


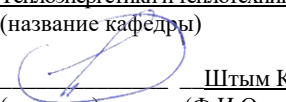


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

«СОГЛАСОВАНО»  
Руководитель ОП

  
Дорогов Е.Ю.  
(подпись) (Ф.И.О. рук. ОП)  
«26» июня 2020 г.

«УТВЕРЖДАЮ»  
Заведующий кафедрой  
Теплоэнергетики и теплотехники  
(название кафедры)  
  
Штым К.А.  
(подпись) (Ф.И.О. зав. каф.)  
«26» июня 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Техническая термодинамика»**  
Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
Профиль «Энергетические системы и комплексы»  
Форма подготовки: очная

курс 2 семестр 3  
лекции 36 час.  
практические занятия 36 час.  
лабораторные работы - час.  
в том числе с использованием МАО лек.б / пр. б /лаб., -    час.  
всего часов аудиторной нагрузки 108 (час.)  
самостоятельная работа 36 (час.)  
в том числе на подготовку к экзамену 0 час.  
контрольные работы (количество)  
курсовая работа / курсовой проект - семестр  
зачет 3 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министра науки и высшего образования Российской Федерации от 28 февраля 2018, № 143.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Теплоэнергетики и теплотехники, протокол № 1 от «26» июня 2020 г.

Заведующий кафедрой: профессор, к.т.н. Штым К.А.  
Составители: д.т.н., профессор Штым А.Н., ст.преподаватель Упский М. В.

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

к рабочей программе учебной дисциплины  
«Техническая термодинамика»

Дисциплина «Техническая термодинамика» предназначена для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» профиль «Энергетические системы и комплексы» и входит в часть блока «Дисциплины по выбору Б1.В.ДВ.1 учебного плана (Б1.В.ДВ.01.01).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетных единиц (108 часов). Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (36 часов), практические занятия (36 часов), самостоятельная работа студента (36 часов). Форма контроля: зачет. Дисциплина реализуется на 2 курсе в 3 семестре.

**Целью** дисциплины «Техническая термодинамика» является формирование базовых знаний о фундаментальных законах тепловых процессов и понятий термодинамики, механизмов энергопревращений и реализации их в циклах энергоустановок с оценкой их эффективности.

**Задачами** дисциплины являются:

- изучить основные законы технической термодинамики;
- изучить основные уравнения, описывающие процесс преобразования энергии;
- изучить меры оптимизации механизмов энергопревращений в циклах энергоустановок.

Для успешного изучения дисциплины «Техническая термодинамика» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

ОК-1, способность к самосовершенствованию и саморазвитию в профессиональной сфере, к повышению общекультурного уровня;

ОК-9, способность анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции;

ОПК-2, способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.

Вышеуказанные компетенции приобретаются при освоении следующих дисциплин бакалавриата: Математический анализ, Физика.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общепрофессиональные компетенции (элементы компетенций).

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<b>ОПК-2</b> способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Знает	Основные термодинамические параметры, процессы и циклы тепловых двигателей. Законы термодинамики и их приложения.
	Умеет	Записывать уравнения для термодинамических величин в системе СИ. Объяснять смысл термодинамических величин, понятий, природные и техногенные явления с термодинамической точки зрения
	Владеет	Навыками использования основных термодинамических законов и принципов в важнейших практических приложениях. Приемами правильной эксплуатации измерительных приборов и лабораторного оборудования.

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Техническая термодинамика» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения: доклад, сообщение с применением презентационного материала; обсуждение, дискуссия, выводы по теме с применением презентационного материала; коллоквиум; расчетные работы.

# **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ДИСЦИПЛИНЫ**

## **Раздел I. Первый закон термодинамики. (16 час.)**

### **Тема 1. Термодинамическое рабочее тело и параметры его характеризующие (2 час.)**

Введение. Термодинамическое рабочее тело. Рабочее тело и параметры его характеризующие. Давление. Термодинамические параметры состояния: абсолютное давление; температура, удельный объем. Нулевое начало термодинамики. Абсолютная температура тела - средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул. Международная Практическая Температурная Шкала (МПТШ). Удельный объём – осреднённая макроскопическая величина.

### **Тема 2. Уравнение состояния термодинамического рабочего тела (4 час.)**

Уравнение состояния идеального газа. Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа Клапейрона. Уравнение состояния идеального газа Менделеева. Универсальная газовая постоянная. Уравнение состояния идеального газа Клапейрона-Менделеева. Смеси газов. Уравнение состояния смеси газов. Массовый или объемный состав смеси газов. Закон Дальтона. Реальные газы. Уравнение Дюпре. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Уравнения Майера и Боголюбова. Уравнение Коммерлинга-Оннеса.

### **Тема 3. Теплота и теплоемкость (2 час.)**

Теплоемкость. Теплоемкость массовая. Теплоемкость мольная. Теплоемкость объёмная. Вычисление теплоты и теплоемкости.

### **Тема 4. Работа в термодинамических процессах и внутренняя энергия (2 час.)**

Понятие работы в термодинамических процессах. Диаграмма Уатта. Подынтегральная функция криволинейного интеграла для работы. Вычисление работы. Внутренняя энергия физического тела. Внутренняя энергия идеального газа. Вычисление  $dU$  в любом элементарном процессе. Определение внутренней энергии газа в конечном процессе 1-2.

### **Тема 5. Первый закон термодинамики (2 час.)**

Частность первого закона термодинамики. Формулировки первого закона термодинамики. Аналитическое выражение первого закона термодинамики в дифференцированном виде. Связь между теплоемкостями  $C_p$  и  $C_v$ . Уравнение Майера. О двух классах термодинамических функций. Дифференциал функции состояния. Дифференциал функции процесса. Функция состояния – энтальпия.

### **Тема 6. Термодинамические процессы (4 час.)**

Методология исследования термодинамических процессов. Изохорный процесс.  $V = \text{const}$  - уравнение процесса. Графическая интерпретация. Взаимосвязь термодинамических параметров. Работа в изохорном процессе. Изменение внутренней энергии. Первый закон термодинамики в изохорном процессе. Изобарный процесс.  $P = \text{const}$  - уравнение процесса. Графическая интерпретация. Взаимосвязь термодинамических параметров. Работа в изобарном процессе. Изменение внутренней энергии. Первый закон термодинамики в изобарном процессе. Изотермический процесс.  $T = \text{const}$  - уравнение процесса. Графическая интерпретация. Взаимосвязь

термодинамических параметров. Работа в изотермическом процессе. Изменение внутренней энергии. Первый закон термодинамики в изотермическом процессе. Адиабатный процесс.  $VP^k = \text{const}$  - уравнение процесса. Графическая интерпретация. Взаимосвязь термодинамических параметров. Работа в адиабатном процессе. Изменение внутренней энергии. Первый закон термодинамики в адиабатном процессе. Политропный процесс.  $VP^n = \text{const}$  - уравнение процесса. Графическая интерпретация. Взаимосвязь термодинамических параметров. Работа в адиабатном процессе. Изменение внутренней энергии. Первый закон термодинамики в адиабатном процессе. Качественные особенности энергопревращений - в зависимости теплоемкости  $C$  от величины  $n$ .

## **Раздел 2. Второй закон термодинамики. (12 час.)**

### **Тема 1. Замкнутые термодинамические процессы (4 час.)**

Прямой цикл и термический К.П.Д. Обратный цикл, холодильный коэффициент и коэффициент термотрансформации.

### **Тема 2. Открытие второго начала термодинамики. (4 час.)**

Прямой цикл Карно. Обратный цикл Карно. Суть второго закона термодинамики. Формулировка Оствальда - вечный двигатель II рода. Формулировка Клаузиуса. Теорема Карно. Термический К.П.Д. цикла Карно. Энтропия. Уравнение Клаузиуса.

### **Тема 3. Аналитическое выражение первого и второго законов термодинамики (4 час.)**

Аналитическое выражение первого и второго законов термодинамики для обратимых и необратимых процессов. Энтропия замкнутой термодинамической системы. Физический смысл энтропии

## **Раздел 3. Приложение второго закона термодинамики. (8 час.)**

### **Тема 1. Приложение второго закона термодинамики - (TS- диаграмма). (4 час.)**

Термодинамические процессы в системе координат - TS. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Адиабатный процесс. Политропный процесс. Эксергия и анергия. Эксергия идеального газа. Эксергия потока. Потери эксергии вследствие необратимости. Уравнение Гюи-Стодолы.

### **Тема 2. О применении начал термодинамики в термодинамических исследованиях. (2 час.)**

Методы термодинамических исследований. Дифференциальные уравнения термодинамики. О балансах и К.П.Д. в технической термодинамике

### **Тема 3. Компрессорные машины (2 час.)**

Общие сведения о компрессорных машинах. Компрессоры объемного статического сжатия. Компрессоры динамического сжатия. Поршневые компрессоры. Роторные компрессоры. Турбокомпрессоры. Задачи термодинамического анализа компрессорных машин.

## **Раздел 3. Приложение второго закона термодинамики. (4 час.)**

### **Тема 4. Процессы в компрессорах (2 час.).**

Процессы сжатия в одноступенчатом поршневом компрессоре. Процессы сжатия в многоступенчатом поршневом компрессоре. Определение механической работы, затрачиваемой на

сжатие газа в компрессоре. Одноступенчатый компрессор. Многоступенчатый компрессор. Принцип работы турбокомпрессора.

#### **Тема 5. Струйные эжекторы (2час.)**

Принцип действия струйного эжектора. Области применения струйных эжекторов. Преимущества струйных эжекторов. Последовательность расчета струйного эжектора и оценка эффективности его работы.

#### **Раздел 4. Термодинамический анализ циклов. Двигатели внутреннего сгорания (14 час.)**

##### **Тема 1. Общие сведения о двигателях внутреннего сгорания. (4 час.)**

Поршневые двигатели внутреннего сгорания. Циклы ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме (цикл Отто). Цикл Дизеля (сгорание при  $p=\text{const}$ ). Цикл Сабате-Тринклера (сгорание при  $V=\text{const}$  и  $P=\text{const}$ ).

