наименование помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом, в том числе помещения для самостоятельной работы, с указанием перечня основного оборудования, учебно-наглядных пособий и используемого программного обеспечения	Адрес (местоположение) помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом (в случае реализации образовательной программы в сетевой форме дополнительно указывается наименование организации, с которой заключен договор)
1	2	3	4
	Теплотехника	<p>Помещение №221 ГУК, площадь — 101м<sup>2</sup>; посадочных мест — 95; учебная аудитория для проведения учебных занятий, для самостоятельной работы обучающихся, в том числе для обучающихся с инвалидностью и ОВЗ</p> <p>специализированная мебель (учебная доска, учебная мебель), в т.ч для обучающихся с инвалидностью и ОВЗ;</p> <p>технические средства обучения, наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий (ноутбук, проектор, экран), в т.ч для обучающихся с инвалидностью и ОВЗ;</p> <p>программное обеспечение: Windows, Office.</p> <p>Помещение №114 ЗОО, площадь — 43м<sup>2</sup>; посадочных мест — 25; учебная аудитория для проведения учебных занятий, для самостоятельной работы обучающихся, в том числе для обучающихся с инвалидностью и ОВЗ</p> <p>специализированная мебель (учебная доска, учебная мебель), в том числе для обучающихся с инвалидностью и ОВЗ</p>	350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, 13

### 13. Особенности организации обучения лиц с ОВЗ и инвалидов

Для инвалидов и лиц с ОВЗ может изменяться объём дисциплины (модуля) в часах, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося (при этом не увеличивается количество зачётных единиц, выделенных на освоение дисциплины).

Фонды оценочных средств адаптируются к ограничениям здоровья и восприятия информации обучающимися.

Основные формы представления оценочных средств – в печатной форме или в форме электронного документа.

#### Формы контроля и оценки результатов обучения инвалидов и лиц с ОВЗ

Категории студентов с ОВЗ и инвалидностью	Форма контроля и оценки результатов обучения
<i>С нарушением зрения</i>	– устная проверка: дискуссии, тренинги, круглые столы, собеседования, устные коллоквиумы и др.; – с использованием компьютера и специального ПО: работа с электронными образовательными ресурсами, тестирование, рефераты, курсовые проекты, дистанционные формы, если позволяет острота зрения - графические работы и др.; при возможности письменная проверка с использованием рельефно-точечной системы Брайля, увеличенного шрифта, использование специальных технических средств (тифлотехнических средств): контрольные, графические работы, тестирование, домашние задания, эссе, отчеты и др.
<i>С нарушением слуха</i>	– письменная проверка: контрольные, графические работы, тестирование, домашние задания, эссе, письменные коллоквиумы, отчеты и др.; – с использованием компьютера: работа с электронными образовательными ресурсами, тестирование, рефераты, курсовые проекты, графические работы, дистанционные формы и др.; при возможности устная проверка с использованием специальных технических средств (аудиосредств, средств коммуникации, звукоусиливающей аппаратуры и др.): дискуссии, тренинги, круглые столы, собеседования, устные коллоквиумы и др.
<i>С нарушением опорно-двигательного аппарата</i>	– письменная проверка с использованием специальных технических средств (альтернативных средств ввода, управления компьютером и др.): контрольные, графические работы, тестирование, домашние задания, эссе, письменные коллоквиумы, отчеты и др.; – устная проверка, с использованием специальных технических средств (средств коммуникаций): дискуссии, тренинги, круглые столы, собеседования, устные коллоквиумы и др.;

	с использованием компьютера и специального ПО (альтернативных средств ввода и управления компьютером и др.): работа с электронными образовательными ресурсами, тестирование, рефераты, курсовые проекты, графические работы, дистанционные формы предпочтительнее обучающимся, ограниченным в передвижении и др.
--	--

## **Адаптация процедуры проведения промежуточной аттестации для инвалидов и лиц с ОВЗ:**

В ходе проведения промежуточной аттестации предусмотрено:

- предъявление обучающимся печатных и (или) электронных материалов в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья;
- возможность пользоваться индивидуальными устройствами и средствами, позволяющими адаптировать материалы, осуществлять приём и передачу информации с учетом их индивидуальных особенностей;
- увеличение продолжительности проведения аттестации;
- возможность присутствия ассистента и оказания им необходимой помощи (занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, общаться с преподавателем).

Формы промежуточной аттестации для инвалидов и лиц с ОВЗ должны учитывать индивидуальные и психофизические особенности обучающегося/обучающихся по АОПОП ВО (устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п.).

## **Специальные условия, обеспечиваемые в процессе преподавания дисциплины**

### **Студенты с нарушениями зрения**

- предоставление образовательного контента в текстовом электронном формате, позволяющем переводить плоскочечную информацию в аудиальную или тактильную форму;
- возможность использовать индивидуальные устройства и средства, позволяющие адаптировать материалы, осуществлять приём и передачу информации с учетом индивидуальных особенностей и состояния здоровья студента;
- предоставление возможности предкурсового ознакомления с содержанием учебной дисциплины и материалом по курсу за счёт размещения информации на корпоративном образовательном портале;
- использование чёткого и увеличенного по размеру шрифта и графических объектов в мультимедийных презентациях;
- использование инструментов «лупа», «прожектор» при работе с

интерактивной доской;

- озвучивание визуальной информации, представленной обучающимся в ходе занятий;

- обеспечение раздаточным материалом, дублирующим информацию, выводимую на экран;

- наличие подписей и описания у всех используемых в процессе обучения рисунков и иных графических объектов, что даёт возможность перевести письменный текст в аудиальный,

- обеспечение особого речевого режима преподавания: лекции читаются громко, разборчиво, отчётливо, с паузами между смысловыми блоками информации, обеспечивается интонирование, повторение, акцентирование, профилактика рассеивания внимания;

- минимизация внешнего шума и обеспечение спокойной аудиальной обстановки;

- возможность вести запись учебной информации студентами в удобной для них форме (аудиально, аудиовизуально, на ноутбуке, в виде пометок в заранее подготовленном тексте);

- увеличение доли методов социальной стимуляции (обращение внимания, апелляция к ограничениям по времени, контактные виды работ, групповые задания и др.) на практических и лабораторных занятиях;

- минимизирование заданий, требующих активного использования зрительной памяти и зрительного внимания;

- применение поэтапной системы контроля, более частый контроль выполнения заданий для самостоятельной работы.

