

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

«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра авиационной теплотехники и теплоэнергетики

**АННОТАЦИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ  
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Техническая термодинамика»**

Направление подготовки  
24.03.05 Двигатели летательных аппаратов

Направленность подготовки (профиль)  
Авиационная и ракетно-космическая теплотехника

Квалификация выпускника  
Бакалавр

Форма обучения  
Очная

УФА 2016

Исполнитель: профессор  \_\_\_\_\_ Бакиров Ф. Г.

Заведующий кафедрой:  \_\_\_\_\_ Бакиров Ф. Г.

### **Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «*Техническая термодинамика*» является дисциплиной базовой части учебного плана направления подготовки бакалавров 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки бакалавров 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «09» февраля 2016г. № 93.

**Целью освоения дисциплины является:** изучение и освоение термодинамических методов исследования и выполнения расчетов применительно к различным видам двигателей летательных аппаратов, тепловых машин, наземных энергоустановок на базе ДЛА и к протекающим в них рабочим процессам.

**Задачи** дисциплины подразделяются на:

- учебные;
- воспитательные;
- развивающие.

**Учебными задачами** дисциплины являются:

- формирование у студентов системы знаний по термодинамике;
- формирование у студентов системы компетенций, знаний, умений и навыков по формулированию и постановке практических задач для применения системы знаний по дисциплине, выбору и использованию соответствующих законов и формул;
- формирование у студентов навыков проведения расчетов, анализа и интерпретации результатов расчета.

**Воспитательными задачами** дисциплины являются:

- формирование у студентов убежденности в необходимости непрерывного обучения при работе по специальности, уверенности в своих силах и возможностях.

**Развивающей задачей** дисциплины является:

- развитие у студента системного логического мышления.

### **Перечень результатов обучения**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций.

Планируемые результаты обучения по дисциплине:

| № | Формируемые компетенции  | Код   | Знать  | Уметь  | Владеть   |
|---|--|-------|--|--|---|
| 1 | 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 | ПКП-2 | <p>- законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты, калорические и переносные свойства веществ применительно к рабочим телам энергоустановок ДЛА, тепловых машин и теплоносителям, термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, протекающие в теплотехнических установках;</p> <p>- законы и методы исследования и анализа информации, используемые в термодинамике для расчета энергоустановок летательных аппаратов;</p> <p>- методы математического анализа и моделирования, используемые в технической термодинамике;</p> <p>- принципы действия и устройства основных типов ДЛА и энергоустановок;</p> <p>- основные термодинамические параметры ДЛА;</p> <p>- базовый термодинамический аппарат, используемый при проведении предварительного технико-экономического обоснования проектных решений при создании ДЛА;</p> <p>- основные уравнения технической</p> | <p>- проводить термодинамический анализ циклов энергоустановок ДЛА и тепловых машин с целью оптимизации их рабочих характеристик и максимизации КПД;</p> <p>- ставить цели и находить пути их достижения на основе термодинамических методов исследования при расчете энергоустановок летательных аппаратов творчески применять основные законы технической термодинамики в профессиональной деятельности;</p> <p>- применять для решения термодинамических задач прикладные программные средства;</p> <p>- применять стандартные средства автоматизации расчетных работ, используемые в термодинамике;</p> <p>- использовать термодинамический аппарат при проведении предварительного технико-экономического обоснования проектных решений;</p> <p>- составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием</p> | <p>- основами термодинамического анализа рабочих процессов в энергоустановках и тепловых машинах, определения параметров их работы, тепловой эффективности;</p> <p>- навыками культуры мышления и анализа информации с использованием законов и методов термодинамики при расчете энергоустановок летательных аппаратов;</p> <p>- навыками применения методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения практических задач термодинамическим и методами;</p> <p>- методами проведения термодинамических расчетов с помощью специальных программных средств;</p> <p>- навыками выполнения термодинамических расчетов циклов ДЛА и энергоустановок;</p> <p>- навыками оценки технико-экономических параметров ДЛА термодинамическим и методами;</p> <p>- навыками формирования исходных данных по</p> |