##### **Тема 2. Сравнение циклов двигателей внутреннего сгорания. (2 час.)**

Сравнение циклов поршневых двигателей внутреннего сгорания. Роторно-поршневой двигатель внутреннего сгорания.

##### **Тема 3. Термодинамический анализ циклов ГТУ. (4 час.)**

Общие сведения о ГТУ. История создания газотурбинных установок. Схема и принцип работы газотурбинных установок. Анализ цикла ГТУ с подводом тепла при  $p=\text{const}$ . Анализ цикла ГТУ с подводом тепла при  $V=\text{const}$ . ГТУ, работающие по замкнутому процессу. Пути повышения эффективности ГТУ. Перспективы ГТУ.

##### **Тема 4. Термодинамический анализ циклов ракетных и реактивных двигателей (4 час.)**

Общие понятия. Циклы ВРД. Турбореактивные ВРД. Бескомпрессорные ВРД. Ракетные двигатели. Цикл РДТТ. Схема ЖРД. Цикл ЖРД и его анализ.

#### **Раздел 5. Термодинамические свойства воды и водяного пара. (16 час.)**

##### **Тема 1. Фазовые состояния и превращения воды. (2 час.)**

Фазовые диаграммы  $P, T$ -,  $P, V$ - и  $T, S$  для  $H_2O$ . Жидкость на линии фазового перехода. Сухой насыщенный пар. Влажный насыщенный пар. Перегретый пар. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. Диаграмма  $T, S$  для воды и водяного пара. Диаграмма  $h, s$  для воды и водяного пара.

##### **Тема 2. Цикл Ренкина (4 час.) с использованием интерактивного метода "Групповое обсуждение"**

Групповое обсуждение какого-либо вопроса направлено на нахождение истины или достижение лучшего взаимопонимания. Групповые обсуждения способствуют лучшему усвоению изучаемого материала.

На первом этапе группового обсуждения перед студентами ставится проблема связанная с реализацией цикла Ренкина в России и за рубежом. Студенты делятся на три-четыре большие подгруппы и каждой подгруппе выделяется определенное время (25-30 минут), в течение которого студенты должны подготовить аргументированный развернутый ответ. Преподаватель может устанавливать определенные правила проведения группового обсуждения. На втором этапе группового обсуждения вырабатывается групповое решение совместно с преподавателем.

### **Тематика для группового обсуждения:**

Цикл Карно с водяным паром и особенности цикла Ренкина, схема его реализации и оценка эффективности с учетом и без учета работы насоса. Величины, характеризующие эффективность работы пароэнергетических установок. Схема КЭС и пути повышения ее эффективности.

### **Тема 3. Когенерация. (4 час.) с использованием интерактивного метода "Групповое обсуждение"**

Групповое обсуждение какого-либо вопроса направлено на нахождение истины или достижение лучшего взаимопонимания. Групповые обсуждения способствуют лучшему усвоению изучаемого материала.

На первом этапе группового обсуждения перед студентами ставится проблема, связанная с применением когенерации в теплоэнергетике в России и за рубежом. Студенты делятся на три-четыре большие подгруппы и каждой подгруппе выделяется определенное время (25-30 минут), в течение которого студенты должны подготовить аргументированный развернутый ответ. Преподаватель устанавливает определенные правила проведения группового обсуждения. На втором этапе группового обсуждения вырабатывается групповое решение совместно с преподавателем.

### **Тематика для группового обсуждения:**

Когенерация: страницы истории. Определение когенерации. Устройство когенерационных установок. Примеры малой энергетики. Теплофикационные установки и схемы их реализации на ТЭЦ.

### **Тема 4. Бинарные (двойные) циклы.**

Недостатки водяного пара как рабочего тела. Особенности бинарного цикла и его расчета. Циклы парогазовых установок (2 час.)

### **Тема 5. Обратные термодинамические циклы. (4 час.)**

Обратный цикл Карно. Разновидности обратных термодинамических цикло и оценка их эффективности. Холодильная машина. Схема холодильной машины и реальный цикл в T-S диаграмме. Холодопроизводительность. Холодильные установки. Обратные тепловые циклы и процессы. Циклы воздушных холодильных машин. Циклы парокомпрессионных холодильных машин. Пароэжекторные холодильные машины. Абсорбционные холодильные машины. Принцип работы теплового насоса.

### **Тема 6. Дросселирование газов и паров. (2 час.)**

Дросселирование газов. Смешение газов. Уравнение процесса дросселирования. Исследование процесса дросселирования. Эффект Джоуля-Томсона. дросселирование ван-дер-ваальсова газа, кривая инверсии. Дросселирование, или мятие, водяного пара. Смешение газов. Изменение энтропии идеальных газов при смешении.



## II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ДИСЦИПЛИНЫ

### Практические занятия 36 часов аудиторных занятий.

**Занятие 1, 2, 3. Термодинамическое рабочее тело и параметры, его характеризующие (6 час.)**

На первом занятии сообщается студентам программа практических занятий дисциплины «Техническая термодинамика», правила подготовки к занятиям, оформление выполненных работ в электронном виде (презентации). Разбирается тема «Выбор и определение термодинамического рабочего тела» и предлагается студентам ответить на вопросы по этой теме.

На второе и третье занятия студентам предлагается подготовиться по темам: Термодинамические параметры как среднестатистические характеристики рабочего тела. Уравнение состояния идеального газа и его законы. Смеси газов. Способы задания смеси газов. Термодинамическая система координат.

Занятия 2 и 3 проводятся в интерактивной форме – обсуждение тем и задач, имеющихся у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по темам.

На 4,5,6 занятия студентам предлагается подготовиться по темам:

1. Тепло и теплоемкость.
2. Определение и различные способы вычисления теплоемкостей идеального газа.
3. Вычисление количества тепла с помощью различных зависимостей для теплоемкости.
4. Работа и ее свойства как термодинамической функции процесса.
5. Система координат  $P - V$  и ее свойства.
6. Работа проталкивания и техническая работа.
7. Энтальпия.
8. Первое начало термодинамики и его аналитическое выражение.
9. Связь между теплоемкостями  $C_p$  и  $C_v$ .

### **Занятие 4,5,6. Первый закон термодинамики (6 час.).**

Тепло и теплоемкость. Определение и различные способы вычисления теплоемкостей идеального газа. Вычисление количества тепла с помощью различных зависимостей для теплоемкости. Работа и ее свойства как термодинамической функции процесса.

Система координат  $P - V$  и ее свойства. Работа проталкивания и техническая работа.

Энтальпия. Первое начало термодинамики и его аналитическое выражение.

Связь между теплоемкостями  $C_p$  и  $C_v$ .

Занятия 4,5 и 6 проводятся в интерактивной форме – обсуждение тем и задач, имеющихся у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по темам.

На 7, 8, 9 занятия студентам предлагается подготовиться по темам:

1. Задача и последовательность анализа газовых процессов.
2. Анализ основных (изохорного, изобарного, изотермического и адиабатного) процессов.

3. Особенности энерго- превращения и величин теплоемкостей в политропных процессах.
4. Определения прямого и обратного обобщенных циклов, примеры их осуществления и оценка эффективности.

### **Занятие 7, 8, 9. Термодинамические процессы и циклы (6 час.).**

Задача и последовательность анализа газовых процессов.

Анализ основных (изохорного, изобарного, изотермического и адиабатного) процессов.

Особенности энерго - превращения и величин теплоемкостей в политропных процессах.

Определения прямого и обратного обобщенных циклов, примеры их осуществления и оценка эффективности.

Занятия 7, 8 и 9 проводится в интерактивной форме – обсуждение тем и задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по темам.

На 10, 11, 12 занятия студентам предлагается подготовиться по темам:

1. Прямой и обратный цикл Карно.
2. Предельные возможности рассмотренных циклов и вывод из их анализа.
3. Второй закон термодинамики как качественное дополнение первого начала термодинамики.
4. Теорема Карно и ее доказательство.
5. Вывод равенства Клаузиуса.
6. Энтропия
7. Вычисление энтропии.
8. Обратимые и необратимые процессы.
9. Аналитическое выражение первого и второго начал термодинамики для обратимых и необратимых процессов.
10. Энтропия замкнутой термодинамической системы.
11. Статистическое выражение второго закона термодинамики.

### **Занятие 10, 11, 12. Второе начало термодинамики (6час.).**

Прямой и обратный цикл Карно. Предельные возможности рассмотренных циклов и вывод из их анализа. Второй закон термодинамики как качественное дополнение первого начала термодинамики. Теорема Карно и ее доказательство. Вывод равенства Клаузиуса.

Энтропия. Вычисление энтропии. Обратимые и необратимые процессы. Аналитическое выражение первого и второго начал термодинамики для обратимых и необратимых процессов.

Энтропия замкнутой термодинамической системы. Статистическое выражение второго закона термодинамики.

Занятия 10,11 и 12 проводится в интерактивной форме – обсуждение тем и задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по темам.

На 13 занятие студентам предлагается подготовиться по темам:

1. Система координат  $T - S$  и ее свойства.
2. Изображение и анализ обратимых и необратимых процессов в  $T - S$  координатах.
3. Среднеинтегральная температура.

4. Эквивалентный и соответствующий циклы Карно.
5. Произвольный цикл с регенерацией тепла.
6. Эксергия и анергия. Вычисление эксергии идеального газа. Потеря эксергии вследствие необратимости (формула Гюи-Стодолы).

### **Занятие 13. Приложения второго закона термодинамики (2 час.).**

Система координат  $T - S$  и ее свойства. Изображение и анализ обратимых и необратимых процессов в  $T - S$  координатах. Среднеинтегральная температура.

Эквивалентный и соответствующий циклы Карно. Произвольный цикл с регенерацией тепла.

Эксергия и анергия. Вычисление эксергии идеального газа. Потеря эксергии вследствие необратимости (формула Гюи-Стодолы).

Занятие 13 проводится в интерактивной форме – обсуждение тем и задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по темам.

На 14 занятие студентам предлагается подготовиться по темам:

1. Дифференциальные уравнения термодинамики.
2. Балансы и КПД при термодинамических исследованиях.
3. Энергетический баланс, энергетические КПД.
4. Связь между эксергетическим и энтропийным методами анализа.

