**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета_____ В.И.Ряжских

«01» сентября 2021 г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Силовые установки авиационных комплексов»

**Специальность** 24.05.07 Самолето- и вертолетостроение

**Специализация** специализация "Самолетостроение"

**Квалификация выпускника** инженер

**Нормативный период обучения** 5 лет и 6 м/ 6 лет.

**Форма обучения** очная/ очно-заочная

**Год начала подготовки** 2021

Автор программы _____/Некравцев Е.Н./

И. о. заведующего кафедрой Самолетостроения _____/Некравцев Е.Н./

Руководитель ОПОП _____/Некравцев Е.Н./

Воронеж 2021

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

Формирование целостного представления о принципах работы и конструктивных особенностях силовых установок самолетов и вертолетов.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

Выработка представления об основных типах авиационных двигателей, их составных частях и принципах работы.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Силовые установки авиационных комплексов» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Силовые установки авиационных комплексов» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2 – Способен использовать передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в разработке авиационных конструкций.

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции |
|---|---|
| ПК-2 | знать теоретические основы, назначение и основные конструктивные особенности силовых установок авиационных комплексов; |
| | уметь использовать передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в обосновании подбора и назначении силовой установки под разрабатываемый летательный аппарат; |
| | владеть методиками определения и оценки основных параметров силовой установки. |

## 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Силовые установки авиационных комплексов» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

**очная форма обучения**

| Виды учебной работы | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 7 |
| **Аудиторные занятия (всего)** | 90 | 90 |
| В том числе: | | |
| Лекции | 36 | 36 |
| Практические занятия (ПЗ) | 36 | 36 |
| Лабораторные работы (ЛР) | 18 | 18 |
| **Самостоятельная работа** | 90 | 90 |
| Виды промежуточной аттестации - зачет с оценкой | + | + |

| | | |
|---|---|---|
| Общая трудоемкость:<br>академические часы<br>зач.ед. | 180<br>5 | 180<br>5 |

**очно-заочная форма обучения**

| Виды учебной работы | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 7 |
| **Аудиторные занятия (всего)** | 42 | 42 |
| В том числе: | | |
| Лекции | 18 | 18 |
| Практические занятия (ПЗ) | 12 | 12 |
| Лабораторные работы (ЛР) | 12 | 12 |
| **Самостоятельная работа** | 138 | 138 |
| Виды промежуточной аттестации - зачет с оценкой | | |
| Общая трудоемкость:<br>академические часы<br>зач.ед. | 180<br>5 | 180<br>5 |

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

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

**очная форма обучения**

| № п/п | Наименование темы | Содержание раздела | Лекц | Прак зан. | Лаб. зан. | СРС | Всего, час |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Предварительные сведения о тепловых двигателях. | Классификация тепловых двигателей. Газовые законы. Графическое изображение процессов. Эффективный коэффициент полезного действия. Классификация двигателей внутреннего сгорания. | 4 | 2 | - | 8 | 14 |
| 2 | Поршневые двигатели внутреннего сгорания | Основные параметры и принцип работы поршневых ДВС. Поршневые ДВС с внешним и внутренним смесеобразованием. Рабочий цикл четырехтактного поршневого ДВС. Схемы газообмена двухтактных поршневых ДВС Рабочий цикл двухтактного поршневого ДВС. Теоретические термодинамические циклы поршневых ДВС. Теоретический цикл поршневых двигателей с подводом теплоты при постоянном объеме. Теоретический цикл поршневых двигателей с подводом теплоты при постоянном давлении. Теоретический цикл поршневых двигателей с подводом теплоты при постоянном объеме и постоянном давлении (смешанный цикл). Рабочие тела поршневых ДВС и их свойства. Конструкция поршневых ДВС. Основные детали и узлы поршневых ДВС. Высотные поршневые ДВС. Способы наддува поршневых ДВС. Топливная система поршневых ДВС. Система смазки поршневых ДВС. Система зажигания поршневых ДВС. Порядок | 10 | 12 | 6 | 30 | 58 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | вспышек в цилиндрах поршневых ДВС. | | | | | |
| 3 | Реактивные двигатели | Принцип создания тяги реактивного двигателя. Классификация реактивных двигателей. Области применения реактивных двигателей. Определение тяги реактивного двигателя. Основные параметры реактивного двигателя. Входные устройства реактивных двигателей. Классификация входных устройств. Параметры входных устройств. Принцип работы входных устройств. Типы входных устройств. Способы регулирования входных устройств. Компрессоры ГТД. Классификация компрессоров. Параметры компрессоров. Ступень осевого компрессора. Работа ступени. Многоступенчатый компрессор. Режимы работы компрессора. Помпаж компрессора. Способы регулирования осевых компрессоров. Камеры сгорания реактивных двигателей. Классификация камер сгорания. Требования к камерам. Параметры камер сгорания. Организация процесса горения в камерах сгорания. Характеристики камер сгорания. Газовые турбины ГТД. Классификация газовых турбин. Параметры газовых турбин. Ступень газовой турбины. Работа ступени газовой турбины. Выходные устройства реактивных двигателей. Классификация выходных устройств. Параметры выходных устройств. Сопло Лаваля. Реверс тяги авиационного двигателя. Особенности конструкции и функционирования ГТД с форсажной камерой. Особенности конструкции и функционирования ТРДД и ТВД. | 22 | 22 | 12 | 52 | 108 |
| **Итого** | | | **36** | **36** | **18** | **90** | **180** |