|  |  |  |   |  |
|--|--|--|---|--|
|  |  | <p>термодинамики, применяемые в работах по расчету и конструированию отдельных деталей и узлов двигателей летательных аппаратов в соответствии с техническими заданиями;</p> <p>- прикладные программные средства, которые могут быть использованы для решения термодинамических задач</p> | <p>принятых технических решений термодинамическим и методами;</p> <p>- подготавливать исходные данные по термодинамическим параметрам ДЛА для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений</p> | <p>термодинамическим параметрам ДЛА для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений;</p> <p>- навыками использования термодинамических таблиц и диаграмм</p> |
|--|--|--|---|--|

### Содержание разделов дисциплины

| № | Наименование и содержание разделов  |
|---|---|
| 1 | <p><b>Введение. Основные понятия и определения.</b> Предмет термодинамики как науки и ее методы. Взаимосвязь с ранее изученными и последующими дисциплинами. Классическая термодинамика и химическая термодинамика. Статистическая термодинамика. Химическая термодинамика. Термодинамика неравновесных необратимых процессов. Роль термодинамики для специалистов теплофизиков, теплоэнергетиков.</p> <p>Понятие об энергии. Формы движения материи и виды энергии. Работа и теплота как две формы передачи энергии. Количество внешнего воздействия.</p> <p>Термодинамическая система и окружающая среда. Виды термодинамических систем. Работа деформации. Термодиформационная система. Параметры состояния термодинамической системы, их виды. Функции состояния. Равновесное состояние термодинамической системы. Первый постулат термодинамики. Время релаксации. Второй постулат (нулевой закон) термодинамики. Уравнения состояния термодинамической системы. Частный вид уравнения состояния для идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса.</p> <p>Термодинамический процесс. Равновесный (квазистатический) и неравновесный процессы. Прямые и обратные, обратимые и необратимые круговые процессы (циклы). Возможность изображения равновесных процессов и циклов в системах координат.</p> |
| 2 | <p><b>Смеси идеальных газов. Теплоёмкость.</b> Парциальные давления компонентов смеси. Состав газовой смеси и способы его задания. Свойства идеальных газовых смесей. Соотношения между массовыми, объемными и молярными долями компонентов газовой смеси. Кажущаяся молярная масса и газовая постоянная смеси. Плотность газовой смеси.</p> <p>Теплоемкость. Истинная теплоемкость и средняя теплоемкость в интервале температур. Теплоемкость при постоянном объеме и постоянном давлении. Теплоемкость газовой смеси. Способы задания теплоемкости газовой смеси. Смеси идеальных газов и расчет их параметров.</p> <p>Справочно-информационная база для расчетов теплоемкостей газов.</p>   |