### **Занятие 14. Применение начал термодинамики при термодинамических исследованиях (2 час.)**

Дифференциальные уравнения термодинамики. Балансы и КПД при термодинамических исследованиях. Энергетический баланс, энергетические КПД.

Связь между эксергетическим и энтропийным методами анализа.

Занятие 14 проводится в интерактивной форме – обсуждение тем и задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по темам.

На 15,16,17,18 занятия студентам предлагается подготовиться по темам:

1. Одноступенчатый компрессор. Идеальная и реальная диаграммы работы, определение мощности привода.
2. Многоступенчатые компрессоры, особенности их работы и расчета. Определение оптимальных промежуточных давлений.
3. Анализ работы и особенности расчета турбокомпрессоров и струйных эжекторов.

### **Занятие 15,16,17,18. Термодинамические основы анализа компрессорных машин (8 час.).**

Одноступенчатый компрессор. Идеальная и реальная диаграммы работы, определение мощности привода. Многоступенчатые компрессоры, особенности их работы и расчета. Определение оптимальных промежуточных давлений. Анализ работы и особенности расчета турбокомпрессоров и струйных эжекторов.

Занятия 15,16,17 и 18 проводится в интерактивной форме – обсуждение тем и задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по темам.

На 18 занятия подводятся итоги семестра, оценивается работа студентов на практических занятиях.

## **Занятия 1,2,3,4,5. Термодинамические основы анализа двигателей внутреннего сгорания (ДВС) (10 час.)**

Проводится мастер-класс, который должен всегда начинаться с актуализации знаний каждого по предлагаемой проблеме, что позволит расширить свои представления знаниями других участников.

Основные преимущества мастер-класса — это уникальное сочетание короткой теоретической части и индивидуальной работы, направленной на приобретение и закрепление практических знаний и навыков

**Вступление** Преподавателем показываются примеры расчетов двигателей внутреннего сгорания различных типов, проводится сопоставление результатов расчетов.

### **Основная часть:**

1. Преподаватель выполняет расчеты двигателей внутреннего сгорания различных типов, акцентируя внимание на возможных сложностях и этапах, где возможно совершение ошибок;

2. студенты индивидуально выполняют аналогичные задачи. Преподаватель выполняет роль консультанта, организует самостоятельную работу студентов и управляет ею;

3. преподаватель совместно со студентами проводит обсуждение получившихся моделей по результатам проведенного занятия.

**Выводы** проводится дискуссия по результатам совместной деятельности преподавателя и студентов.

Темы проведения мастер-классов

1. Поршневые ДВС, работающие по циклу с подводом тепла при постоянном объеме.
2. Поршневые ДВС, работающие по циклу с подводом тепла при постоянном давлении.
3. Поршневые ДВС, работающие по циклу с подводом тепла при со смешанным подводом тепла.
4. Сопоставление циклов поршневых ДВС. Их общие достоинства и недостатки.
5. Газотурбинные установки, работающие с подводом тепла при постоянном давлении.
6. Газотурбинные установки, работающие с подводом тепла при постоянном и постоянном объеме.
7. Сопоставление циклов ГТУ.
8. Пути повышения эффективности ГТУ.
9. Реактивные и ракетные двигатели.
10. Рассмотрение циклов безкомпрессорных и компрессорных воздушно-реактивных двигателей.
11. Особенности работы реактивных двигателей с твердым и жидким топливом.

Занятия 1,2,3,4 и 5 проводятся в интерактивной форме – обсуждение тем и задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по темам.

На 6,7,8 занятия студентам предлагается подготовиться по темам:

1. Уравнения состояния реальных газов.
2. Водяной пар как рабочее тело энергетических установок.

3. Диаграмма P-T для H<sub>2</sub>O.
4. Диаграмма P-V для H<sub>2</sub>O.
5. Вычисление параметров воды, влажного и перегретого пара.
6. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса.
7. Диаграмма T-S для H<sub>2</sub>O.
8. Уравнение состояния и таблицы воды и водяного пара.
9. Диаграмма i - S для водяного пара.
10. Графический расчет процессов с водяным паром.

#### **Занятие 6, 7, 8. Реальные газы (6 час.).**

Уравнения состояния реальных газов. Водяной пар как рабочее тело энергетических установок.

Диаграмма P-T для H<sub>2</sub>O. Диаграмма P-V для H<sub>2</sub>O. Вычисление параметров воды, влажного и перегретого пара. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Диаграмма T-S для H<sub>2</sub>O. Уравнение состояния и таблицы воды и водяного пара. Диаграмма i - S для водяного пара.

Графический расчет процессов с водяным паром.

Занятия 6,7 и 8 проводится в интерактивной форме – обсуждение тем и задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по темам.

На 9,10,11,12 занятия студентам предлагается подготовиться по темам:

1. Цикл Карно с водяным паром.
2. Цикл Ренкина как основной цикл теплоэнергетических установок.
3. Величины, характеризующие эффективность работы ПСУ.
4. Пути повышения эффективности ПСУ (увеличение температуры и давления свежего пара, понижение давления в конденсаторе, промежуточный перегрев, применение регенерации тепла).
5. Основы расчета регенеративной схемы ПСУ.
6. Термодинамические основы теплофикации.
7. Анализ схем с ухудшенным вакуумом, противодавлением и промежуточным отбором пара.

#### **Занятие 9,10,11,12. Паровые циклы (8 час.)**

Темы проведения мастер-классов:

Цикл Карно с водяным паром. Цикл Ренкина как основной цикл теплоэнергетических установок. Величины, характеризующие эффективность работы ПСУ.

Пути повышения эффективности ПСУ (увеличение температуры и давления свежего пара, понижение давления в конденсаторе, промежуточный перегрев, применение регенерации тепла). Основы расчета регенеративной схемы ПСУ. Термодинамические основы теплофикации. Анализ схем с ухудшенным вакуумом, противодавлением и промежуточным отбором пара.

Занятия 9,10,11 и 12 проводятся в интерактивной форме – обсуждение тем и задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по темам.

На 13,14,15 занятия студентам предлагается подготовиться по темам:

1. Бинарные циклы (на примере ртутно-водяного).
2. Схемы и анализ парогазового цикла.
3. Схемы и анализ цикла с МГД генератором.

4. Схемы и анализ циклов с применением низкокипящих веществ.

### **Занятие 13,14,15. Комбинированные циклы (6 час.).**

Бинарные циклы (на примере ртутно-водяного). Схемы и анализ парогазового цикла.

Схемы и анализ цикла с МГД генератором. Схемы и анализ циклов с применением низкокипящих веществ.

Занятия 13,14 и 15 проводятся в интерактивной форме – обсуждение тем и задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по темам.

На 16,17,18 занятия студентам предлагается подготовиться по темам:

1. Общие сведения и оценка эффективности работы холодильных машин.
2. Цикл воздушной холодильной машины.
3. Дросселирование идеального и реального газов.
4. Циклы парокompрессионной и парожеткторной холодильных установок.
5. Сжижение газов.
6. Работа теплового насоса. Анализ цикла и сопоставление с электроотоплением.

### **Занятие 16,17,18. Холодильные циклы и термотрансформаторы (6 час.).**

Общие сведения и оценка эффективности работы холодильных машин. Цикл воздушной холодильной машины. Дросселирование идеального и реального газов. Циклы парокompрессионной и парожеткторной холодильных установок. Сжижение газов. Работа теплового насоса. Анализ цикла и сопоставление с электроотоплением.

Занятия 16,17,18 проводится в интерактивной форме – обсуждение тем и задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по темам.

Обсуждение результатов обучения студентов на практических занятиях за семестр.

## **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Техническая термодинамика» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

## **IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

№	Контролируемые	Оценочные средства - наименование
---	----------------	-----------------------------------

п/п	модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Первый закон термодинамики	ОПК-2	знает	Собеседование по Первому и Второму законам термодинамики УО-1.1-5	зачет 1, 2,3, 4, 5
			умеет	УО-1.6-13	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13
			владеет	УО-1.14-18	14, 15, 16, 17, 18
			знает	УО-1.19-25	19, 20, 23, 25
			умеет	УО-1.26-30	27, 28, 30
			владеет	УО-1.31-36	32, 33, 35, 36
			знает	УО-1.37-40	37, 39, 40
			владеет	УО-1.41-44	41, 43, 44
2	Второй закон термодинамики	ОПК-2	знает	УО-1.48-50	48, 50
			умеет	УО-1.51-52	51, 52
			владеет	УО-1.53-54	54
			знает	УО-1.55-56	56
			умеет	УО-1.57-58	57, 58
			владеет	УО-1.59-60	60
			знает	УО-1.61-62	61, 62
			умеет	УО-1.63	63
			владеет	УО-1.64	64
					Зачет
3	Термодинамически й анализ циклов	ОПК-2	знает	Собеседование по разделу 3 - Термодинамический анализ циклов УО-2.1-5	Экзамен 1,2,3,4,5
			умеет	УО-2.6-10	6,7,8,9,10
			владеет	УО-2.11-14	11,12,13,14
			знает	УО-2.15-18	15, 16, 17,18
			умеет	УО-2.19-24	19,20,21,22,23,24
			владеет	УО-2.25-29	25,26,27,28,29
			знает	УО-2.30-33	30,31,32,33
			умеет	УО-2.34-37	34,35,36,37
		УО-2.38-40 ПР-1 Индивидуальное задание	38,39,40 расчет цикла Ренкина		
		Экзамен	1-40		

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1. Кириллин В.А. Техническая термодинамика для вузов / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. – 5-е издание., перераб. и доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 496 с. <http://www.studentlibrary.ru/book/MPEI5.html>, <http://nelbook.ru/reader/?book=5>

2. Мирам А.О., Павленко В.А. Техническая термодинамика. Тепломассообмен - М.: Издательство АСВ, 2016. - 352 с. <http://www.studentlibrary.ru/doc/ISBN9785930938418-SCN0001.html>

3. Рудобашта С. П. Теплотехника. - М.: КолосС, 2010. - 599 с. <http://www.studentlibrary.ru/doc/ISBN9785953206587-SCN0002.html>

4. ШТЫМ А.С. Учебное пособие «Техническая термодинамика» - Изд. Дом ДВФУ, 2010 – 122с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:685967&theme=FEFU>

### **Дополнительная литература**

1. Бахшиева Л.Т., Захарова А.А., Кондауров Б.П., Салтыкова В.С, Техническая термодинамика и теплотехника. – М.: Academia, 2006 – 272 с.