## очно-заочная форма обучения

| № п/п | Наименование темы | Содержание раздела | Лекц | Прак зан. | Лаб. зан. | СРС | Всего, час |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Предварительные сведения о тепловых двигателях. | Классификация тепловых двигателей. Газовые законы. Графическое изображение процессов. Эффективный коэффициент полезного действия. Классификация двигателей внутреннего сгорания. | 2 | - | - | 12 | 14 |
| 2 | Поршневые двигатели внутреннего сгорания | Основные параметры и принцип работы поршневых ДВС. Поршневые ДВС с внешним и внутренним смесеобразованием. Рабочий цикл четырехтактного поршневого ДВС. Схемы газообмена двухтактных поршневых ДВС Рабочий цикл двухтактного поршневого ДВС. Теоретические термодинамические циклы поршневых ДВС. Теоретический цикл поршневых двигателей с подводом теплоты при постоянном объеме. Теоретический цикл поршневых двигателей с подводом теплоты при постоянном давлении. Теоретический цикл поршневых двигателей с подводом теплоты при постоянном объеме и постоянном давлении (смешанный цикл). Рабочие тела поршневых ДВС и их свойства. Конструкция поршне- | 5 | 4 | 4 | 44 | 57 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | вых ДВС. Основные детали и узлы поршневых ДВС. Высотные поршневые ДВС. Способы наддува поршневых ДВС. Топливная система поршневых ДВС. Система смазки поршневых ДВС. Система зажигания поршневых ДВС. Порядок вспышек в цилиндрах поршневых ДВС. | | | | | |
| 3 | Реактивные двигатели | Принцип создания тяги реактивного двигателя. Классификация реактивных двигателей. Области применения реактивных двигателей. Определение тяги реактивного двигателя. Основные параметры реактивного двигателя. Входные устройства реактивных двигателей. Классификация входных устройств. Параметры входных устройств. Принцип работы входных устройств. Типы входных устройств. Способы регулирования входных устройств. Компрессоры ГТД. Классификация компрессоров. Параметры компрессоров. Ступень осевого компрессора. Работа ступени. Многоступенчатый компрессор. Режимы работы компрессора. Помпаж компрессора. Способы регулирования осевых компрессоров. Камеры сгорания реактивных двигателей. Классификация камер сгорания. Требования к камерам. Параметры камер сгорания. Организация процесса горения в камерах сгорания. Характеристики камер сгорания. Газовые турбины ГТД. Классификация газовых турбин. Параметры газовых турбин. Ступень газовой турбины. Работа ступени газовой турбины. Выходные устройства реактивных двигателей. Классификация выходных устройств. Параметры выходных устройств. Сопло Лаваля. Реверс тяги авиационного двигателя. Особенности конструкции и функционирования ГТД с форсажной камерой. Особенности конструкции и функционирования ТРДД и ТВД. | 11 | 8 | 8 | 82 | 109 |
| **Итого** | | | **18** | **12** | **12** | **138** | **180** |

## 5.2 Перечень лабораторных работ

**очная форма обучения**

1. Авиационные поршневые двигатели внутреннего сгорания.
2. Определение фаз газораспределения двухтактного авиамодельного двигателя.
3. Реактивные авиационные двигатели. Устройство и принцип работы воздухозаборника реактивного двигателя.
4. Устройство и принцип работы компрессора ГТД.
5. Устройство и принцип работы камеры сгорания и выходного устройства реактивного двигателя.
6. Устройство и принцип работы газовой турбины ГТД.