|   |   |
|---|---|
| 3 | <p><b>Первый закон термодинамики. Характеристические функции.</b> Внутренняя энергия термодинамической системы и ее взаимосвязь с параметрами состояния. Свойства внутренней энергии. Формулы для расчета внутренней энергии. Формулы для расчета внутренней энергии идеальных газов. Факторы, не учитываемые понятием внутренней энергии системы в термодинамике. Анализ применимости внутренней энергии к замкнутым (изолированным) и открытым термодинамическим системам. Воздействия на термодинамическую систему. Потенциалы внешних воздействий. Обобщенный вид уравнения внешних воздействий. Особенности необратимых воздействий на термодинамическую систему и неравновесные процессы. Число степеней свободы термодинамических систем. Деформационное воздействие на термодинамическую систему. Механическая (деформационная) работа. Энергия вытеснения. Работа проталкивания. Располагаемая (техническая) работа и ее применение к открытым термодинамическим системам. Графическое определение механической и располагаемой работ процессов и циклов с помощью <math>P</math>-<math>v</math> диаграммы. Другие виды воздействий на термодинамическую систему в форме работы (механической и немеханической).</p> <p>Уравнение воздействий при наличии химических и фазовых превращений, их потенциал и координата. Тепловое воздействие на термодинамическую систему и ее отличие от работы. Теплоемкость. Абсолютная температура и энтропия как потенциал и координата теплового воздействия. Правила знаков для изменения внутренней энергии, работы и теплоты. Свойства энтропии как тепловой координаты состояния, ее взаимосвязь с другими параметрами состояния. <math>T</math>-<math>s</math> диаграмма и ее свойства.</p> <p>Сущность первого закона термодинамики как термодинамической формы закона сохранения и превращения энергии при взаимодействии термодинамической системы с окружающей средой. Общий вид уравнения первого закона термодинамики для неравновесных взаимодействий. Первый закон термодинамики в форме уравнения Гиббса. Потенциалы как частные производные внутренней энергии по координатам. Внутренняя энергия, энтальпия, свободная энергия Гельмгольца, свободная энтальпия (энергия) Гиббса как характеристические функции термодинамической системы. Выражения первого закона термодинамики для термодиформационных систем через энтальпию, свободную энергию, свободную энтальпию. Представление потенциалов и координат как частных производных от характеристических функций. Открытая термодинамическая система. Стационарный и нестационарный потоки вещества в открытой системе. Формулировка первого закона термодинамики применительно к стационарным и нестационарным потокам в открытой системе.</p> <p>Внутренняя энергия, энтальпия и энтропия газовой смеси.</p> |
| 4 | <p><b>Дифференциальные уравнения термодинамики.</b> Дифференциальное уравнение состояния. Уравнения Максвелла. Дифференциальные соотношения для внутренней энергии, энтальпии, энтропии, удельных теплоемкостей. Термические коэффициенты. Способы применения дифференциальных уравнений термодинамики.</p> <p>Справочно-информационная база для расчетов с использованием дифференциальных уравнений термодинамики.</p>  |
| 5 | <p><b>Второй закон термодинамики.</b> Формы концентрации энергии ("запасенной" энергии). Понятие о самопроизвольных (спонтанных) процессах. Направленность самопроизвольных процессов в неравновесных термодинамических системах и взаимодействиях с окружающей средой. Асимметрия природы. Фундаментальный принцип рассеяния энергии. Качество энергии. Сущность второго закона термодинамики. Энтропия как мера вероятности состояния, уравнение Больцмана. Выражение второго закона термодинамики для обратимых и необратимых процессов в изолированной системе. Образование энтропии в термодинамической системе при протекании необратимых (реальных) процессов. Диссипация энергии. Дуализм энтропии. Уравнения баланса энтропии в закрытой и открытой системах при наличии внешних воздействий.</p> <p>Справочно-информационная база для расчетов с использованием энтропии.</p>   |
| 6 | <p><b>Термодинамические основы работы тепловых двигателей.</b> Типы тепловых машин.</p>   |