2. В. В. Федина, А. С. Тимофеева, Т. В. Никитченко, Техническая термодинамика: учебное пособие для вузов,- Старый Оскол: ТНТ, 2015.- 161 с.

3. Барилевич В.А., Смирнов Ю.А. Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена: Учебное пособие /. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 432 с. <http://znanium.com/bookread2.php?book=356818>

4. Овчинников Ю.В. Основы технической термодинамики - Новосиб.: НГТУ, 2010. - 292 с. <http://znanium.com/bookread2.php?book=549343>

5. Д.В. Зеленцов Техническая термодинамика - Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2012. - 140 с. <https://e.lanbook.com/book/73870#authors>

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

1. <http://k204.ru/books/dzubenko/index.htm> Дзюбенко Б.В. Термодинамика. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Москва, 2006

2. <http://e.lanbook.com/view/book/5107/> Семенов Б. А. Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях

4. [http://inocentr.com/educational\\_materials/energobser%20v%20teploteh%20i%20tehnolog%20Danilov%20O%20L%20.pdf](http://inocentr.com/educational_materials/energobser%20v%20teploteh%20i%20tehnolog%20Danilov%20O%20L%20.pdf) Электронный учебник : МЭИ под ред. Данилова О.Л. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

При чтении лекций по всем темам используется компьютерная техника для демонстрации слайдов с помощью программного приложения:

1. Microsoft Power Point;
2. Adobe Reader;



3. VLC media player, — бесплатный и свободный кросс-платформенный медиаплеер и медиаплатформа с открытым исходным кодом;
4. Microsoft Excel;
5. Microsoft Word;
6. Сертифицированный набор программ для вычислений свойств воды/водяного пара, газов и смесей газов "WaterSteamPro"<sup>TM</sup>;
7. Adobe Reader;
8. WinDjView.

Для рассылки, переписки и обсуждения возникших учебных проблем используется электронная почта, технология и предоставляемые ею услуги по пересылке и получению электронных сообщений, называемых «письма» или «электронные письма», по распределённой, в том числе глобальной, компьютерной сети, преподавателя и обучающихся

## VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Успешное усвоение курса предполагает активное, творческое участие студента на всех этапах ее освоения путем планомерной, повседневной работы. *Общие рекомендации:* изучение дисциплины следует начинать с проработки настоящей рабочей программы и разработок, указанных в программе, особое внимание уделяется целям, задачам, структуре и содержанию курса. *Работа с конспектом лекций.* Просмотрите конспект сразу после занятий. Отметить материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания. Попытайтесь найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на текущей консультации или на ближайшей лекции за помощью к преподавателю. Каждую неделю рекомендуется отводить время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам.

Важно проводить дополнительную работу с текстом конспекта: внимательно прочитать его; дополнить записи материалами из других источников, рекомендованных преподавателем; выделить все незнакомые понятия и термины и в дальнейшем поместить их в словарь. Наличие словаря определяет степень готовности студента к экзамену и работает как допуск к заключительному этапу аттестации. Необходимо систематически готовиться к практическим занятиям, изучать рекомендованные к прочтению статьи и другие материалы. Методический материал, обеспечивает рациональную организацию самостоятельной работы студентов на основе систематизированной информации по темам занятий курса. Практика – один из наиболее сложных и в то же время плодотворных видов (форм) вузовского обучения и воспитания. В условиях высшей школы практика – один из видов практических занятий, проводимых под руководством преподавателя, ведущего научные исследования по тематике практики и являющегося знатоком данной проблемы или отрасли научного знания. Практика предназначается для углубленного изучения той или иной дисциплины и овладения методологией применительно к особенностям изучаемой отрасли науки.

Можно отметить, однако, что при изучении дисциплины в вузе практика является не просто видом практических занятий, а, наряду с лекцией, основной формой учебного процесса. Ведущей дидактической целью практических занятий является систематизация и обобщение знаний по изучаемой теме, разделу, формирование умений работать с дополнительными источниками информации, сопоставлять и сравнивать точки зрения, конспектировать прочитанное, высказывать свою точку зрения и т.п. В соответствии с ведущей дидактической целью содержанием практических занятий являются узловые, наиболее трудные для понимания и усвоения темы, разделы дисциплины. Спецификой данной формы ведения занятия является совместная работа преподавателя и студентов над решением практических задач, а сам поиск верного ответа строится на основе чередования индивидуальной и коллективной деятельности. Оценка производится через механизм совместного обсуждения, сопоставления предложенных вариантов ответов с теоретическими и эмпирическими научными знаниями, относящимися к данной предметной области. Это ведет к возрастанию возможностей осуществления самооценки собственных знаний, умений и навыков, выявлению студентами «белых пятен» в системе своих знаний, повышению познавательной активности.

Университет обеспечивает учебно-методическую и материально-техническую базу для организации самостоятельной работы студентов.

Библиотека университета обеспечивает:

- учебный процесс - необходимой литературой и информацией (комплектует библиотечный фонд учебной, методической, научной, периодической, справочной и художественной литературой в соответствии с учебными планами и программами, в том числе на электронных носителях);
- доступ к основным информационным образовательным ресурсам, информационной базе данных, в том числе библиографической, возможность выхода в Интернет.

Кафедра:

- обеспечивает доступность всего необходимого учебно-методического и справочного материала;
- разрабатывает: учебно-методические комплексы, программы, пособия, материалы по учебным дисциплинам в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами;
- методические рекомендации, пособия по организации самостоятельной работы студентов;
- задания для самостоятельной работы;
- темы рефератов и докладов;
- вопросы к экзаменам и зачетам.

Изучение дисциплины заканчивается определенными методами контроля, к которым относятся: текущая аттестация, зачеты и экзамены. Требования к организации подготовки к экзаменам те же, что и при занятиях в течение семестра, но соблюдаться они должны более строго. При подготовке к экзаменам у студента должен быть хороший учебник или конспект

лекций, прочитанный по указанию преподавателя в течение семестра. Первоначально следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения, используя при этом опорные конспекты лекций. Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний. Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала или при решении задач у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения. За консультацией следует обращаться и в случае, если возникнут сомнения в правильности ответов на вопросы самопроверки.

## VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В ходе обучения по курсу «Техническая термодинамика» используются следующие средства:

а) мультимедийные аудитории, оснащенные проектором и динамиками для проведения аудиовизуальных презентаций;

б) специализированная аудитория (Е934), оснащенная наглядными пособиями в виде плакатов и чертежей;

Наименование оборудованных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень основного оборудования
Компьютерный класс, Ауд. Е559 г	Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/-RW,GigEth,Wi-Fi,BT,usb kbd/mse,Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit),1-1-1 Wty
Компьютерный класс, Ауд. Е559 а	Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/-RW,GigEth,Wi-Fi,BT,usb kbd/mse,Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit),1-1-1 Wty
Читальные залы Научной библиотеки ДВФУ с открытым доступом к фонду (корпус А - уровень 10)	Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/-RW,GigEth,Wi-Fi,BT,usb kbd/mse,Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit),1-1-1 Wty  Скорость доступа в Интернет 500 Мбит/сек.  Рабочие места для людей с ограниченными возможностями здоровья оснащены дисплеями и принтерами Брайля; оборудованы: портативными устройствами для чтения плоскочечатных текстов, сканирующими и читающими машинами видеоувеличителем с возможностью регуляции цветовых спектров; увеличивающими электронными лупами и ультразвуковыми маркировщиками
Мультимедийная аудитория Е933, Е934, Е433	проектор 3-chip DLP, 10 600 ANSI-лм, WUXGA 1 920x1 200 (16:10) PT-DZ110XE Panasonic; экран 316x500 см, 16:10 с эл. приводом; крепление настенно-

	потолочное Elpro Large Electrol Projecta; профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG; подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avergence; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления; беспроводные ЛВС обеспечены системой на базе точек доступа 802.11a/b/g/n 2x2 MIMO(2SS)
--	---

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)**

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ  
ОБУЧАЮЩИХСЯ**

**по дисциплине «Техническая термодинамика»**

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

профиль «Энергетические системы и комплексы»

Форма подготовки: очная

**Владивосток  
2020**

**План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине  
«Техническая термодинамика»**

<b>№ п/п</b>	<b>Дата/сроки выполнения</b>	<b>Вид самостоятельной работы</b>	<b>Примерные нормы времени на выполнение</b>	<b>Форма контроля</b>
<b>1</b>	2 недели Ко 2-ой, 3-ей недели	Термодинамические параметры как среднестатистические характеристики рабочего тела. Уравнение состояния идеального газа и его законы. Смеси газов. Способы задания смеси газов. Термодинамическая система координат.	<b>4 часа</b>  <b>2 часа</b>	Обсуждение теории, расчетов для задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по теме.
<b>2</b>	3 недели К 4-6-ой неделям	Тепло и теплоемкость. Определение и различные способы вычисления теплоемкостей идеального газа. Вычисление количества тепла с помощью различных зависимостей для теплоемкости. Работа и ее свойства как термодинамической функции процесса. Система координат $P - V$ и ее свойства. Работа проталкивания и техническая работа. Энтальпия. Первое начало термодинамики и его аналитическое выражение. Связь между теплоемкостями $C_p$ и $C_v$ .	<b>4 часа</b>  <b>2 часа</b>	Обсуждение теории, расчетов для задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по теме.
<b>3</b>	3 недели К 7-9-ой неделям	Задача и последовательность анализа газовых процессов. Анализ основных (изохорного, изобарного, изотермического и адиабатного) процессов. Особенности энерго - превращения и величин теплоемкостей в политропных процессах. Определения прямого и обратного обобщенных циклов, примеры их осуществления и оценка эффективности.	<b>4 часа</b>  <b>2 часа</b>	Обсуждение теории, расчетов для задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по теме. Защита задач.
<b>4</b>	3 недели К 10-13ой неделям	Прямой и обратный цикл Карно. Предельные возможности рассмотренных циклов и вывод из их анализа. Второй закон термодинамики как качественное дополнение первого начала термодинамики. Теорема Карно и ее доказательство. Вывод равенства Клаузиуса.	<b>4 часа</b>	Студенты готовят сообщения по теме, доклад с презентациями, с последующим обсуждением. Защита задач.