**заочная форма обучения**

1. Авиационные поршневые двигатели внутреннего сгорания. Определение фаз газораспределения двухтактного авиамодельного двигателя.
2. Реактивные авиационные двигатели. Устройство и принцип работы возду-

хозаборника реактивного двигателя. Устройство и принцип работы компрессора ГТД.

3. Устройство и принцип работы камеры сгорания и выходного устройства реактивного двигателя. Устройство и принцип работы газовой турбины ГТД.

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

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

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

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

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

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

«аттестован»;

«не аттестован».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции | Критерии оценивания | Аттестован | Не аттестован |
|---|---|---|---|---|
| ПК-2 | знать теоретические основы, назначение и основные конструктивные особенности силовых установок авиационных комплексов; | Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | уметь использовать передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в обосновании подбора и назначении силовой установки под разрабатываемый летательный аппарат; | Решение стандартных практических задач, выполнение лабораторных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| | владеть методиками определения и оценки основных параметров силовой установки. | Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по оформлению и защите лабораторных работ | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

#### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Промежуточный контроль знаний проводится в 7 семестре для очной и очно – заочной форм обучения в виде зачета с оценкой по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;
«удовлетворительно»;
«неудовлетворительно».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции | Критерии оценивания | Отлично | Хорошо | Удовл. | Неудовл. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ПК-2 | знать теоретические основы, назначение и основные конструктивные особенности силовых установок авиационных комплексов; | Тест | Выполнение теста на 90-100% | Выполнение теста на 80-90% | Выполнение теста на 70- 80% | В тесте менее 70% правильных ответов |
| | уметь использовать передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в обосновании подбора и назначении силовой установки под разрабатываемый летательный аппарат; | Решение стандартных практических задач | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |
| | владеть методиками определения и оценки основных параметров силовой установки. | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены |

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

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Установить соответствие определений видам авиационных двигателей:

А) двигатели, в которых для сжатия воздуха, поступающего в камеру сгорания, служит компрессор с приводом от газовой турбины;

Б) двигатели, не требующие для образования реактивной тяги атмосферного воздуха;

В) двигатели, в которых в качестве горючего используются специальные пороха и другие твердые вещества, содержащие в своем составе окисляющие компоненты и целиком размещающиеся в камере сгорания;

Г) двигатели, в которых воздух из входного устройства подается непосредственно в камеру сгорания.

| | Виды авиационных двигателей | Определение |
|---|---|---|
| 1 | Прямоточные воздушно-реактивные | Г |
| 2 | Газо-турбинные | А |
| 3 | Ракетные реактивные | Б |
| 4 | Ракетные двигатели твердого топлива | В |

2. На эффективность силовой установки не влияет:

А) удельная тяга;

Б) удельная масса;

В) удельный расход топлива;

Г) удельный вес топлива.

3. МГР предназначен для:
1. для преобразования возвратно-поступательного движения колен вала и вращательного движения колен вала в возвратно-поступательное движение поршней;
2. для преобразования им. энергии топлива в тепловую энергию с последующим преобразованием в механическую энергию;
3. для своевременного открытия и закрытия клапанов впуска и выпуска в соответствии с диаграммой фаз газораспределения и порядком работы цикла цилиндров.

4. Богатая смесь это когда:
1. $\alpha<1$;
2. $\alpha>1$;
3. $\alpha=1$.

5. Коэффициент избытка воздуха это:
1. отношение действительного количества воздуха к теоретическому количеству воздуха;
2. разность количества топлива к количеству воздуха;
3. количеству воздуха в кс;
4. количество топлива в кс.

5. В треугольнике скоростей $\omega$ это:
1. окружная скорость;
2. осевая скорость;
3. относительная скорость;
4. скорость полета.

6. Сверхзвуковое входное устройство может работать на:
1. $M<1$;
2. $M>1$;
3. $M=1$;
4. всех режимах.