|    |  |
|----|--|
|    | <p>Преобразование теплоты в механическую работу в отдельном термодинамическом процессе. Рабочее тело. Необходимость совершения прямого цикла для непрерывного преобразования теплоты в работу в тепловых двигателях. Подвод и отвод теплоты как необходимые виды внешнего воздействия на термодинамическую систему (рабочее тело). Основные элементы теплового двигателя с термодинамической точки зрения. Внешняя необратимость обратимых циклов тепловых двигателей. Термодинамический КПД цикла теплового двигателя. О некоторых формулировках второго закона термодинамики. Прямой обратимый цикл Карно, термодинамический КПД цикла и его значение. Определение термического КПД цикла по <math>T-s</math> диаграмме. Термический КПД необратимого цикла. Понятие о среднеинтегральной температуре процесса. Аналитическое выражение для среднеинтегральной температуры политропного процесса. Термический КПД произвольного цикла с адиабатическим сжатием и расширением рабочего тела.</p>  |
| 7  | <p><b>Термодинамические свойства и процессы идеальных газов.</b> Термодинамические характеристики идеальных газов. Смеси идеальных газов и расчет их параметров. Основные задачи термодинамического анализа процессов. Политропные процессы. Показатель политропы. Уравнения политропного процесса. Расчетные формулы для механической и располагаемой работ, изменения внутренней энергии, энтальпии и энтропии, количества теплоты в политропных процессах. Связь теплоемкости процесса с показателем политропы. Частные случаи политропного процесса: изохорный, изобарный, изотермический, адиабатический процессы. Изображение основных термодинамических процессов в <math>p-v</math> и <math>T-s</math> диаграммах. Особенности превращения энергии при различных значениях показателя политропы. Способы определения показателя политропы. <math>h-s</math> диаграмма и ее применение.</p>   |
| 8  | <p><b>Эксергия. Эксергетический метод исследования процессов и циклов.</b> Ограниченность превращения некоторых видов энергии и количества теплоты в работу. Понятие об эксергии и энергии. Потери эксергии в необратимых процессах и эксергетический КПД. Эксергия теплоты и ее расчет. Эксергетический анализ циклов тепловых двигателей. Эксергия изолированной термодинамической системы. Эксергия в открытой термодинамической системе в стационарных условиях. Расчет изменения эксергии в основных термодинамических процессах. Графическое определение эксергии в <math>T-s</math> диаграмме.</p>  |
| 9  | <p><b>Термодинамические свойства и процессы реальных газов.</b> Отличия свойств реальных газов и паров от идеальных газов. Определение понятий испарения, кипения, конденсации, сухого и влажного насыщенного пара, степени сухости и степени влажности, перегретого пара. Водяной пар как типичный представитель реальных газов и паров. <math>P-v</math> диаграмма водяного пара. Характерные области и линии в <math>P-v</math> диаграмме. Критическая точка. <math>P-T</math> диаграмма. Тройная точка. <math>T-s</math> диаграмма водяного пара. Формулы для расчета <math>\Delta u</math>, <math>\Delta h</math>, <math>\Delta s</math>, <math>\square</math> и других параметров для области воды, влажного насыщенного пара и перегретого пара. <math>h-s</math> диаграмма водяного пара. Расчет термодинамических параметров и термодинамических процессов воды и водяного пара с помощью термодинамических таблиц. Расчет параметров с использованием дифференциальных уравнений термодинамики. Расчет с помощью программ для ЭВМ.</p> |
| 10 | <p><b>Дросселирование газов и паров.</b> Понятие о процессе дросселирования. Изменение термодинамических параметров при дросселировании. Дифференциальный и интегральный дроссель-эффекты. Температура инверсии. Примеры расчета дифференциального дроссель-эффекта. Изображение процесса дросселирования в диаграммах. Полезные применения дроссель-эффекта.</p>  |
| 11 | <p><b>Влажный воздух.</b> Понятие о влажном воздухе и его основные параметры. Массовое и мольное влагосодержание. Абсолютная и относительная влажность. Расчет параметров влажного воздуха. <math>h-d</math> диаграмма влажного воздуха. Расчет основных процессов с</p>   |