		Энтальпия. Вычисление энтропии. Обратимые и необратимые процессы. Аналитическое выражение первого и второго начал термодинамики для обратимых и необратимых процессов. Энтальпия замкнутой термодинамической системы. Статическое выражение второго закона термодинамики.	<b>2 часа</b>	
<b>5</b>	1 неделя К 13-ой недели	Система координат Т - S и ее свойства. Изображение и анализ обратимых и необратимых процессов в Т - S координатах. Среднеинтегральная температура. Эквивалентный и соответствующий циклы Карно. Произвольный цикл с регенерацией тепла. Эксергия и анергия. Вычисление эксергии идеального газа. Потеря эксергии вследствие необратимости (формула Гюи-Стодолы).	<b>4 часа</b>  <b>2 часа</b>	Обсуждение теории, расчетов для задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по теме. Защита задач.
<b>6</b>	1 неделя К 14-ой недели	Дифференциальные уравнения термодинамики. Балансы и КПД при термодинамических исследованиях. Энергетический баланс, эксергетические КПД. Связь между эксергетическим и энтропийным методами анализа.	<b>4 часа</b>  <b>2 часа</b>	Обсуждение теории, расчетов для задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по теме. Защита задач.
<b>7</b>	1 неделя К 14-ой недели	Одноступенчатый компрессор. Идеальная и реальная диаграммы работы, определение мощности привода. Многоступенчатые компрессоры, особенности их работы и расчета. Определение оптимальных промежуточных давлений. Анализ работы и особенности расчета турбокомпрессоров и струйных эжекторов.	<b>4 часа</b>  <b>2 часа</b>	Обсуждение теории, расчетов для задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по теме. Защита задач.
<b>8</b>	1 неделя К 16-ой недели	Многоступенчатые компрессоры, особенности их работы и расчета. Определение оптимальных промежуточных давлений. Анализ работы и особенности расчета турбокомпрессоров и струйных эжекторов. Подготовить доклады для презентации.	<b>6 часа</b>	доклад в презентационной форме, обсуждение, дискуссия, выводы по теме. Защита задач.
<b>9</b>	1 неделя К 18-ой	Обсуждение теории, расчетов для задач, имеющих у студентов, в презентационной форме,	<b>6 часа</b>	По результатам рейтинга оценить работу студентов в

	недели	дискуссия, выводы по теме.		семестре
--	--------	----------------------------	--	----------

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	2 недели Ко 2-ой, 3-ей недели	<p>Термодинамические основы анализа двигателей внутреннего сгорания. Подготовка к мастер-классу по темам: Поршневые ДВС, работающие по циклу с подводом тепла при постоянном объеме. Поршневые ДВС, работающие по циклу с подводом тепла при постоянном давлении. Поршневые ДВС, работающие по циклу с подводом тепла при смешанном подводе тепла. Сопоставление циклов поршневых ДВС. Их общие достоинства и недостатки.</p> <p>Газотурбинные установки, работающие с подводом тепла при постоянном давлении.</p> <p>Газотурбинные установки, работающие с подводом тепла при постоянном и постоянном объеме.</p>	<p>4 часа</p> <p>2 часа</p> <p>4 часа</p>	Обсуждение теории, расчетов для задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по теме.
2	3 недели К 4-5-ой неделям	<p>Подготовка к мастер-классу по темам: Сопоставление циклов ГТУ.</p> <p>Пути повышения эффективности ГТУ.</p> <p>Реактивные и ракетные двигатели.</p> <p>Рассмотрение циклов безкомпрессорных и компрессорных воздушно-реактивных двигателей.</p> <p>Особенности работы реактивных двигателей с твердым и жидким топливом.</p>	<p>4 часа</p> <p>2 часа</p> <p>4 часа</p>	Обсуждение теории, расчетов для задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по теме.
3	3 недели К 6-8-ой неделям	<p>Уравнения состояния реальных газов. Водяной пар как рабочее тело энергетических установок.</p> <p>Диаграмма P-T для H<sub>2</sub>O.</p> <p>Диаграмма P-V для H<sub>2</sub>O.</p> <p>Вычисление параметров воды, влажного и перегретого пара.</p> <p>Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Диаграмма T-S для</p>	<p>4 часа</p> <p>4 часа</p>	Обсуждение теории, расчетов для задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по теме. Защита задач.



		<p>H<sub>2</sub>O. Уравнение состояния и таблицы воды и водяного пара.          Диаграмма <math>i - S</math> для водяного пара.          Графический расчет процессов с водяным паром.</p>	<b>2 часа</b>	
<b>4</b>	<p>4 недели          К 9-12-ой неделям</p>	<p>Цикл Карно с водяным паром.          Цикл Ренкина как основной цикл теплоэнергетических установок.          Величины, характеризующие эффективность работы ПСУ.          Пути повышения эффективности ПСУ (увеличение температуры и давления свежего пара, понижение давления в конденсаторе, промежуточный перегрев, применение регенерации тепла).          Основы расчета регенеративной схемы ПСУ. Термодинамические основы теплофикации. Анализ схем с ухудшенным вакуумом, противодавлением и промежуточным отбором пара.</p>	<p><b>4 часа</b></p> <p><b>4 часа</b></p> <p><b>2 часа</b></p>	<p>Студенты готовят сообщения по теме, доклад с презентациями, с последующим обсуждением.          Защита задач.</p>
<b>5</b>	<p>3 недели          К 13-15-ой неделям</p>	<p>Комбинированные циклы.          Бинарные циклы (на примере ртутно-водяного). Схемы и анализ парогазового цикла.          Схемы и анализ цикла с МГД генератором. Схемы и анализ циклов с применением низкокипящих веществ.</p>	<p><b>4 часа</b></p> <p><b>4 часа</b></p> <p><b>2 часа</b></p>	<p>Обсуждение теории, расчетов для задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по теме.          Защита задач.</p>
<b>6</b>	<p>3 недели          К 16- 18-ой неделям</p>	<p>Общие сведения и оценка эффективности работы холодильных машин. Цикл воздушной холодильной машины.          Дросселирование идеального и реального газов. Циклы пароконденсационной и парожеторной холодильных установок. Сжижение газов.          Работа теплового насоса. Анализ цикла и сопоставление с электроотоплением.          Обсуждение теории, расчетов для задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по теме.</p>	<p><b>4 часа</b></p> <p><b>4 часа</b></p> <p><b>2 часа</b></p>	<p>Обсуждение теории, расчетов для задач, имеющих у студентов, в презентационной форме, дискуссия, выводы по теме.          Защита задач.          По результатам рейтинга оценить работу студентов в семестре</p>

**Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению**

Задание №1-9 (п.1-9, 3 семестр). Изучение учебного пособия [1, основная литература] на тему " Основы технической термодинамики ", "Компрессорные машины и циклы двигателей внутреннего сгорания", "Циклы ПСУ и холодильных машин".

Студенты самостоятельно изучают электронное учебное пособие по заданным тематикам. В ходе организации самостоятельного изучения учебного пособия студентами решаются следующие задачи:

- углублять и расширять профессиональные знания студентов;
- сформировать интерес к учебно-познавательной деятельности;
- научить студентов овладевать приемами процесса познания;
- развивать у них самостоятельность, активность, ответственность;
- развивать познавательные способности будущих специалистов.

Задание №1-3 (4 семестр). Индивидуальное задание. Студентами самостоятельно выполняется расчет цикла Ренкина с заданными параметрами свежего пара и давлением в конденсаторе. Выполнить расчеты для случая применения промежуточного перегрева пара и регенерации тепла.

Студенты самостоятельно готовятся к зачету и экзамену по приведенным вопросам (приложение 2).

#### **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

Задания №1-3. Задания готовятся устно и представляются в виде ответов при проведении собеседования. Для контроля используются оценочные средства текущего контроля УО-1 и УО-2 приведенные в ФОС (приложение 2).

Задание №4. Выполняется в письменном виде. Для контроля используются оценочные средства текущего контроля ПР-1 приведенные в ФОС (приложение 2).

Задание №5. Выполняется письменно в виде ответов на вопросы при проведении зачетов или экзамена, форма оформления свободная. Для контроля используются оценочные средства промежуточной аттестации в виде вопросов, приведенных в ФОС (приложение 2).

### **Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

#### **Критерии оценки (устный ответ) на собеседовании**

✓ 100-85 баллов (отлично) - если ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

✓ 84-76 - баллов (хорошо)- ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение

терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

✓ 75-61 - балл (удовлетворительно) – оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

✓ 60-50 баллов (неудовлетворительно)– ответ, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

#### **Критерии оценки при ответе (письменный ответ) на зачетные/экзаменационные вопросы**

✓ 100-86 баллов (отлично) - если ответ показывает глубокое и систематическое знание всего программного материала и структуры конкретного вопроса, а также основного содержания и новаций лекционного курса по сравнению с учебной литературой. Студент демонстрирует отчетливое и свободное владение концептуально-понятийным аппаратом, научным языком и терминологией соответствующей научной области. Знание основной литературы и знакомство с дополнительно рекомендованной литературой. Логически корректное и убедительное изложение ответа.

✓ 85-76 - баллов (хорошо) - знание узловых проблем программы и основного содержания лекционного курса; умение пользоваться концептуально-понятийным аппаратом в процессе анализа основных проблем в рамках данной темы; знание важнейших работ из списка рекомендованной литературы. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа.

✓ 75-61 - балл (удовлетворительно) – фрагментарные, поверхностные знания важнейших разделов программы и содержания лекционного курса; затруднения с использованием научно-понятийного аппарата и терминологии учебной дисциплины; неполное знакомство с рекомендованной литературой; частичные затруднения с выполнением предусмотренных программой заданий; стремление логически определенно и последовательно изложить ответ.

