

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета Инженерных систем и управления Яременко С.А.  
«31» августа 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

«Теплофизика»

**Направление подготовки** 20.03.01 Техносферная безопасность

**Профиль** Обеспечение безопасности в техносфере и чрезвычайных ситуациях


**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года / 4 года и 11 м.

**Форма обучения** очная / заочная

**Год начала подготовки** 2021

Автор программы

 /В.И. Лукьяненко/

Заведующий кафедрой  
Теоретической и  
промышленной  
теплоэнергетики

 /В.В. Портнов/

Руководитель ОПОП

 /А.А. Павленко/

Воронеж 2021

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

анализировать задачу, выделяя ее базовые составляющие. Находить и критически анализировать информацию, необходимую для решения поставленной задачи. Грамотно, логично, аргументировано формировать собственные суждения и оценки. Отличать факты от мнений, интерпретаций, оценок и т.д. В рассуждениях других участников деятельности

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

уметь рассматривает различные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки. Рассматривать различные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки. При решении типовых задач по обеспечению безопасности человека в среде обитания использовать современные информационные технологии

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Теплофизика» относится к дисциплинам обязательной части блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Теплофизика» направлен на формирование следующих компетенций:

УК-1 - Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

ОПК-1 - Способен учитывать современные тенденции развития техники и технологий в области техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий при решении типовых задач в области профессиональной деятельности, связанной с защитой окружающей среды и обеспечением безопасности человека;

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
УК-1	знать законы термодинамики и основные уравнения термодинамики; методы термодинамического описания процессов в одно- и многокомпонентных системах; основные закономерности протекания теплофизических процессов, методы описания теплофизических процессов. Виды теплообмена и методы расчёта, способы и уравнения передачи теплоты, механизмы их применения.
	уметь выполнять теплотехнические расчёты; определять термодинамические характеристики рабочих тел и теплофизических свойств веществ; прогнозировать влияние различных теплофизических факторов на равновесие в замкнутых

	<p>и разомкнутых системах; устанавливать границы областей устойчивости в системах; определять направленность процесса в заданных начальных условиях; прогнозировать влияние температуры на скорость процесса; обобщать и обрабатывать экспериментальную информацию, выполнять основные расчёты; определять тепломассообменные характеристики веществ; прогнозировать влияние различных теплофизических факторов</p> <p><b>Владеть</b> вычислением тепловых эффектов теплофизических процессов при заданной температуре в условиях постоянства давления или объема; обработкой графических зависимостей для определения некоторых физических величин; расчетом определения количества механической работы; использованием справочной литературы. Вычислением процессов передачи теплоты при различных видах теплообмена; обработкой графических зависимостей передачи теплоты.</p>
ОПК-1	<p><b>Знать</b> современные тенденции развития теплотехнических технологий в области техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий при решении типовых задач в области профессиональной деятельности, связанной с защитой окружающей среды и обеспечением безопасности человека</p>
	<p><b>уметь</b> учитывать современные тенденции развития теплотехнических технологий в области техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий при решении типовых задач в области профессиональной деятельности, связанной с защитой окружающей среды и обеспечением безопасности человека</p>
	<p><b>Владеть</b> современными тенденциями развития теплотехнических технологий в области техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий при решении типовых задач в области профессиональной деятельности, связанной с защитой окружающей среды и обеспечением безопасности человека</p>

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Теплофизика» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	36	36
В том числе:		
Лекции	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	72	72
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		

академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

### заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	8	8
В том числе:		
Лекции	4	4
Лабораторные работы (ЛР)	4	4
<b>Самостоятельная работа</b>	96	96
Часы на контроль	4	4
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Техническая термодинамика - наука о закономерностях превращения энергии.	Предмет и задачи технической термодинамики, связь с другими науками и роль при изучении специальных дисциплин. Термодинамический метод, уравнение состояния идеального газа.	4	4	12	20
2	Законы технической термодинамики. Процессы с идеальными газами и круговые циклы.	Первый закон термодинамики. Энтальпия. Внутренняя энергия. Работа и теплота в процессе. Второй закон термодинамики. Энтропия. Газовые циклы и их КПД..	4	4	12	20
3	Реальные газы. Водяной пар. Истечение. Дросселирование. Паросиловые и холодильные циклы. Влажный воздух.	Реальные газы. Водяной пар. Истечение. Дросселирование. Паросиловые и холодильные циклы. Влажный воздух.	4	4	12	20
4	Виды теплообмена. Теплопроводность, конвективный теплообмен, тепловое излучение.	Виды теплообмена. Теплопроводность, конвективный теплообмен, тепловое излучение.	2	2	12	16
5	Сложный теплообмен. Теплопередача.	Сложный теплообмен. Теплопередача	2	2	12	16
6	Теплообменные аппараты.	Теплообменные аппараты. Виды расчета теплообменного аппарата. Прямоток, противоток и перекрестный ток. Средний логарифмический тем пературный напор.	2	2	12	16
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>72</b>	<b>108</b>

#### заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Техническая термодинамика - наука о закономерностях превращения энергии.	Предмет и задачи технической термодинамики, связь с другими науками и роль при изучении специальных дисциплин. Термодинамический метод, уравнение состояния идеального газа.	2	2	16	20
2	Законы технической термодинамики. Процессы с идеальными газами и круговые циклы.	Первый закон термодинамики. Энтальпия. Внутренняя энергия. Работа и теплота в процессе. Второй закон термодинамики. Энтропия. Газовые циклы и их КПД..	2	2	16	20

3	Реальные газы. Водяной пар. Истечение. Дросселирование. Паросиловые и холодильные циклы. Влажный воздух.	Реальные газы. Водяной пар. Истечение. Дросселирование. Паросиловые и холодильные циклы. Влажный воздух.	-	-	16	16
4	Виды теплообмена. Теплопроводность, конвективный теплообмен, тепловое излучение.	Виды теплообмена. Теплопроводность, конвективный теплообмен, тепловое излучение.	-	-	16	16
5	Сложный теплообмен. Теплопередача.	Сложный теплообмен. Теплопередача	-	-	16	16
6	Теплообменные аппараты.	Теплообменные аппараты. Виды расчета теплообменного аппарата. Прямоток, противоток и перекрестный ток. Средний логарифмический температурный напор.	-	-	16	16
<b>Итого</b>			<b>4</b>	<b>4</b>	<b>96</b>	<b>104</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Укажите перечень лабораторных работ

Лабораторная работа №1 «Определение средней объемной теплоёмкости воздуха при постоянном давлении».

Лабораторная работа №2 «Исследование процессов во влажном воздухе».

Лабораторная работа №3 «Экспериментальное определение теплопроводности теплоизоляционных материалов методом цилиндрического слоя».

Лабораторная работа №4 «Изучение теплоотдачи горизонтального цилиндра при свободной конвекции в неограниченном объеме».

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
УК-1	знать законы термодинамики и основные уравнения термодинамики; методы термодинамического описания процессов в одно- и многокомпонентных	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	<p>системах; основные закономерности протекания теплофизических процессов, методы описания теплофизических процессов. Виды теплообмена и методы расчёта, способы и уравнения передачи теплоты, механизмы их применения.</p>			
	<p>уметь выполнять теплотехнические расчёты; определять термодинамические характеристики рабочих тел и теплофизических свойств веществ; прогнозировать влияние различных теплофизических факторов на равновесие в замкнутых и разомкнутых системах; устанавливать границы областей устойчивости в системах; определять направленность процесса в заданных начальных условиях; прогнозировать влияние температуры на скорость процесса; обобщать и обрабатывать экспериментальную информацию, выполнять основные расчёты; определять теплообменные характеристики веществ; прогнозировать влияние различных теплофизических факторов</p>	<p>Решение стандартных практических задач</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>
	<p>владеть вычислением тепловых эффектов теплофизических процессов при заданной температуре в условиях постоянства давления или объема; обработкой графических зависимостей для определения некоторых физических величин; расчетом определения количества механической работы; использованием справочной литературы. Вычислением процессов передачи теплоты при различных видах теплообмена; обработкой</p>	<p>Решение прикладных задач в конкретной предметной области</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>

	графических зависимостей передачи теплоты.			
ОПК-1	знать современные тенденции развития теплотехнических технологий в области техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий при решении типовых задач в области профессиональной деятельности, связанной с защитой окружающей среды и обеспечением безопасности человека	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь учитывать современные тенденции развития теплотехнических технологий в области техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий при решении типовых задач в области профессиональной деятельности, связанной с защитой окружающей среды и обеспечением безопасности человека	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>Владеть</b> современными тенденциями развития теплотехнических технологий в области техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий при решении типовых задач в области профессиональной деятельности, связанной с защитой окружающей среды и обеспечением безопасности человека	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 4 семестре для очной формы обучения, 5 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
УК-1	<p>знать</p> <p>законы термодинамики и основные уравнения термодинамики; методы термодинамического описания процессов в одно- и многокомпонентных системах; основные закономерности протекания теплофических процессов, методы описания теплофизических процессов. Виды теплообмена и методы расчёта, способы и уравнения передачи теплоты, механизмы их применения.</p>	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<p>уметь</p> <p>выполнять теплотехнические расчёты; определять термодинамические характеристики рабочих тел и теплофизических свойств веществ; прогнозировать влияние различных теплофизических факторов на равновесие в замкнутых и разомкнутых системах; устанавливать границы областей устойчивости в системах; определять направленность процесса в заданных начальных условиях; прогнозировать влияние температуры на скорость процесса; обобщать и обрабатывать экспериментальную информацию, выполнять основные расчёты; определять тепломассообменные характеристики веществ; прогнозировать влияние различных теплофизических факторов</p>	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<p>владеть</p> <p>вычислением тепловых эффектов теплофизических процессов при заданной температуре в условиях постоянства давления или объема; обработкой графических зависимостей для определения некоторых</p>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены



	физических величин; расчетом определения количества механической работы; использованием справочной литературы. Вычислением процессов передачи теплоты при различных видах теплообмена; обработкой графических зависимостей передачи теплоты.			
ОПК-1	знать современные тенденции развития теплотехнических технологий в области техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий при решении типовых задач в области профессиональной деятельности, связанной с защитой окружающей среды и обеспечением безопасности человека	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь учитывать современные тенденции развития теплотехнических технологий в области техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий при решении типовых задач в области профессиональной деятельности, связанной с защитой окружающей среды и обеспечением безопасности человека	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>Владеть</b> современными тенденциями развития теплотехнических технологий в области техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий при решении типовых задач в области профессиональной деятельности, связанной с защитой окружающей среды и обеспечением безопасности человека	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

**7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

**7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию**

**1. Назовите термические параметры состояния.**

- a) масса, плотность, удельный вес
- b) давление, удельный объем, температура**
- c) работа, теплоемкость, теплота
- d) молекулярная масса, объем, газовая постоянная

**2. Уравнение состояния идеального газа**

a)  $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$

$\frac{P_1}{\rho_1} = \frac{P_2}{\rho_2}$

b)  $\frac{P_1}{\rho_1} = \frac{P_2}{\rho_2}$

c)  $PV = mRT$

$L = R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$

d)

**3. Чему равна работа в изохорном процессе?**

a)  $L = m \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$

**b)  $L = 0$**

c)  $L = m \cdot P \cdot (V_2 - V_1)$

d)  $L = \frac{m}{\kappa - 1} \cdot (P_1 \cdot V_1 - P_2 \cdot V_2)$

**4. Чему равно количество теплоты в адиабатном процессе?**

a.  $q = c_v \cdot (T_2 - T_1)$

**b.  $q = 0$**

c.  $q = c_p \cdot (T_2 - T_1)$

d.  $q = R \cdot T \cdot \ln \frac{P_1}{P_2}$

**5. Смесь жидкости и водяного пара называется:**

a) сухим насыщенным паром;

b) перегретым паром;

c) влажным ненасыщенным паром;

**d) влажным насыщенным паром.**

**6. В момент полного испарения жидкости пар называется:**

a) влажный ненасыщенный пар;

b) сухой насыщенный пар;

c) перегретый пар;

**d) сухой насыщенный пар.**

**7. Процесс передачи тепла от одних материальных тел к другим в общем случае называется:**

a) тепловым излучением;

b) теплоотдачей;

c) теплопроводностью;

d) теплопередачей.

**8. Интенсивность конвективного теплообмена оценивается:**

- a) коэффициентом теплопередачи;
- b) коэффициентом поглощения;
- c) коэффициентом интенсивности теплообмена;
- d) коэффициентом теплоотдачи.**

**9. Критерий Нуссельта является:**

- a) критерием гидродинамического подобия;
- b) критерием теплового подобия;**
- c) критерием диффузионного подобия;
- d) критерием нагрева тела.

**10 При конструктивном расчете теплообменных аппаратов поверхность теплообмена определяется из уравнения:**

- a) 
$$F = \frac{\Phi}{k_{пол} \cdot \Delta t_{ср}}$$
- b) 
$$F = \frac{Q \cdot R_{пол}}{\Delta t_{ср} \cdot \tau};$$
- c) 
$$F = \frac{Q}{k_{пол} \cdot (t_1 - t_2) \cdot \tau};$$
- d) 
$$F = \frac{\Phi}{\alpha \cdot (t_{сг} - t_{ж})}.$$

**7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

**1. Уравнение состояния идеального газа. Клапейрона – Менделеева:**

$$p\nu = R_{\mu} T$$

где  $p$  – давление, Па,  $\nu$  – удельный объем (отношение объема вещества к его массе),  $\left[ \frac{м^3}{кг} \right]$

$R_{\mu} = \frac{R_0}{\mu}$  – газовая постоянная данного газа  $\left[ \frac{Дж}{кг \cdot К} \right]$ ,  $R_0 = 8,314 \left[ \frac{Дж}{моль \cdot К} \right]$  – универсальная газовая постоянная,  $\mu$  – молярная масса вещества (масса одного моля вещества)  $\left[ \frac{г}{моль} = \frac{кг}{кмоль} \right]$

Для любого процесса 1-2  $\frac{p_1 \times \nu_1}{p_2 \times \nu_2} = \frac{T_1}{T_2}$

**2. Определение теплоёмкости:**

Теплоёмкостью тела называется количество теплоты, необходимое для

изменения его температуры на 1 К:  $c = \frac{dq}{dT} \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \right]$

Уравнение Майера:  $c_p - c_v = R_m$ , где  $c_p, c_v$  – массовые теплоемкости при постоянном давлении и при постоянном объеме.