|    |  |
|----|--|
|    | влажным воздухом. Кондиционирование влажного воздуха.  |
| 12 | <b>Элементы термодинамики газового потока.</b> Адиабатное течение газа без совершения внутренней работы. Уравнение неразрывности. Первый закон термодинамики в приложении к адиабатному течению газа. Понятие о скорости звука. Конфузорное и диффузорное течение дозвукового и сверхзвукового потока. Истечение из суживающегося канала. Критическая скорость истечения. Сопло Лавала. Адиабатное течение с трением. Закон обращения воздействия.   |
| 13 | <b>Термодинамические основы работы компрессорных машин.</b> Классификация компрессорных машин, основные задачи термодинамического анализа их работы. Термодинамический расчет одноступенчатого поршневого компрессора. Влияние вредного пространства на его работу, действительная индикаторная диаграмма компрессора. Многоступенчатое сжатие. Изображение в $p - v$ и $T-s$ диаграммах термодинамических процессов, протекающих в компрессорах. Принцип действия лопаточных компрессоров. Адиабатический КПД компрессора. Диссипация энергии в лопаточных компрессорах. Расчет потерь эксергии и эксергетический КПД компрессора.  |
| 14 | <b>Циклы тепловых двигателей и энергоустановок с газообразным рабочим телом.</b> Принцип действия поршневых ДВС. Циклы с изохорным и изобарным подводом теплоты. Цикл со смешанным подводом теплоты. Сравнительный анализ циклов ДВС. Принцип действия ГТУ. Циклы ГТУ с изохорным и изобарным подводом теплоты. Способы повышения эффективности циклов ГТУ и ГТД. Реальные циклы ГТУ с изохорным и изобарным подводом теплоты. Регенеративные циклы ГТУ, циклы со ступенчатым сжиганием топлива и промежуточным охлаждением в компрессоре. Карнотизация циклов. Действительный цикл ГТУ. Расчет потерь эксергии и эксергетический анализ цикла ГТУ с изобарным подводом теплоты. Принцип действия реактивных двигателей и их классификация. Циклы компрессорных и бескомпрессорных ВРД. Циклы РкД. Двигатели внешнего сгорания. Принцип действия и цикл двигателя Стирлинга. |
| 15 | <b>Циклы паросиловых установок.</b> Циклы Карно и Ренкина, схемы паросиловых установок, работающих по этим циклам. Анализ цикла Ренкина с учетом необратимых потерь. Способы повышения эффективности циклов паросиловых установок. Циклы с промперегревом. Регенеративные циклы. Эксергетический анализ циклов паросиловых установок. Теплофикационные циклы. Циклы ядерных энергетических установок.  |
| 16 | <b>Комбинированные циклы энергоустановок.</b> Бинарные циклы. Циклы типа Ренкин - Ренкин Циклы парогазовых установок. Цикл энергоустановок с водоаммиачным раствором в качестве рабочего тела в низкотемпературном цикле.  |
| 17 | <b>Обратные циклы. Охлаждающие и греющие машины.</b> Идеальные циклы холодильных установок, тепловых насосов и термотрансформаторов. Холодильный коэффициент, холодопроизводительность, отопительный коэффициент, коэффициент преобразования теплоты как характеристики этих циклов. Воздушные холодильные машины, их преимущества и недостатки. Паро-компрессорные холодильные машины и их термодинамический анализ. Пароэжекторные и абсорбционные холодильные машины. Термоэлектрические холодильные машины и их принцип действия. Глубокое охлаждение и получение сжиженных газов. Методы Пикте, Линде и Клода и соответствующие установки для сжижения газов. Термодинамический анализ работы тепловых насосов и термотрансформаторов.  |
|    | <b>Основы термодинамики необратимых неравновесных процессов.</b> Применение свойств аддитивности энтропии для оценки изменений энтропии в сложных процессах. Расчет изменения энтропии в закрытой и открытой системах. Возможность возникновения когерентных диссипативных структур при протекании необратимых процессов. Эволюция открытой термодинамической системы во времени, принцип минимума производства энтропии в стационарном состоянии. Общие положения. Локальные параметры состояния. Понятие потока. Уравнения баланса энергии и массы в   |

|   |
|---|
| необратимых процессах в открытых системах. Теорема о производстве энтропии в термодинамических системах. Термодинамические силы. Основы теории Онзагера. Принципы линейности и взаимности в сложных процессах. Теория термоэлектрических явлений. Принципы Циглера и Пригожина в термодинамике необратимых процессов. |
|---|

Подробное содержание дисциплины, структура учебных занятий, трудоемкость изучения дисциплины, входные и исходящие компетенции, уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенций, учебно-методическое, информационное, материально-техническое обеспечение учебного процесса изложены в рабочей программе дисциплины.