✓ 60-50 баллов (неудовлетворительно) – незнание, либо отрывочное представление о данной проблеме в рамках учебно-программного материала; неумение использовать понятийный аппарат; отсутствие логической связи в ответе.





МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине «Техническая термодинамика»**  
Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
профиль «Энергетические системы и комплексы»  
Форма подготовки очная

**Владивосток**  
**2020**

**Паспорт  
фонда оценочных средств  
по дисциплине Техническая термодинамика**  
(наименование дисциплины, вид практики)

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<b>ОПК-2</b> способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Знает	Основные термодинамические параметры, процессы и циклы тепловых двигателей. Законы термодинамики и их приложения.
	Умеет	Записывать уравнения для термодинамических величин в системе СИ. Объяснять смысл термодинамических величин, понятий, природные и техногенные явления с термодинамической точки зрения
	Владеет	Навыками использования основных термодинамических законов и принципов в важнейших практических приложениях. Приемами правильной эксплуатации измерительных приборов и лабораторного оборудования.

**Контроль достижения целей дисциплины**

**«Техническая термодинамика», (третий и четвертый семестры).**

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства - наименование		
			текущий контроль	промежуточная аттестация зачет/экзамен	
1	Первый закон термодинамики	ОПК-2	знает	Собеседование по Первому и Второму законам термодинамики УО- 3	Зачет 1-65
			умеет	УО-3, УО-4	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13
			владеет	УО-3, УО-4	14, 15, 16, 17, 18
			знает	УО-3, УО-4	19, 20, 23, 25
2	Второй закон термодинамики	ОПК-2	знает	УО-1.48-50	25-48, 49,50
			умеет	УО-1.51-52	51, 52,53
			владеет	УО-1.53-54	54-65
3	Термодинамический анализ циклов	ОПК-2	знает	Собеседование по разделу 3, 4-семестр - Термодинамический	Экзамен 1-40,

				анализ циклов УО- 3,4	
			умеет	УО- 3,4	1- 40
			владеет	ПР-1 Индивидуальное задание	расчет цикла Ренкина

**Перечень оценочных средств (ОС), используемый при изучении дисциплины «Техническая термодинамика».**

**УО-3, УО-4** – Доклад или сообщение в презентационной форме, дискуссия, полемика, диспут, дебаты.

Темы сообщений и решений задач и заданий в третьем семестре:

1. Термодинамические параметры как среднестатистические характеристики рабочего тела.
2. Уравнение состояния идеального газа и его законы.
3. Смеси газов. Способы задания смеси газов.
4. Термодинамическая система координат.
5. Тепло и теплоемкость.
6. Определение и различные способы вычисления теплоемкостей идеального газа.
7. Вычисление количества тепла с помощью различных зависимостей для теплоемкости.
8. Работа и ее свойства как термодинамической функции процесса.
9. Система координат  $P - V$  и ее свойства.
10. Работа проталкивания и техническая работа.
11. Энтальпия.
12. Первое начало термодинамики и его аналитическое выражение.
13. Связь между теплоемкостями  $C_p$  и  $C_v$ .
14. Задача и последовательность анализа газовых процессов.
15. Анализ основных (изохорного, изобарного, изотермического и адиабатного) процессов.
16. Особенности энерго - превращения и величин теплоемкостей в политропных процессах.
17. Определения прямого и обратного обобщенных циклов, примеры их осуществления и оценка эффективности. На 10,11,12 занятия студентам предлагается подготовиться по темам:
18. Прямой и обратный цикл Карно.
19. Предельные возможности рассмотренных циклов и вывод из их анализа.
20. Второй закон термодинамики как качественное дополнение первого начала термодинамики.
21. Теорема Карно и ее доказательство.
22. Вывод равенства Клаузиуса.
23. Энтропия.
24. Вычисление энтропии.

25. Обратимые и необратимые процессы.

26. Аналитическое выражение первого и второго начал термодинамики для обратимых и необратимых процессов.

27. Энтропия замкнутой термодинамической системы.

28. Статистическое выражение второго закона термодинамики.

**Оценочные средства для промежуточной аттестации – зачет по курсу "Техническая термодинамика" в третьем семестре по рейтингу студентов или в устной форме по вопросам:**

1. Термодинамическое рабочее тело.

2. Аналитическое выражение первого закона термодинамики.

3. Вычисление энтропии.

4. Параметры состояния термодинамического рабочего тела (давление).

5. Связь между теплоемкостями  $C_p$  и  $C_v$ .

6. Параметры состояния термодинамического рабочего тела (температура).

7. О двух классах термодинамических функций.

8. Параметры состояния термодинамического рабочего тела (удельный объем)

9. Энтальпия- функция состояния.

10. Уравнение состояния идеального газа.

11. Изохорный процесс.

12. Эксергия и анергия.

13. Уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая постоянная.

14. Изобарный процесс.

15. Определение эксергии термодинамического рабочего тела.

16. Уравнение состояния идеального газа для смеси газов

17. Изотермический процесс.

18. Потеря эксергии вследствие необратимости.

19. Смеси газов. Закон Дальтона.

20. Адиабатный процесс.

21. Вывод уравнения Гюи-Стодолы.

22. Смеси газов, заданные массовым составом.

23. Политропный процесс.

24. Смеси газов, заданные объемным составом.

25. Вычисление теплоемкости в политропном процессе.

26. Смеси газов, кажущийся молекулярный вес газовой смеси.

27. Круговые процессы или циклы.

28. Реальные газы.

29. Прямой цикл.

30. Истинная или мгновенная теплоемкость. Изменение теплоемкости от 0 до бесконечности.

31. Теплоемкость в изохорных и изобарных процессах.



32. Определение энтропии в изохорном процессе.
33. Вычисление теплоемкости.
34. Определение энтропии в изобарном процессе.
35. Вычисление теплоты.
36. Определение энтропии в изотермическом процессе.
37. Вычисление теплоты и теплоемкости для смеси газов.
38. Свойства влажного воздуха.
39. Работа.
40. Определение энтальпии влажного воздуха
41. Внутренняя энергия.
42. Энтропия – функция состояния.
43. Вычисление внутренней энергии.
44. Изменение тепловлажностного состояния влажного воздуха.
45. Процесс нагрева и охлаждения воздуха в I-d диаграмме.
46. Прямой цикл Карно и его анализ.
47. Обратный цикл Карно и его анализ.
48. Формулировки и содержание второго начала термодинамики.
49. Аналитическое выражение второго начала термодинамики.
50. Вычисление энтропии идеального газа.
51. Понятие об обратимых и необратимых процессах.
52. Первое и второе начала термодинамики для обратимых и необратимых процессов.
53. Энтропия замкнутой термодинамической системы.
54. Статистическое выражение второго начала.
55. Границы применимости первого и второго начала термодинамики.
56. Диаграмма T-S и ее свойства.
57. Процессы в координатах T-S.
58. Цикл Карно в координатах T-S.
59. Произвольный цикл с регенерацией теплоты.
60. Понятие о среднеинтегральной температуре эквивалентном и соответствующих циклах Карно.
61. Обобщенный или регенеративный цикл Карно.
62. Понятие об эксергии и анергии.
63. Вычисление эксергии идеального газа.
64. Два метода термодинамических исследований.
65. О балансах и КПД при термодинамических исследованиях

**УО-3, УО-4** – сообщение в презентационной форме, дискуссия, полемика, диспут, дебаты.

1. Уравнения состояния реальных газов.

2. Водяной пар как рабочее тело энергетических установок.
3. Диаграмма P-T для H<sub>2</sub>O.
4. Диаграмма P-V для H<sub>2</sub>O.
5. Вычисление параметров воды, влажного и перегретого пара.
6. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса.
7. Диаграмма T-S для H<sub>2</sub>O.
8. Уравнение состояния и таблицы воды и водяного пара.
9. Диаграмма H - S для водяного пара.
10. Графический расчет процессов с водяным паром.
11. Бинарные циклы (на примере ртутно-водяного).
12. Схемы и анализ парогазового цикла.
13. Схемы и анализ цикла с МГД генератором.
14. Схемы и анализ циклов с применением низкокипящих веществ.
15. Общие сведения и оценка эффективности работы холодильных машин.
16. Цикл воздушной холодильной машины.
17. Дросселирование идеального и реального газов.
18. Циклы парокомпрессионной и парожеторной холодильных установок.
19. Сжижение газов.
20. Работа теплового насоса. Анализ цикла и сопоставление с электроотоплением.

**ПР-1 - Задание - включает расчетно-графическую работу и творческое задание.**

Темы проведения мастер-классов

1. Поршневые ДВС, работающие по циклу с подводом тепла при постоянном объеме.
2. Поршневые ДВС, работающие по циклу с подводом тепла при постоянном давлении.
3. Поршневые ДВС, работающие по циклу с подводом тепла при со смешанным подводом тепла.
4. Сопоставление циклов поршневых ДВС. Их общие достоинства и недостатки.
5. Газотурбинные установки, работающие с подводом тепла при постоянном давлении.
6. Газотурбинные установки, работающие с подводом тепла при постоянном и постоянном объеме.
7. Сопоставление циклов ГТУ.
8. Пути повышения эффективности ГТУ.
9. Реактивные и ракетные двигатели.
10. Рассмотрение циклов безкомпрессорных и компрессорных воздушно-реактивных двигателей.
11. Особенности работы реактивных двигателей с твердым и жидким топливом.