7. Что означает показатель $\pi_T$ в турбине
1. разность давления в турбине
2. степень понижения давления в турбине
3. перепад давления в турбине
4. степень повышения давления в турбине

8. При увеличении скорости истечения газа давление и температура:
1. давление и температура увеличивается;
2. давление и температура уменьшается;
3. давление увеличивается, а температура уменьшается;
4. давление уменьшается, а температура увеличивается.

9. Что такое термический КПД:
1. термическим КПД называют отношение тепла, преобразованное в полезную работу идеального цикла, к теплу, подведенному извне в данном цикле;
2. термически коэффициент перепада давления;
3. коэффициент полезного действия двигателя;
4. степень механической работы.

10. Что означает показатель $\pi_K$ в компрессоре:
1. степень понижения давления в компрессоре;

2. разность давления в компрессоре;
3. перепад давления в компрессоре;
4. степень повышения давления в компрессоре.

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Рассчитать значения внутреннего КПД теоретического цикла газотурбинной установки с изобарным подводом тепла (без регенерации) с целью оценки влияния температуры газов перед турбиной на внутренний КПД ГТУ, для двух случаев:
1) при температуре газов перед турбиной t3=600°С;
2) при температуре газов перед турбиной t3=800°С;
остальные параметры принять следующие: начальная температура рабочего тела t1=20°С степень повышения давления β=7 внутренний КПД компрессора и турбины ηт= ηк=0,85. Принять показатель адиабаты равным к=1,4. Теплоемкость считать постоянной.

2. Для цикла, состоящего из процессов
1-2 при T=const (изотерма);
2-3 при V=const (изохора);
3-4 при T=const (изотерма);
4-1 при V=const (изохора), требуется:
1. Рассчитать давление, удельный объем, температуру для основных точек цикла.
2. Для каждого из процессов определить значения показателей политропы, теплоемкости, вычислить изменение внутренней энергии, энтальпии, теплоту и работу процесса.
3. Определить суммарные количества подведенной и отведенной теплоты, работу цикла и термической КПД.
4. Построить цикл PV и TS на диаграммах состояния.
Принять газовую постоянную воздуха R=287 Дж/(кг•К); p1=0,3 МПа, T1=300 К, p2=0,8 МПа, T3=473 К

3. По заданным исходным параметрам рабочего тела (смеси идеальных газов) для заданного прямого цикла определить:
1 Газовую постоянную, молекулярную массу и теплоемкость рабочего тела.
2 Параметры и функции состояния (p,V,T,h,u,s) в характерных точках цикла. Энтропию определить относительно состояния при нормальных физических условиях (T0=273 К, p0=0,101 МПа).
3 Работу, количество подведенной и отведенной теплоты, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии на 1 кг рабочего тела в каждом процессе.
4 Работу цикла, количество подведенной и отведенной теплоты на 1 кг рабочего тела в цикле, термический к.п.д. цикла.
5 К.п.д. цикла Карно, имеющего одинаковые с расчетным циклом максимальные и минимальные значения температуры.
Построить цикл в p-V и T- s координатах. Для построения кривых каждый процесс должен быть построен по двум промежуточным точкам. Расчеты свести в таблицу. Теплоемкость считать постоянной.
Исходные данные: Состав смеси идеальных газов: MCO2=0,054 кмоль; $M_{N2}$=0,25 кмоль; $M_{H2O}$=0,013 кмоль;
p1=0,1 МПа; t1=-50°С; p2=0,5 МПа; n=1,2; ρ=v3/v2=2.

Схема цикла

4. По заданным исходным параметрам рабочего тела (смеси идеальных газов) для заданного прямого цикла определить:

1 Газовую постоянную, молекулярную массу и теплоемкость рабочего тела.
2 Параметры и функции состояния (p,V,T,h,u,s) в характерных точках цикла. Энтропию определить относительно состояния при нормальных физических условиях (T0=273 К, p0=0,101 МПа).
3 Работу, количество подведенной и отведенной теплоты, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии на 1 кг рабочего тела в каждом процессе.
4 Работу цикла, количество подведенной и отведенной теплоты на 1 кг рабочего тела в цикле, термический к.п.д. цикла.
5 К.п.д. цикла Карно, имеющего одинаковые с расчетным циклом максимальные и минимальные значения температуры.
Построить цикл в p-V и T- s координатах. Для построения кривых каждый процесс должен быть построен по двум промежуточным точкам. Расчеты свести в таблицу. Теплоемкость считать постоянной.