### **Студенты с нарушениями опорно-двигательного аппарата (маломобильные студенты, студенты, имеющие трудности передвижения и патологию верхних конечностей)**

- возможность использовать специальное программное обеспечение и специальное оборудование и позволяющее компенсировать двигательное нарушение (коляски, ходунки, трости и др.);

- предоставление возможности предкурсового ознакомления с содержанием учебной дисциплины и материалом по курсу за счёт размещения информации на корпоративном образовательном портале;

- применение дополнительных средств активизации процессов запоминания и повторения;

- опора на определенные и точные понятия;

- использование для иллюстрации конкретных примеров;

- применение вопросов для мониторинга понимания;

- разделение изучаемого материала на небольшие логические блоки;

- увеличение доли конкретного материала и соблюдение принципа от простого к сложному при объяснении материала;
- наличие чёткой системы и алгоритма организации самостоятельных работ и проверки заданий с обязательной корректировкой и комментариями;
- увеличение доли методов социальной стимуляции (обращение внимания, апелляция к ограничениям по времени, контактные виды работ, групповые задания др.);
- обеспечение беспрепятственного доступа в помещения, а также пребывания них;
- наличие возможности использовать индивидуальные устройства и средства, позволяющие обеспечить реализацию эргономических принципов и комфортное пребывание на месте в течение всего периода учёбы (подставки, специальные подушки и др.).

### **Студенты с нарушениями слуха (глухие, слабослышащие, позднооглохшие)**

- предоставление образовательного контента в текстовом электронном формате, позволяющем переводить аудиальную форму лекции в плоскочечатную информацию;
- наличие возможности использовать индивидуальные звукоусиливающие устройства и сурдотехнические средства, позволяющие осуществлять приём и передачу информации; осуществлять взаимобратный перевод текстовых и аудиофайлов (блокнот для речевого ввода), а также запись и воспроизведение зрительной информации.
- наличие системы заданий, обеспечивающих систематизацию вербального материала, его схематизацию, перевод в таблицы, схемы, опорные тексты, глоссарий;
- наличие наглядного сопровождения изучаемого материала (структурно-логические схемы, таблицы, графики, концентрирующие и обобщающие информацию, опорные конспекты, раздаточный материал);
- наличие чёткой системы и алгоритма организации самостоятельных работ и проверки заданий с обязательной корректировкой и комментариями;
- обеспечение практики опережающего чтения, когда студенты заранее знакомятся с материалом и выделяют незнакомые и непонятные слова и фрагменты;
- особый речевой режим работы (отказ от длинных фраз и сложных предложений, хорошая артикуляция; четкость изложения, отсутствие лишних слов; повторение фраз без изменения слов и порядка их следования; обеспечение зрительного контакта во время говорения и чуть более медленного темпа речи, использование естественных жестов и мимики);
- чёткое соблюдение алгоритма занятия и заданий для самостоятельной работы (называние темы, постановка цели, сообщение и

запись плана, выделение основных понятий и методов их изучения, указание видов деятельности студентов и способов проверки усвоения материала, словарная работа);

- соблюдение требований к предъявляемым учебным текстам (разбивка текста на части; выделение опорных смысловых пунктов; использование наглядных средств);

- минимизация внешних шумов;

- предоставление возможности соотносить вербальный и графический материал; комплексное использование письменных и устных средств коммуникации при работе в группе;

- сочетание на занятиях всех видов речевой деятельности (говорения, слушания, чтения, письма, зрительного восприятия с лица говорящего).

### **Студенты с прочими видами нарушений**

**(ДЦП с нарушениями речи, заболевания эндокринной, центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, онкологические заболевания)**

- наличие возможности использовать индивидуальные устройства и средства, позволяющие осуществлять приём и передачу информации;

- наличие системы заданий, обеспечивающих систематизацию вербального материала, его схематизацию, перевод в таблицы, схемы, опорные тексты, глоссарий;

- наличие наглядного сопровождения изучаемого материала;

- наличие чёткой системы и алгоритма организации самостоятельных работ и проверки заданий с обязательной корректировкой и комментариями;

- обеспечение практики опережающего чтения, когда студенты заранее знакомятся с материалом и выделяют незнакомые и непонятные слова и фрагменты;

- предоставление возможности соотносить вербальный и графический материал; комплексное использование письменных и устных средств коммуникации при работе в группе;

- сочетание на занятиях всех видов речевой деятельности (говорения, слушания, чтения, письма, зрительного восприятия с лица говорящего);

- предоставление образовательного контента в текстовом электронном формате;

- предоставление возможности предкурсового ознакомления с содержанием учебной дисциплины и материалом по курсу за счёт размещения информации на корпоративном образовательном портале;

- возможность вести запись учебной информации студентами в удобной для них форме (аудиально, аудиовизуально, в виде пометок в заранее подготовленном тексте).

- применение поэтапной системы контроля, более частый контроль выполнения заданий для самостоятельной работы,

- стимулирование выработки у студентов навыков самоорганизации и самоконтроля;
- наличие пауз для отдыха и смены видов деятельности по ходу занятия.