**Оценочные средства для промежуточной аттестации – экзамен по курсу "Техническая термодинамика" в четвертом семестре по рейтингу студентов или в устной форме по вопросам:**

1. Одноступенчатые компрессорные машины.
2. Многоступенчатые компрессорные машины.
3. Принцип работы турбокомпрессора.
4. Принцип работы струйного компрессора.
5. Уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая постоянная.
6. Аналитическое выражение второго начала термодинамики.
7. Понятие об обратимых и необратимых процессах.
8. Первое и второе начала термодинамики для обратимых и необратимых процессов.
9. Энтропия замкнутой термодинамической системы.
10. Статистическое выражение второго начала.
11. Границы применимости первого и второго начала термодинамики.
12. Диаграмма T-S и ее свойства.
13. Процессы в координатах T-S.
14. Цикл Карно в координатах T-S.
15. Общие сведения об энергетических установках внутреннего сгорания.
16. Поршневые Д.В.С., работающие по циклу Отто.
17. Поршневые Д.В.С., работающие по циклу Дизеля.
18. Цикл поршневых Д.В.С. со смешанным подводом теплоты.
19. Сопоставление циклов поршневых Д.В.С.
20. Общие сведения о газо-турбинных установках и реализация цикла Брайтона.
21. Пути повышения эффективности работы ГТУ.
22. ГТУ, работающие по замкнутому процессу.
23. Общие сведения о реактивных двигателях и цикл прямоточного ВРД.
24. Цикл турбо-реактивного двигателя.
25. Цикл ракетного двигателя.
26. Таблицы и диаграммы водяного пара (общие сведения).
27. Диаграмма h-s и цикл Карно с водяным паром.
28. Цикл Ренкина и оценка его эффективности.
29. Пути повышения эффективности пароэнергетических установок ( $P_1$ ,  $T_1$  и  $P_2$ ).
30. Пути повышения эффективности пароэнергетических установок (промперегрев и регенерация).
31. Термодинамические основы теплофикации и понятие о тригенерации.
32. Недостатки  $H_2O$  как рабочего тела, понятие о ВКВ и НКВ и области их применения в координатах T-S.
33. Бинарный цикл  $Hq-H_2O$ .
34. Парогазовый бинарный цикл.

35. Бинарный цикл с МГДГ.
36. Обратный цикл Карно и величины, характеризующие эффективность холодильной машины и теплового насоса.
37. Воздушная холодильная машина и особенности ее работы.
38. Паровые холодильные машины.
39. Тепловой насос.
40. Дросселирование и его применение в технике.

**Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

**Оценочные средства для промежуточной аттестации**

**УО-1 Собеседование**

Вопросы по темам/разделам дисциплины

**1. Первый закон термодинамики**

1. Термодинамическое рабочее тело.
2. Аналитическое выражение первого закона термодинамики.
3. Вычисление энтропии.
4. Параметры состояния термодинамического рабочего тела (давление).
5. Связь между теплоемкостями  $C_p$  и  $C_v$ .
6. Параметры состояния термодинамического рабочего тела (температура).
7. О двух классах термодинамических функций.
8. Параметры состояния термодинамического рабочего тела (удельный объем)
9. Энтальпия- функция состояния.
10. Уравнение состояния идеального газа.
11. Изохорный процесс.
12. Эксергия и анергия.
13. Уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая постоянная.
14. Изобарный процесс.
15. Определение эксергии термодинамического рабочего тела.
16. Уравнение состояния идеального газа для смеси газов
17. Изотермический процесс.
18. Потеря эксергии вследствие необратимости.
19. Смеси газов. Закон Дальтона.
20. Адиабатный процесс.
21. Вывод уравнения Гюи-Стодолы.
22. Смеси газов, заданные массовым составом.
23. Политропный процесс.
24. Смеси газов, заданные объемным составом.

25. Вычисление теплоемкости в политропном процессе.
26. Смеси газов, кажущийся молекулярный вес газовой смеси.
27. Круговые процессы или циклы.
28. Реальные газы.
29. Прямой цикл.
30. Истинная или мгновенная теплоемкость. Изменение теплоемкости от 0 до бесконечности.
31. Теплоемкость в изохорных и изобарных процессах.
32. Определение энтропии в изохорном процессе.
33. Вычисление теплоемкости.
34. Определение энтропии в изобарном процессе.
35. Вычисление теплоты.
36. Определение энтропии в изотермическом процессе.
37. Вычисление теплоты и теплоемкости для смеси газов.
38. Свойства влажного воздуха.
39. Работа.
40. Определение энтальпии влажного воздуха
41. Внутренняя энергия.
42. Энтропия – функция состояния.
43. Вычисление внутренней энергии.
44. Изменение тепловлажностного состояния влажного воздуха.
45. Процесс нагрева и охлаждения воздуха в  $I-d$  диаграмме.
46. Прямой цикл Карно и его анализ.
47. Обратный цикл Карно и его анализ.

## **2. Второй закон термодинамики**

48. Формулировки и содержание второго начала термодинамики.
49. Аналитическое выражение второго начала термодинамики.
50. Вычисление энтропии идеального газа.
51. Понятие об обратимых и необратимых процессах.
52. Первое и второе начала термодинамики для обратимых и необратимых процессов.
53. Энтропия замкнутой термодинамической системы.
54. Статистическое выражение второго начала.
55. Границы применимости первого и второго начала термодинамики.
56. Диаграмма  $T-S$  и ее свойства.
57. Процессы в координатах  $T-S$ .
58. Цикл Карно в координатах  $T-S$ .
59. Произвольный цикл с регенерацией теплоты.
60. Понятие о среднеинтегральной температуре эквивалентном и соответствующих циклах Карно.
61. Обобщенный или регенеративный цикл Карно.

62. Понятие об эксергии и анергии.
63. Вычисление эксергии идеального газа.

**О применении начал термодинамики в термодинамических исследованиях**

64. Два метода термодинамических исследований.
65. О балансах и КПД при термодинамических исследованиях

**УО-2 Собеседование**

Вопросы по темам/разделам дисциплины

**3. Термодинамический анализ циклов**

**Тема 1. Компрессорные машины**

1. Одноступенчатые компрессорные машины.
2. Многоступенчатые компрессорные машины.
3. Принцип работы турбокомпрессора.
4. Принцип работы струйного компрессора.

**Тема 2. Двигатели внутреннего сгорания**

5. Общие сведения об энергетических установках внутреннего сгорания.
6. Поршневые Д.В.С., работающие по циклу Отто.
7. Поршневые Д.В.С., работающие по циклу Дизеля.
8. Цикл поршневых Д.В.С. со смешанным подводом теплоты.
9. Сопоставление циклов поршневых Д.В.С.
10. Общие сведения о газо-турбинных установках и реализация цикла Брайтона.
11. Пути повышения эффективности работы ГТУ.
12. ГТУ, работающие по замкнутому процессу.
13. Общие сведения о реактивных двигателях и цикл прямоточного ВРД.
14. Цикл турбо-реактивного двигателя.
15. Цикл ракетного двигателя.

**Тема 3. Термодинамические свойства воды и водяного пара.**

16. Таблицы и диаграммы водяного пара (общие сведения).
17. Диаграмма  $h-s$  и цикл Карно с водяным паром.
18. Цикл Ренкина и оценка его эффективности.
19. Пути повышения эффективности пароэнергетических установок ( $P_1$ ,  $T_1$  и  $P_2$ ).
20. Пути повышения эффективности пароэнергетических установок (промперегрев и регенерация).
21. Термодинамические основы теплофикации и понятие о тригенерации.
22. Недостатки  $H_2O$  как рабочего тела, понятие о ВКВ и НКВ и области их применения в координатах  $T-S$ .
23. Бинарный цикл  $Hq-H_2O$ .
24. Парогазовый бинарный цикл.
25. Бинарный цикл с МГДГ.

26. Обратный цикл Карно и величины, характеризующие эффективность холодильной машины и теплового насоса.

27. Воздушная холодильная машина и особенности ее работы.

28. Паровые холодильные машины.

29. Тепловой насос.

30. Дросселирование и его применение в технике.

### ПР-1 Индивидуальное задание

Выполнить расчет цикла Ренкина с заданными параметрами свежего пара и давлением в конденсаторе. Выполнить расчеты для случая применения промежуточного перегрева пара и регенерации тепла.

Задание по вариантам

N вар	$P_1$ МПа	$t_1$ °C	$P_2$ МПа	$P_{\text{шт}}$ МПа	$P_{\text{отб}}$ МПа	$\eta_{oi}$ -
1	15	600	0,02	0,15	0,04	0,98
2	15	600	0,03	0,3	0,04	0,98
3	15	600	0,05	0,4	0,08	0,98
4	15	560	0,055	5	0,1	0,98
5	15	560	0,06	2	0,2	0,95
6	15	560	0,07	2	0,2	0,95
7	10	550	0,011	2	0,4	0,95
8	10	550	0,012	2	0,5	0,95
9	10	550	0,013	0,3	0,05	0,9
10	10	550	0,014	0,2	0,06	0,9
11	10	500	0,015	0,3	0,07	0,9
12	5	500	0,016	0,1	0,08	0,9
13	5	500	0,017	0,2	0,03	0,85
14	5	500	0,018	0,3	0,04	0,85
15	5	450	0,019	0,4	0,05	0,85
16	5	450	0,02	0,5	0,06	0,85
17	3	450	0,021	0,1	0,05	0,82
18	3	450	0,022	0,2	0,06	0,82
19	3	300	0,023	0,3	0,07	0,82
20	3	300	0,024	0,1	0,08	0,8
21	3	300	0,025	0,2	0,1	0,8
22	3	300	0,026	0,3	0,2	0,8
23	3	300	0,027	0,4	0,3	0,8
24	3	600	0,005	0,2	0,01	0,98
25	3	600	0,006	0,3	0,01	0,98
26	3	600	0,007	0,4	0,02	0,98
27	3	560	0,008	0,5	0,03	0,98
28	3	560	0,009	0,6	0,03	0,95
29	3	560	0,01	0,7	0,04	0,95

30	3	550	0,011	0,8	0,04	0,95
31	5	550	0,012	0,9	0,05	0,95
32	5	550	0,013	1	0,06	0,95
33	5	550	0,014	2	0,07	0,9
34	5	500	0,015	3	0,09	0,9
35	5	500	0,016	4	0,1	0,9
36	10	500	0,017	0,5	0,02	0,9
37	10	500	0,018	1	0,05	0,85
38	10	450	0,019	2	0,05	0,85
39	10	450	0,02	3	0,1	0,85
40	10	450	0,021	4	0,2	0,85
41	15	450	0,05	0,5	0,3	0,83
42	10	400	0,04	0,1	0,05	0,83
43	10	400	0,05	0,2	0,1	0,83
44	10	400	0,05	0,3	0,15	0,8
45	10	400	0,05	0,4	0,2	0,8
46	15	400	0,027	0,5	0,3	0,8

### **Критерии оценки (устный ответ) на собеседовании**

✓ 100-85 баллов (отлично) - если ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

✓ 85-76 - баллов (хорошо)- ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

✓ 75-61 - балл (удовлетворительно) – оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.