**Исходные данные:**

Состав смеси идеальных газов: $G_{CO2}$=3, 94кг; $G_{N2}$=18, 75кг; $G_{H2O}$=0, 805 кг; p1=0,1 МПа; t1=27°C; p2=0,8 МПа; $q_{23}$=620 кДж/кг.

Схема цикла

5. По заданным исходным параметрам рабочего тела (смеси идеальных газов) для заданного прямого цикла определить:
1 Газовую постоянную, молекулярную массу и теплоемкость рабочего тела.
2 Параметры и функции состояния (p,V,T,h,u,s) в характерных точках цикла. Энтропию определить относительно состояния при нормальных физических условиях (T0=273 К, p0=0,101 МПа).
3 Работу, количество подведенной и отведенной теплоты, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии на 1 кг рабочего тела в каждом процессе.
4 Работу цикла, количество подведенной и отведенной теплоты на 1 кг рабочего тела в цикле, термический к.п.д. цикла.
5 К.п.д. цикла Карно, имеющего одинаковые с расчетным циклом максимальные и минимальные значения температуры.
Построить цикл в p-V и T- s координатах. Для построения кривых каждый процесс должен быть построен по двум промежуточным точкам. Расчеты свести в таблицу. Теплоемкость считать постоянной.

**Исходные данные:**

Состав смеси идеальных газов: $V_{CO2}$=1, 2м3; $V_{N2}$=7,0 м3; $V_{H2O}$=0, 3м3; p1=3,0 МПа; t1=400°C; p2=1,4 МПа; p3=0,6 МПа.

Схема цикла

6. Изобразить схему газотурбинной установки с изобарным подводом теплоты и ее цикл в координатах P-v и T-s. Дать краткие пояснения. Назвать основные методы повышения термического КПД газотурбинной установки.
Определить:
1) Параметры точек идеального цикла ГТУ, термический кпд, мощность турбины и компрессора;
2) Параметры всех точек действительного цикла ГТУ, приняв внутренние кпд турбины и компрессора соответственно: $\eta_{oi т}$= 0,87; $\eta_{oi к}$=0,85. Начальные параметры воздуха, поступающего в компрессор ГТУ, работающего при p=const, составляют: p1=0,1 МПа; t1=20°C. Степень повышения давления в компрессоре ГТУ – β=6, температура газов перед соплами турбины – t3=700°C. Рабочее тело обладает свойствами воздуха, теплоемкость рассчитывать по молекулярно-кинетической теории. Расход воздуха G=2•105 кг/ч.

7. Рассчитать теоретический цикл двигателя внутреннего сгорания, если известны:
начальное давление рабочего тела p1=0,8 бар;
температура рабочего тела t1=-10°C;
степень сжатия ε=υ1/υ2=6,9;
степень предварительного расширения ρ= υ 3/υ 2=1,9;
показатель политропы сжатия n1=1,4;
показатель политропы расширения n2=1,36;
тип цикла p=const.
Определить параметры рабочего тела, внутреннюю энергию и энтальпию в характерных точках, теплоемкость, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии, теплоту и работу для каждого процесса входящего в цикл, подведенную и отведенную теплоту. Работу и термический кпд цикла. Построить цикл в p-V и T-S диаграммах. При решении задачи качестве рабочего тела взять воздух. Теплоемкость воздуха принять не зависящей от температуры. Расчет проводить для одного кг рабочего тела.

8. Рассчитать значения внутреннего КПД теоретического цикла газотурбинной установки с изобарным подводом тепла (без регенерации) с целью оценки влияния температуры газов перед турбиной на внутренний КПД ГТУ , для двух случаев:
1) при температуре газов перед турбиной t3=600°C;
2) при температуре газов перед турбиной t3=800°C;
Остальные параметры принять следующие:
начальная температура рабочего тела t1=20°C, степень повышения давления β=7 внутренний КПД компрессора и турбины $\eta_т$= $\eta_к$=0,85. Принять показатель адиабаты равным- к=1,4. Теплоемкость считать постоянной.