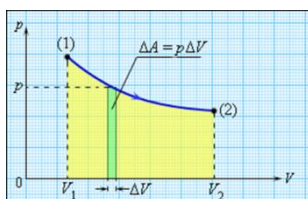
### 3. Внутренняя энергия идеальных газов. Формы передачи энергии:

Внутренней энергией  $u$  (Дж/кг) для идеальных газов называют кинетическую энергию движения молекул. Она зависит только от температуры и поэтому является функцией состояния газа. Изменение внутренней энергии при переходе из одного состояния в другое всегда равно разности между ее значениями в конечном и начальном состояниях независимо от пути, по которому совершался переход:  $\Delta u = c_v (T_2 - T_1)$ .

Внутренняя энергия рабочего тела изменяется при передаче энергии другому телу, которая может происходить двумя способами: **в форме теплоты и в форме работы.**

**В форме теплоты** энергия передается от более нагретого к менее нагретому. Количество энергии, переданной **в форме теплоты** от одного тела к другому, называется **количеством теплоты** –  $Q$  [Дж],  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

**В форме работы** энергия передается при изменении объема рабочего тела. При этом количество переданной энергии называется **работой** –  $A$  [Дж].

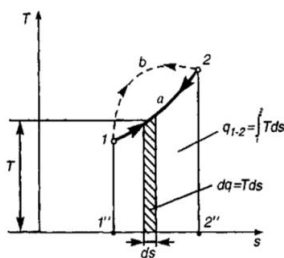


### 4. Работа деформации. Рабочая диаграмма термодинамического процесса.

$$A_{12} = \int_{v_1}^{v_2} p dv$$

Работа расширения газа  $A_{12}$  отображается на термодинамической  $pV$  диаграмме площадью под кривой процесса.

Поэтому  $pV$  диаграмма называется рабочей.



### 5. Удельная энтропия. Тепловая диаграмма термодинамического процесса.

**Удельной энтропией** называется отношение приращения количества теплоты к температуре, при которой

произошло это изменение:  $ds = \frac{dq}{T}$ . Отсюда  $dq = T ds$ .

Теплота процесса 1-2 равна площади под кривой процесса при его изображении в  $Ts$  - координатах.

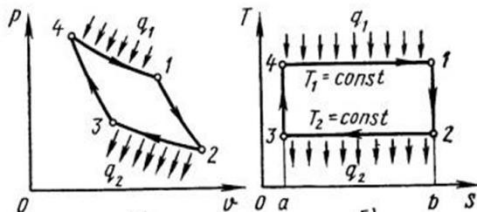
Поэтому  $Ts$  - диаграмма называется тепловой.

### 6. Первый закон термодинамики:

"Теплота, подведенная к системе, расходуется на изменение внутренней энергии системы и совершение работы":  $q = \Delta u + A$ ,

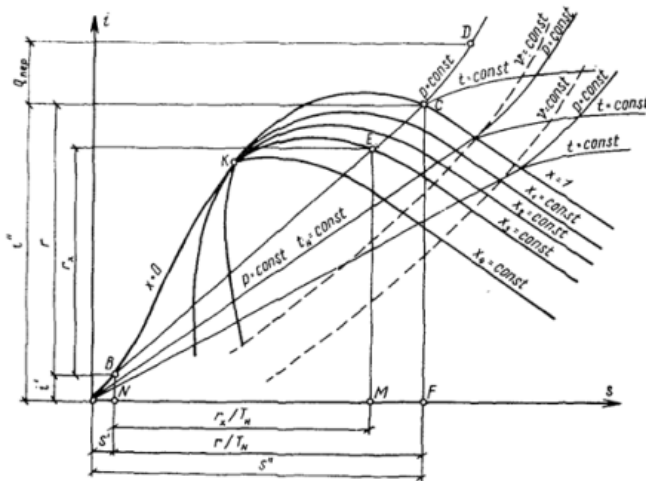
### 7. Цикл Карно:

Покажите на диаграммах работу цикла  $A_{ц}$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ , количество подведённого и отведённого тепла  $q_1$  и  $q_2$ . КПД цикла.



$$\eta_t = \frac{A_{ц}}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

### 8. Процесс парообразования в $hs$ - диаграмме:



$h$  – энтальпия

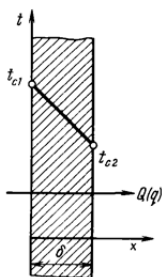
$v = \text{const}$  – изохора;

$p = \text{const}$  – изобара;

$T = \text{const}$  – изотерма.