✓ 60-50 баллов (неудовлетворительно)– ответ, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

**Критерии выставления оценки студенту на зачете/ экзамене по дисциплине «Техническая термодинамика»:**

<b>Баллы</b> (рейтингов ой оценки)	<b>Оценка</b> <b>зачета/</b> <b>экзамена</b> (стандартная)	<b>Требования к сформированным компетенциям</b> <i>Дописать оценку в соответствии с компетенциями. Привязать к дисциплине</i>
100-86	«зачтено»/ «отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач. Уверенно знает фундаментальные законы существования тепловых процессов и понятия термодинамики, механизмы энергопревращений и реализации их в циклах энергоустановок, основные уравнения, описывающие процесс преобразования энергии, влияние параметров рабочего тела на технико-экономические показатели циклов энергоустановок. Свободно умеет применять фундаментальные законы существования тепловых процессов при расчетах циклов энергоустановок, производить расчеты технико-экономических показателей циклов энергоустановок. Отлично владеет принципами расчетов циклов энергоустановок с оценкой их эффективности.
85-76	«зачтено»/ «хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения. Хорошо знает фундаментальные законы существования тепловых процессов и понятия термодинамики, механизмы энергопревращений и реализации их в циклах энергоустановок, основные уравнения, описывающие процесс преобразования энергии, влияние параметров рабочего тела на технико-экономические показатели циклов энергоустановок. Умеет применять фундаментальные законы существования тепловых процессов при расчетах циклов энергоустановок, производить расчеты технико-экономических показателей циклов энергоустановок. Владеет принципами расчетов циклов

Баллы (рейтингов ой оценки)	Оценка зачета/ экзамена (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям <i>Дописать оценку в соответствии с компетенциями. Привязать к дисциплине</i>
		энергоустановок с оценкой их эффективности.
75-61	«зачтено»/ «удовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ. Поверхностно знает фундаментальные законы существования тепловых процессов и понятия термодинамики, механизмы энергопревращений и реализации их в циклах энергоустановок, основные уравнения, описывающие процесс преобразования энергии, влияние параметров рабочего тела на технико-экономические показатели циклов энергоустановок. Немного умеет применять фундаментальные законы существования тепловых процессов при расчетах циклов энергоустановок, производить расчеты технико-экономических показателей циклов энергоустановок. Частично владеет принципами расчетов циклов энергоустановок с оценкой их эффективности.
60-50	«не зачтено»/ «неудовлетворительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. Не знает фундаментальные законы существования тепловых процессов и понятия термодинамики, механизмы энергопревращений и реализации их в циклах энергоустановок, основные уравнения, описывающие процесс преобразования энергии, влияние параметров рабочего тела на технико-экономические показатели циклов энергоустановок. Не умеет применять фундаментальные законы существования тепловых процессов при расчетах циклов энергоустановок, производить расчеты технико-экономических показателей циклов энергоустановок. Не владеет принципами расчетов циклов энергоустановок с оценкой их эффективности.

**Темы рефератов, докладов, сообщений**  
по дисциплине «Техническая термодинамика».

**УО-3, УО-4** – Доклад или сообщение в презентационной форме, дискуссия, полемика, диспут, дебаты.

Темы сообщений и решений задач и заданий в третьем семестре:

1. Термодинамические параметры как среднестатистические характеристики рабочего тела.
2. Уравнение состояния идеального газа и его законы.
3. Смеси газов. Способы задания смеси газов.
4. Термодинамическая система координат.
5. Тепло и теплоемкость.
6. Определение и различные способы вычисления теплоемкостей идеального газа.
7. Вычисление количества тепла с помощью различных зависимостей для теплоемкости.
8. Работа и ее свойства как термодинамической функции процесса.
9. Система координат  $P - V$  и ее свойства.
10. Работа проталкивания и техническая работа.
11. Энтальпия.
12. Первое начало термодинамики и его аналитическое выражение.
13. Связь между теплоемкостями  $C_p$  и  $C_v$ .
14. Задача и последовательность анализа газовых процессов.
15. Анализ основных (изохорного, изобарного, изотермического и адиабатного) процессов.
16. Особенности энерго - превращения и величин теплоемкостей в политропных процессах.
17. Определения прямого и обратного обобщенных циклов, примеры их осуществления и оценка эффективности.
18. На 10,11,12 занятия студентам предлагается подготовиться по темам:
19. Прямой и обратный цикл Карно.
20. Предельные возможности рассмотренных циклов и вывод из их анализа.
21. Второй закон термодинамики как качественное дополнение первого начала термодинамики.
22. Теорема Карно и ее доказательство.
23. Вывод равенства Клаузиуса.
24. Энтальпия.
25. Вычисление энтропии.
26. Обратимые и необратимые процессы.
27. Аналитическое выражение первого и второго начал термодинамики для обратимых и необратимых процессов.
28. Энтальпия замкнутой термодинамической системы.
29. Статическое выражение второго закона термодинамики.
- 30.

**УО-3, УО-4** – сообщение в презентационной форме, дискуссия, полемика, диспут, дебаты.

1. Уравнения состояния реальных газов.
2. Водяной пар как рабочее тело энергетических установок.
3. Диаграмма P-T для  $H_2O$ .
4. Диаграмма P-V для  $H_2O$ .
5. Вычисление параметров воды, влажного и перегретого пара.
6. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса.
7. Диаграмма T-S для  $H_2O$ .
8. Уравнение состояния и таблицы воды и водяного пара.
9. Диаграмма  $i - S$  для водяного пара.
10. Графический расчет процессов с водяным паром.
11. Бинарные циклы (на примере ртутно-водяного).
12. Схемы и анализ парогазового цикла.
13. Схемы и анализ цикла с МГД генератором.
14. Схемы и анализ циклов с применением низкокипящих веществ.
15. Общие сведения и оценка эффективности работы холодильных машин.
16. Цикл воздушной холодильной машины.
17. Дросселирование идеального и реального газов.
18. Циклы пароконденсационной и парожеторной холодильных установок.
19. Сжижение газов.
20. Работа теплового насоса. Анализ цикла и сопоставление с электроотоплением.

**ПР-1 Задание - включает расчетно-графическую работу и творческое задание.**

Темы проведения мастер-классов

1. Поршневые ДВС, работающие по циклу с подводом тепла при постоянном объеме.
2. Поршневые ДВС, работающие по циклу с подводом тепла при постоянном давлении.
3. Поршневые ДВС, работающие по циклу с подводом тепла при со смешанным подводом тепла.
4. Сопоставление циклов поршневых ДВС. Их общие достоинства и недостатки.
5. Газотурбинные установки, работающие с подводом тепла при постоянном давлении.
6. Газотурбинные установки, работающие с подводом тепла при постоянном и постоянном объеме.
7. Сопоставление циклов ГТУ.
8. Пути повышения эффективности ГТУ.
9. Реактивные и ракетные двигатели.
10. Рассмотрение циклов безкомпрессорных и компрессорных воздушно-реактивных двигателей.

## 11. Особенности работы реактивных двигателей с твердым и жидким топливом.

Критерии оценки доклада или реферата, сообщения выполненных в форме презентаций:

✓ 100-86 баллов выставляется студенту, если студент выразил своё мнение по сформулированной проблеме, аргументировал его, точно определив ее содержание и составляющие. Изучил методы и приемы анализа различных программ расчета и этапов энергосбережения, применяемых в разрабатываемых системах, знаком с положениями СП и СНиП, знает отечественное и зарубежное оборудование, его достоинства и недостатки.

✓ 85-76 - баллов выставляется студенту, если он аргументировал своё мнение по сформулированной проблеме, точно определив ее содержание и составляющие характеризуются смысловой цельностью, связностью и последовательностью изложения; допущено не более 1 ошибки при объяснении смысла или содержания проблемы.

✓ 75-61 баллов выставляется студенту, если он проводит достаточно самостоятельный анализ основных этапов и смысловых составляющих проблемы; понимает базовые основы и теоретическое обоснование выбранной темы. Привлечены основные источники по рассматриваемой теме. Допущено не более 2 ошибок в смысле или содержании проблемы, оформлении работы

✓ 60-50 баллов выставляется студенту, если его работа представляет собой пересказанный или полностью переписанный исходный текст без комментариев и анализа. Не раскрыта структура и теоретическая составляющая темы. Допущено три или более трех ошибок в смысловом содержании раскрываемой проблемы, в оформлении работы.

### Критерии оценки презентации доклада:

Оценка	50-60 баллов (неудовлетворительно)	61-75 баллов (удовлетворительно)	76-85 баллов (хорошо)	86-100 баллов (отлично)
Критерии	Содержание критериев			
Раскрытие проблемы	Проблема не раскрыта. Отсутствуют выводы	Проблема раскрыта не полностью. Выводы не сделаны и/или выводы не обоснованы	Проблема раскрыта. Проведен анализ проблемы без привлечения дополнительной литературы. Не все выводы сделаны и/или обоснованы	Проблема раскрыта полностью. Проведен анализ проблемы с привлечением дополнительной литературы. Выводы обоснованы

<b>Представление</b>	Представляемая информация логически не связана. Не использованы профессиональные термины	Представляемая информация не систематизирована и/или не последовательна. использовано 1-2 профессиональных термина	Представляемая информация не систематизирована и последовательна. Использовано более 2 профессиональных терминов	Представляемая информация систематизирована, последовательна и логически связана. Использовано более 5 профессиональных терминов
<b>Оформление</b>	Не использованы технологии Power Point. Больше 4 ошибок в представляемой информации	Использованы технологии Power Point частично. 3-4 ошибки в представляемой информации	Использованы технологии Power Point. Не более 2 ошибок в представляемой информации	Широко использованы технологии (Power Point и др.). Отсутствуют ошибки в представляемой информации
<b>Ответы на вопросы</b>	Нет ответов на вопросы	Только ответы на элементарные вопросы	Ответы на вопросы полные и/или частично полные	Ответы на вопросы полные, с приведением примеров и/или пояснений