9. Рассчитать теоретический цикл двигателя внутреннего сгорания для привода компрессора из задачи 2, если известны: степень сжатия ε=10; максимальная температура цикла

t3=1000°C; механический к.п.д. привода ηм=0,82. Определить: параметры рабочего тела в характерных точках цикла; подведенную и отведенную теплоту; работу и термический к.п.д.; мощность двигателя и массовый расход рабочего тела. Построить цикл на рабочей диаграмме. Двигатель работает по циклу Отто. При решении задачи в качестве рабочего тела взять воздух, начальное состояние соответствует нормальным условиям. Теплоемкость воздуха принять независящей от температуры. Расчет цикла произвести на 1 кг рабочего тела. Процессы сжатия 1-2 и расширения 3-4 считать адиабатными. Мощность привода определить с учетом механического к.п.д.

10. ЭХС топлива определяется соотношением: C = 0,870, H = 0,126, O = 0,004. Определить тип топлива. Какое количество воздуха потребуется для полного сгорания 1 кг этого топлива?

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. $G_B$ Дс Внутр См равен 500 кг/ч. При каком α работает двигатель, если $G_T$ = 20 кг/ч?

2. За 1 ч работы Дс Внутр См израсходовал 10 кг топлива. Каков его $G_B$, если известно, что двигатель работает при α = 1,5?

3. Режим работы Дс Внеш См характеризуется параметрами: α = 1,15, ge = 305 г/(кВт·ч). Как изменится $G_T$, если α увеличить до 1,4?

4. ВосьмицилиндровыйДсВнутрСмработаетпонагрузочнойхарактеристикеприn = 2600 мин$^{-1}$. На номинальном режиме Ne = 150 кВт, ηe = 0,4, α = 1,7. Как изменится α, если $g_ц$ уменьшится на $2{,}55\cdot10^{-5}$кг/цикл при неизменной n?

5. При испытаниях безнаддувного Дс Внутр См определили, что 20 г топлива двигатель израсходовал за 10 с, а 1 м$^3$ воздуха – за 24 с. Определить α.

6. Определить величину коэффициента выделения теплоты, а также потери теплоты из-за неполноты сгорания топлива в Дс Внеш Смпри α = 0,85.

7. Чему равна теплотворность горючей смесив Дс Внеш См, если он работает при α = 0,95? При сжигании в цилиндре Дс Внеш См 1 кг бензина теряется 5,5 МДж теплоты. При каком α работает двигатель?

8. Определить значения полной удельной использованной теплоты сгорания в Дс Внутр См, если известно, что коэффициент эффективности процесса сгорания равен 0,87, α = 1,6 иγ = 0,03. Какова величина Qz? Как изменится процесс сгорания, если α увеличить в 1,2 раза?

9. Определить численное значение полной удельной использованной теплоты сгорания в Дс Внеш См, если известно, что коэффициенты использования теплоты ψ, избыткавоздухаαи остаточных газов γ равны соответственно 0,95, 0,85 и 0,05. Какова величина Qz? Как изменится процесс сгорания, еслиαувеличитьдо 1,0?

10. Дс Внутр См мощностью 120 кВт имеет ηe = 0,35. Какое количество топлива двигатель расходует за 1 ч своей работы?

11. Определить подведенную и отведенную теплоту, работу цикла при изобарном подводе теплоты, если начальные параметры рабочего тела: p1=0,15 МПа; t1=18°C; конечное давление p2=2,8 МПа; степень предварительного расширения ρ=υ3/υ2=1,4. Рабочее тело- 1 кг сухого воздуха, теплоемкость принять постоянной. Определить параметры воздуха в характерных точках цикла, сравнить КПД цикла с КПД цикла Карно, который производится в том же интервале температур. Изобразить цикл в P-v и T-s диаграммах.

### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Классификация тепловых двигателей.
2. Газовые законы.
3. Графическое изображение процессов.
4. Эффективный коэффициент полезного действия.
5. Классификация двигателей внутреннего сгорания.
6. Основные параметры и принцип работы поршневых ДВС.
7. Поршневые ДВС с внешним и внутренним смесеобразованием.
8. Рабочий цикл четырехтактного поршневого ДВС.
9. Схемы газообмена двухтактных поршневых ДВС.
10. Рабочий цикл двухтактного поршневого ДВС.
11. Теоретические термодинамические циклы поршневых ДВС.