### 9. Тепловой поток через плоскую стенку:

**Закон теплопроводности Фурье:** Тепловой поток пропорционален градиенту температуры и площади сечения, перпендикулярного направлению теплового потока



$$q = -\lambda \frac{t_{cm2} - t_{cm1}}{\delta} = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t = \frac{\Delta t}{R}$$

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала  $\left[ \frac{Вт}{м \cdot К} \right]$ .

$\delta$  - толщина стенки, м;

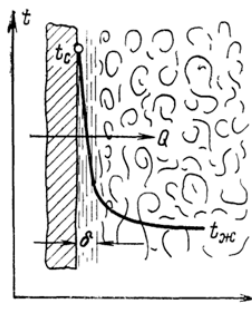
$t_{ст1}, t_{ст2}$  - температуры на поверхностях стенки, °С.

Тепловое сопротивление стенки  $R$  равно  $R = \frac{\delta}{\lambda}, \left[ \frac{m^2 K}{Bm} \right]$

### 10. Закон конвективного теплообмена Ньютона-Рихмана:

Количество теплоты при конвективном теплообмене прямо пропорционально разности температур поверхности тела  $t_{ст}$  и окружающей среды  $t_{ж}$ :

$$q = \alpha(t_{ст} - t_{ж})$$



где  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи [Вт/(м²К)]

### 11. Критерий Нуссельта:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l_0}{\lambda},$$

где  $l_0$  – определяющий размер (длина, высота, диаметр),  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности.

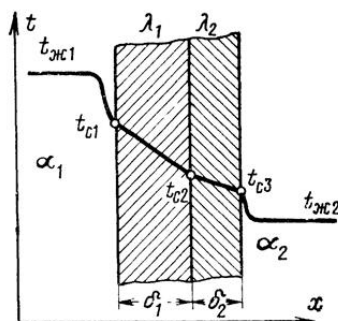
### 12. Закон теплообмена излучением Стефана-Больцмана:

Поверхностная плотность потока интегрального излучения  $E$  (Вт / м²) пропорциональна  $T^4$ :

$$E = \varepsilon \sigma_0 T^4.$$

где  $\sigma_0 = 5,67 \times 10^{-8}$  Вт/(м² К⁴) – излучательная способность абсолютно черного тела,  $\varepsilon$  - степень черноты.

### 13. Теплопередача через многослойную стенку:



Коэффициент теплопередачи для плоской стенки вычисляется по формуле

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$k = \frac{1}{R}$$

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности  $\left[ \frac{Bm}{m \cdot K} \right]$ .

$\delta$  - толщина стенки, м;

$\alpha$  - коэффициент теплоотдачи [Вт/(м<sup>2</sup> К)]

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Внутренняя энергия тела массой 1 кг при его подъеме на 1 м (ускорение свободного падения 10 м/с<sup>2</sup>, внешние условия не изменялись, трением воздуха можно пренебречь)

- a) **не изменилась.**
- b) увеличилась на 10 Дж.
- c) уменьшилась на 10 Дж.
- d) увеличилась на 20 Дж.

2. Даны одинаковые массы воды и водяного пара, находящиеся при температуре 100 °С и нормальном атмосферном давлении. Их внутренние энергии

- a) одинаковы.
- b) внутренняя энергия воды больше.
- c) **внутренняя энергия воды меньше.**
- d) Необходимы дополнительные сведения.

3. Внутренняя энергия атомарного кислорода массой 32 кг при температуре 27 °С приблизительно равна

- a) **7,4 МДж.**
- b) 640 кДж.
- c) 3,7 МДж.
- d) 125 кДж.

4. При увеличении объема газа с 20 л до 40 л (при постоянном давлении) внутренняя энергия газа

- a) увеличится в 4 раза.
- b) **увеличится в 2 раза.**
- c) уменьшится в 4 раза.
- d) уменьшится в 2 раза.

5. Полезная работа, совершенная идеальным газом за цикл (рис.1), равна

- a) 4 Дж.
- b) 4·10<sup>5</sup> Дж.
- c) **400 Дж.**
- d) 6·10<sup>5</sup> Дж.

6. При изотермическом сжатии внутренняя энергия газа...

- a) увеличивается.
- b) уменьшается.
- c) **не изменяется.**
- d) ответ неоднозначен.

7. Первый закон термодинамики для адиабатного процесса ( $A$  - работа газа) имеет вид.

- a)  $\Delta U = Q - A$ .
- b)  **$\Delta U = -A$ .**
- c)  $\Delta U = Q$ .
- d)  $Q = A$ .

8. Количество теплоты, которое необходимо сообщить газу количество вещества которого  $\nu$ , для изохорного нагревания на  $\Delta T$  равно

- a)  **$Q = (3/2)\nu R \Delta T$ .**
- b)  $Q = c\nu \Delta T$ .
- c)  $Q = (5/2)\nu R \Delta T$ .
- d)  $Q = \nu R \Delta T$ .

9. Внутренняя энергия пара при его конденсации

- a) увеличивается.
- b) **уменьшается.**
- c) не изменяется.
- d) необходимы дополнительные сведения.

10. Максимальное значение коэффициента полезного действия, который может иметь идеальная тепловая машина, если температура нагревателя ее  $527^\circ\text{C}$  и температура холодильника  $27^\circ\text{C}$ , приблизительно равно

- a) 95 %.
- b) **63 %.**
- c) 50 %.
- d) 67 %.

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Термодинамика - наука о закономерностях превращения энергии.  
Термодинамический метод.



2. Рабочее тело. Какие вещества используются в качестве рабочих тел и почему.
3. Идеальные и реальные газы.
4. Основные параметры состояния рабочего тела. Определения и единицы измерения.
5. Термодинамическая система. Термодинамический процесс.
6. Закон идеального газа ( Бойля - Мариотта , Гей - Люссака , Шарля , Авагадро ).
7. Уравнение состояния идеального газа . Физический смысл газовой постоянной.
8. Понятие о газовой смеси. Отличие в способах задания газовой смеси от однородных газов.
9. Парциальное давление . Определение парциального давления. Массовый и объёмный состав смеси.
10. Что такое теплоёмкость, её виды, единицы измерения, соотношения.
11. Изохорная и изобарная теплоёмкость. Уравнение Майера.
12. От каких параметров и как зависит теплоёмкость. Постоянная теплоёмкость.
13. Переменная теплоёмкость . Когда в расчетах пользуются переменной теплоёмкостью.
14. Среднее и истинное значение теплоёмкости. Определение количества теплоты.
15. Что такое внутренняя энергия. Как определяется изменение внутренней энергии идеального и реального газа.
16. Термодинамическая работа. Определение работы в процессах при помощи  $P, V$  - диаграммы.
17. Привести формулировку первого закона термодинамики. Объяснить смысл аналитического выражения этого закона.
18. Энтальпия. Физический смысл и численное значение.
19. Обратимые и необратимые процессы. Прямые и обратные, равновесные и неравновесные.
20. Описать изохорный процесс идеального газа, сделать его анализ. Диаграммы изохорного процесса.
21. Описать изобарный процесс идеального газа, сделать его анализ. Диаграммы изобарного процесса.
22. Описать изотермический процесс идеального газа, сделать его анализ. Диаграммы изотермического процесса.
23. Описать адиабатный процесс идеального газа, сделать его анализ. Диаграммы адиабатного процесса.
24. Описать политропный процесс идеального газа, сделать его анализ. Диаграммы политропного процесса.
25. Описать круговые процессы. Изобразить в диаграммах.
26. Провести анализ кругового термодинамического процесса. Термический КПД и холодильный коэффициент.
27. Описать прямой цикл Карно и сделать анализ термического КПД

цикла.

28. Описать обратный цикл Карно и сделать анализ холодильного коэффициента.

29. Сущность второго закона термодинамики и его основные формулировки.

30. Какая функция называется энтропией и ее назначение.

31. Назначение и принцип работы компрессора.

32. Теоретическая индикаторная диаграмма поршневого компрессора. Её физический смысл.

33. Изотермический процесс сжатия в компрессоре. Работа сжатия и теплота выделявшаяся в процессе сжатия.

34. Адиабатный процесс сжатия в компрессоре. Работа сжатия и теплота выделявшаяся в процессе сжатия.

35. Политропный процесс сжатия в компрессоре. Работа сжатия и теплота выделявшаяся в процессе сжатия.

36. Метод сравнения процесса сжатия в одноступенчатом компрессоре. Преимущество и недостатки процессов сжатия.

37. Многоступенчатый компрессор. Изображение процесса сжатия в диаграммах, преимущество и недостатки.

38. Классификация и принцип действия двигателей внутреннего сгорания.

39. Изобразить в диаграмме  $P, V$  и  $T, s$  - и дать описание цикла ДВС с подводом теплоты при  $V = \text{const}$ .

40. Изобразить в диаграмме  $P, V$  и  $T, s$  - и дать описание цикла ДВС с подводом теплоты при  $P = \text{const}$ .

41. Изобразить в диаграмме  $P, V$  и  $T, s$  - и дать описание цикла ДВС со смешанным подводом теплоты.

42. Метод сравнения ДВС.

43. Принципиальная схема ГТУ. Изобразить цикл в диаграммах  $P, V$  -  $T, s$  и дать описание процессов, протекающих в ГТУ.

44. Уравнение состояния реального газа и его исследование.

45. Водяной пар - как рабочее тело и теплоноситель. Определение и обозначение разновидностей водяного пара.

46. Уравнение водяного пара и его использование при практических расчетах.

47. Изобразить и описать процессы нагрева воды до точки кипения, парообразование и перегрев пара в  $P, V$  - диаграмме.

48. Изобразить и описать процессы нагрева воды до точки кипения, парообразование и перегрев пара в  $T, S$  - диаграмме.

49. Описать построение  $i, s$  - диаграммы водяного пара. Охарактеризуйте ее основные линии и области.

50. Объясните, за счет чего увеличивается кинетическая энергия струи и скорость истечения из суживающегося сопла.

51. Для чего применяется сопло Лавала и приведите методику расчета скорости истечения водяного пара из сопла Лавала.

52. Что такое дросселирование. Уравнение процесса дросселирования.
53. Эффект Джоуля-Томсона. Применение дросселирования в технике.
54. Устройство и принцип действия паросиловой установки. Цикл Ренкина.
55. Способы повышения КПД цикла Ренкина.
56. Промежуточный перегрев пара. Причины промежуточного перегрева пара.
57. Регенеративный цикл паросиловой установки.
58. Теплофикационный цикл паросиловой установки.
59. Паро-компрессорная холодильная машина.
60. Абсорбционная холодильная машина.
61. Влажный воздух. Абсолютная и относительная влажность воздуха.
62. Влагосодержание влажного воздуха. Объясните процесс нагрева влажного воздуха и сушки материала в  $I, d$  - диаграмме влажного воздуха.
63. Значение теплопередачи в технике. Историческое развитие науки.
64. Основные способы передачи теплоты.
65. Методы изучения теплопередачи.
66. Градиент температур. Плотность теплового потока.
67. Закон Фурье. Его аналитическое выражение и определение. Коэффициент теплопроводности.
68. Тепловой поток и плотность теплового потока через однослойную плоскую стенку теплопроводностью.
69. Тепловой поток и плотность теплового потока через многослойную плоскую стенку теплопроводностью.
70. Тепловой поток и плотность теплового потока через однослойную цилиндрическую стенку теплопроводностью.
71. Тепловой поток и плотность теплового потока через многослойную цилиндрическую стенку теплопроводностью.
72. Конвективный теплообмен, как совокупный процесс конвекции и теплопроводности.
73. Свободная и вынужденная конвекция.
74. Формула Ньютона - Рихмана , коэффициент теплоотдачи , его физический смысл.
75. Ламинарный и турбулентный режим течения жидкости и его связь с теплообменом.
76. Основы теории подобия .
77. Подобные явления. Признаки и сходства.
78. Основные положения теории подобия.
79. Критерии подобия. Понятие о тепловом подобии.
80. Теплоотдача при тепловом движении жидкости.
81. Теплоотдача при ламинарном движении жидкости в трубах и каналах.
82. Теплоотдача при турбулентном движении жидкости в трубах и каналах.
83. Теплообмен при продольном омывании пучка труб.

84. Теплоотдача при поперечном омывании одиночной трубы.
85. Теплоотдача при поперечном омывании шахматного и коридорного пучка труб.
86. Теплообмен при конденсации.
87. Теплообмен при кипении.
88. Теплообмен излучением. Основные понятия и определения.
89. Лучеиспускаемая способность тел.
90. Закон Планка.
91. Закон Вина.
92. Закон Стефана - Больцмана.
93. Закон Кирхгофа.
94. Закон Ламбарта.
95. Лучистый теплообмен между плоскими параллельными пластинами.
96. Лучистый теплообмен между телами произвольной формы.
97. Экраны и их применение.
98. Тепловое излучение газов.
99. Понятие сложного теплообмена.
100. Преобладание конвективной составляющей в сложном теплообмене.
101. Преобладание лучистой составляющей в сложном теплообмене.
102. Понятие о теплопередаче. Коэффициент теплопередачи.
103. Теплопередача через плоскую однослойную стенку.
104. Теплопередача через плоскую многослойную стенку.
105. Теплопередача через цилиндрическую однослойную стенку.
106. Теплопередача через цилиндрическую многослойную стенку.
107. Тепловая изоляция. Критический диаметр тепловой изоляции.
108. Назначение и принцип действия теплообменного аппарата.
109. Виды расчета теплообменных аппаратов.
110. Уравнение теплового баланса.
111. Теплопередача в теплообменном аппарате.
112. Изменение температуры рабочих жидкостей вдоль поверхности нагрева в теплообменном аппарате.
113. Средний температурный напор при прямотоке и противотоке.
114. Средний температурный напор при перекрестном токе.

### **7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

Не предусмотрено учебным планом

### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Зачёт проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Техническая термодинамика - наука о закономерностях превращения энергии.	УК-1, ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ....
2	Законы технической термодинамики. Процессы с идеальными газами и круговые циклы.	УК-1, ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ....
3	Реальные газы. Водяной пар. Истечение. Дросселирование. Паросиловые и холодильные циклы. Влажный воздух.	УК-1, ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ,...
4	Виды теплообмена. Теплопроводность, конвективный теплообмен, тепловое излучение.	УК-1, ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ....
5	Сложный теплообмен. Теплопередача.	УК-1, ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ....
6	Теплообменные аппараты.	УК-1, ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ....

### 7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## 8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

### 8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Теплотехника, Под ред. В.Н.Лукина : Учеб. пособие /. - 2-е изд., перераб. - М. : Высш. шк., 2004 г.

2. А.П.Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт и др. Теплотехника Под ред. А.П.Баскакова : Учеб. Пособие /. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1991 г.

3. В. И. Лукьяненко, В. Г. Стогней, В. В. Шкирмина. Теплопередача : учеб. пособие / - Воронеж : ВГТУ, 2005 г.

4. В.И. Лукьяненко, С.В. Дахин, В.Г. Стогней., МУ 64-2009. Метод. указ. по лабораторным работам № 1 - 4 по курсу "Теплотехника" для студ. специальностей 280103 "Защита в чрезвычайных ситуациях" и 280101 "Безопасность жизнедеятельности в техносфере" очной формы обучения / Каф. ТиОГОВЧС - Воронеж: ВГТУ, 2009 г.

### 8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

8.2.1	<i>Электронная информационная образовательная среда ВГТУ, код доступа:</i> <a href="https://education.cchgeu.ru/">https://education.cchgeu.ru/</a>
8.2.2	<b>Компьютерные практические работы:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Автоматизированная обработка результатов измерений в лаборатории</li><li>– Расчет параметров цикла Карно</li></ul>
8.2.3	<b>Мультимедийные видеофрагменты:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Количество теплоты. Первый закон термодинамики</li><li>– Ещё об энтропии</li><li>– Основы теплотехники. Циклы газотурбинных установок. Цикл Брайтона.</li><li>– Основы теплотехники. Получение холода. Циклы холодильных установок</li><li>– Тепловые двигатели и их к.п.д. Цикл Карно</li><li>– Теплопередача. Виды теплопередачи.</li></ul>
8.2.4	<b>Мультимедийные лекционные демонстрации:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Кинетическая модель идеального газа. Диффузия газов. Распределение Максвелла</li><li>– Изотермы реального газа. Испарение и конденсация</li><li>– Термодинамические циклы. Цикл Карно</li><li>– Энтропия и фазовые переходы. Агрегатные состояния</li></ul>
8.2.5	<b>Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Операционные системы семейства MSWindows;</li><li>– Пакет программ семейства MS Office;</li><li>– Пакет офисных программ OpenOffice;</li><li>– Программа просмотра файлов Djview;</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Программа просмотра файлов формата pdf AcrobatReader; Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome</li> </ul>
8.2.6	<p><b>Используемые электронные библиотечные системы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL», код доступа: <a href="http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/">http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/</a>;</li> <li>- Университетская библиотека онлайн, код доступа: <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a>;</li> <li>- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», код доступа <a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>;</li> <li>- ЭБС IPRbooks, код доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>;</li> <li>- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, код доступа: <a href="http://elibrary.ru/">http://elibrary.ru/</a>.</li> </ul>
8.2.7	<p><b>Информационные справочные системы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования, код доступа <a href="http://fgosvo.ru/">http://fgosvo.ru/</a>;</li> <li>- единое окно доступа к образовательным ресурсам, код доступа <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>;</li> <li>- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ, код доступа <a href="http://online.mephi.ru/">http://online.mephi.ru/</a>;</li> <li>- открытое образование, код доступа: <a href="https://openedu.ru/">https://openedu.ru/</a>;</li> <li>- физический информационный портал, код доступа: <a href="http://phys-portal.ru/index.html">http://phys-portal.ru/index.html</a></li> </ul>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Лабораторные стенды для проведения лабораторных работ ауд. 301А/3 и ауд. 303/3

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Теплофизика» читаются лекции, проводятся лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.

Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.