12. Теоретический цикл поршневых двигателей с подводом теплоты при постоянном объеме. Теоретический цикл поршневых двигателей с подводом теплоты при постоянном давлении.
13. Теоретический цикл поршневых двигателей с подводом теплоты при постоянном объеме и постоянном давлении (смешанный цикл).
14. Рабочие тела поршневых ДВС и их свойства.
15. Конструкция поршневых ДВС.
16. Основные детали и узлы поршневых ДВС.
17. Высотные поршневые ДВС.
18. Способы наддува поршневых ДВС.
19. Топливная система поршневых ДВС.
20. Система смазки поршневых ДВС.
21. Система зажигания поршневых ДВС.
22. Порядок вспышек в цилиндрах поршневых ДВС.
23. Принцип создания тяги реактивного двигателя.
24. Классификация реактивных двигателей.
25. Области применения реактивных двигателей.
26. Определение тяги реактивного двигателя.
27. Основные параметры реактивного двигателя.
28. Входные устройства реактивных двигателей.
29. Классификация входных устройств.
30. Параметры входных устройств.
31. Принцип работы входных устройств.
32. Типы входных устройств.
33. Способы регулирования входных устройств.
34. Компрессоры ГТД.
35. Классификация компрессоров.
36. Параметры компрессоров.
37. Ступень осевого компрессора.
38. Работа ступени.
39. Многоступенчатый компрессор.
40. Режимы работы компрессора.
41. Помпаж компрессора.
42. Способы регулирования осевых компрессоров.
43. Камеры сгорания реактивных двигателей.
44. Классификация камер сгорания.
45. Требования к камерам сгорания.
46. Параметры камер сгорания.
47. Организация процесса горения в камерах сгорания.
48. Характеристики камер сгорания.
49. Газовые турбины ГТД.
50. Классификация газовых турбин.
51. Параметры газовых турбин.
52. Ступень газовой турбины.
53. Работа ступени газовой турбины.
54. Выходные устройства реактивных двигателей.
55. Классификация выходных устройств.
56. Параметры выходных устройств.
57. Сопло Лаваля.
58. Реверс тяги авиационного двигателя.
59. Особенности конструкции и функционирования ГТД с форсажной камерой.

60. Особенности конструкции и функционирования ТРДД и ТВД.

**7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену**

Не предусмотрено учебным планом

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

Зачет проводится по билетам, каждый из которых содержит 2 вопроса и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в билете оценивается 5 баллами, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

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

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

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

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

**7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Код контролируемой компетенции | Наименование оценочного средства |
|---|---|---|---|
| 1 | Предварительные сведения о тепловых двигателях. | ПК-2 | Тест, решение стандартных и прикладных задач, защита лабораторных работ, сдача зачета. |
| 2 | Поршневые двигатели внутреннего сгорания | ПК-2 | Тест, решение стандартных и прикладных задач, защита лабораторных работ, сдача зачета. |
| 3 | Реактивные двигатели | ПК-2 | Тест, решение стандартных и прикладных задач, защита лабораторных работ, сдача зачета. |

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

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

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

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

## 8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

## 8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

**8.1.1 Будник А.П.** Конструкция среднемагистрального самолета: Учеб. пособие. - Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2008. - 155 с. - 57-00.

8.1.2 **Захаров А. С.** Авиационное гидравлическое оборудование [Электронный ресурс]: Учебное пособие / А. С. Захаров, В. И. Сабельников. - Авиационное гидравлическое оборудование; 2025-02-05. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2017. - 406 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 05.02.2025 (автопролонгация). - ISBN 978-5-7782-3333-1. URL: http://www.iprbookshop.ru/91257.html.

8.1.3 **Дьяченко Ю. В.** Особенности работы авиационных систем кондиционирования на влажном воздухе [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Ю. В. Дьяченко, А. В. Чичиндаев. - Особенности работы авиационных систем кондиционирования на влажном воздухе; 2025-02-05. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2017. - 87 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 05.02.2025 (автопролонгация). - ISBN 978-5-7782-3172-6. URL: http://www.iprbookshop.ru/91301.html.

8.1.4 **Обуховский А. Д.** Теория авиационных двигателей: учебное пособие / А.Д. Обуховский; Ю.В. Телкова. - Новосибирск: НГТУ, 2012. - 138 с. - ISBN 978-5-7782-2030-0. URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228770.

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

- сеть Wi-Fi.;
- плакаты http://window.edu.ru/ - Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам";
- https://www.rsl.ru/ – Российская государственная библиотека;
- https://elibrary.ru/ - Электронная библиотека;
- http://www.avia.ru - Информационный портал о гражданской авиации ;
- http://www.favt.ru - Официальный сайт «Росавиации»;
- электронная информационно-образовательная среда ВГТУ.

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

13/6- Аудитория обработки резанием Специализированное помещение для проведения занятий, оснащенное доской, учебными столами (партами), стульями, стендами, макетами, плакатами , оборудованием для демонстрации наглядного материала. В учебной аудитории находится оборудование, стенды и наглядные пособия:

| Наименование | Кол-во | Инв. номер | Наименование | Кол-во | Инв. номер | Наименование | Кол-во | Инв. номер |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Интерактивный комплекс | 1 | 411396 | Макет винт механизм | 1 | 59522 | 18. Стенд фрезы | 1 | 59529 |
| 2. Компьютер | 1 | 9298 | Стенд прис. ток. обр. | 1 | 59523 | Стенд дет. приспос. | 1 | 59531 |
| Стенд | 15 | --- | Стенд протяжки | 1 | 59524 | Стенд фрезы | 1 | 59532 |
| Макет двигатель | 1 | 59539 | Стенд заж.устр. | 1 | 59527 | 21. Сплит система | 1 | 59411 |
| Макет ре- | 1 | 59520 | Стенд заж. | 1 | 59528 | Стенд инстр. | 1 | 59535 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| дуктор | | | устр. | | | об. отв. | | |
| Макет винт. механизм | 1 | 59521 | Стенд зуб. инстр. | 1 | 59528 | 23. Шкаф книжный | 1 | --- |
| 7. Парта | 18 | --- | 16. Стол преподавателя | 1 | --- | Стенд инстр. обр. отв. | 1 | 59536 |
| Макет ножной пост | 1 | 59522 | Стенд резцы | 1 | 59530 | Стенд инстр. обр. рез. | 1 | 59533 |
| Стенд инстр. обр. рез. | 1 | 59534 | | | | | | |

14/6 - Аудитория сборочно-монтажных работ Специализированное помещение для проведения занятий, оснащенное доской, учебными столами (партами), стульями, стендами, макетами, плакатами, оборудованием для демонстрации наглядного материала. В учебной аудитории находится оборудование, стенды и наглядные пособия:

| Наименование | Кол-во | Инв. номер | Наименование | Кол-во | Инв. номер | Наименование | Кол-во | Инв. номер |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Мульт. проектор | 1 | 41871 | 10. Макет крыло | 1 | 595384 | 18. Стенд соединения | 1 | 59544 |
| 2. Компьютер | 1 | 9297 | 11. Макет крыло | 1 | 59538 | 19. Стенд трубопровод | 1 | 59545 |
| 3. Экран | 1 | 47473 | 12. Макет двигатель | 1 | 59519 | 20. Стенд тех.проц.изг. | 1 | 59546 |
| 4. Образец из композита | 1 | 59535 | 13. Макет форм. блока | 1 | 59540 | 21. Сплит система | 1 | --- |
| 5. Макет законц. крыла | 1 | 59536 | 14. Стенд баз. деталей | 1 | 59542 | 22. Доска | 1 | --- |
| 6. Макет гор. оперение | 1 | 59537 | 15. Стенд органопласты | 1 | 5954 | 23. Шкаф | 1 | --- |
| 7. Парта | 21 | --- | 16. Стол преподавателя | 1 | --- | 24. Стул | 1 | --- |
| 8. Стенд свар соедин. | 1 | 59548 | 17. Стенд заклёп. оед. | 1 | 59549 | 25. Стенд электро- прдки | 1 | 59550 |
| 9. Макет обт. воздух. | 1 | 59551 | | | | | | |

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

По дисциплине «Силовые установки авиационных комплексов» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

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

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета параметров поршневых и газотурбинных двигателей. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

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

| Вид учебных занятий | Деятельность студента |
|---|---|
| Лекция | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удается разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии. |
| Практическое занятие | Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму. |
| Лабораторная работа | Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомится с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания. |
| Самостоятельная работа | Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:<br>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;<br>- выполнение домашних заданий и расчетов;<br>- работа над темами для самостоятельного изучения;<br>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;<br>- подготовка к промежуточной аттестации. |
| Подготовка к промежуточной аттестации | Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала. |

## 11 Лист регистрации изменений

| № п/п | Перечень вносимых изменений | Дата внесения изменений | Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |