



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ ИМЕНИ  
ГЛАВНОГО МАРШАЛА АВИАЦИИ А.А. НОВИКОВА»**

**УТВЕРЖДАЮ**



**Ректор**

/ Ю.Ю. Михальчевский

« 30 » 05 2023 года

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Теория авиационных двигателей**

Специальность

**25.05.05 Эксплуатация воздушных судов и организация  
воздушного движения**

Специализация

**«Организация технического обслуживания и ремонта воздушных судов»**

Квалификация выпускника  
**инженер**

Форма обучения  
**очная**

Санкт-Петербург  
2023

## **1 Цели освоения дисциплины**

Целями освоения дисциплины «Теория авиационных двигателей» являются формирование знаний, умений, навыков и компетенций в том числе на основе: способности к восприятию, анализу, сущности процессов, протекающих в механизмах, агрегатах, системах и конструктивных элементах авиационных двигателей для осуществления контроля и анализа их состояния, прогнозирования и организации выполнения комплекса работ по их восстановлению для успешной профессиональной деятельности выпускников для подготовки специалистов по специализации «Организация технического обслуживания и ремонта воздушных судов».

Задачами освоения дисциплины являются:

- овладение технологиями развития способности к восприятию, анализа, критическому осмыслению, систематизации, полученной из разных источников, прогнозированию, постановке целей и выбору путей их достижения, касающихся: назначения, устройства, принципы работы элементов (узлов) авиационных двигателей, организации в них рабочего процесса;

- овладение методами осуществления термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях;

- овладение технологическими приобретениями новых знаний, использовать различные формы обучения, информационно образовательные технологии для объяснения назначения, устройства, принципа работы элементов(узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса;

- овладение методиками и принципами использования основных законов профильных задач с учетом знаний устройства, принципа работы элементов (узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса;

- овладение навыками расчета термодинамических параметров, протекающих в авиационных двигателях.

- овладение методами и принципами организации, обеспечения и осуществления технического обслуживания и ремонта воздушных судов (планера и силовых установок) с учетом знаний устройства, принципа работы узлов авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса.

Дисциплина обеспечивает подготовку обучающегося к решению задач профессиональной деятельности эксплуатационно-технологического типа.

## **2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО**

Дисциплина «Теория авиационных двигателей» представляет собой дисциплину части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 Дисциплины (модули).

Данная дисциплина базируется на результатах обучения, полученных при изучении дисциплин: «Основы авиации», «Основы технологии ремонта»,

«Аэродинамика и динамика полета», «Системы воздушных судов и авиационных двигателей», «Гидравлика», «Компоненты жидкостных систем воздушных судов»

Дисциплина «Теория авиационных двигателей» является обеспечивающей для дисциплин: «Теория технической эксплуатации авиационной техники», «Конструкция и прочность воздушных судов», «Конструкция и прочность авиационных двигателей».

Дисциплина изучается в 5 и 6 семестрах.

### **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

Процесс освоения дисциплины «Теория авиационных двигателей» направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции/ индикатора	Результат обучения: наименование компетенции, индикатора компетенции
ПК-6	Способен понимать сущность процессов, протекающих в механизмах, агрегатах, системах и конструктивных элементах воздушных судов для осуществления контроля и анализа их состояния, прогнозировать и организовывать выполнение комплекса работ по их восстановлению
ИД <sup>1</sup> <sub>ПК6</sub>	Знает современные тенденции развития материалов, технологии их производства с учетом уровня развития авиационной техники
ИД <sup>2</sup> <sub>ПК6</sub>	Анализирует процессы, протекающие в механизмах, агрегатах, системах и конструктивных элементах воздушных судов и авиационных двигателей, систем и конструктивных элементов воздушных судов и авиационных двигателей

Планируемые результаты изучения дисциплины:

Знать:

- классификацию авиационных двигателей, особенности их работы, области их применения;
- основные параметры авиационных двигателей, требования, предъявляемые к современным ГТД;
- назначение, основные параметры, конструктивное выполнение, принципы работы конструктивных элементов и организацию в них рабочего процесса;
- основные эксплуатационные ограничения силовых установок;

- влияние атмосферных условий и условий эксплуатации на характеристики конструктивных элементов авиационных двигателей и авиационных двигателей в целом.

Уметь:

- анализировать расчеты параметров в конструктивных элементах авиационных двигателей в процессе эксплуатации для осуществления контроля и анализа их состояния;
- производить расчет параметров термодинамических процессов при решении профессиональных задач;
- оценивать влияние атмосферных условий на характеристики авиационных двигателей, для осуществления контроля и анализа их состояния.

Владеть:

- навыками расчета параметров термодинамических процессов, протекающих в конструктивных элементах авиационных двигателей;
- методами оценивания термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях.

#### 4 Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 академических часов.

Наименование	Всего часов	Семестры	
		5	6
Общая трудоемкость дисциплины	288	108	180
Контактная работа	163	70,5	92,5
лекции	64	28	36
практические занятия	92	38	54
семинары	-	-	-
лабораторные работы	-	-	-
курсовой проект	4	4	
Самостоятельная работа студента	74	20	54
Промежуточная аттестация	54	18	36
контактная работа	3	0,5	2,5
самостоятельная работа по подготовке к зачету с оценкой, экзамену	51	17,5	33,5

#### 5 Содержание дисциплины

##### 5.1 Соотнесения тем (разделов) дисциплины и формируемых компетенций

Темы, разделы дисциплины	КОЛИЧЕСТВО ЧАСОВ	КОМПЕТЕНЦИИ	Образовательные технологии	Оценочные средства
		ПК-6		
Раздел 1 Организация рабочего процесса в элементах ВРД				
Тема 1.1 Принцип работы и основные параметры ГТД	14	+	ВК, Л, ИЛ, ПЗ, СРС, РКС	ТО, ИДЗ, РЗ, СЗ
Тема 1.2 Организация рабочего процесса во входных устройствах ГТД	10	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС, КУП	ИДЗ, ТО, РЗ, СЗ
Тема 1.3 Организация рабочего процесса в компрессорах ГТД	32	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС, РКС	ТО, ИДЗ, РЗ, СЗ
Тема 1.4 Организация рабочего процесса в камерах сгорания ГТД.	12	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС, РКС	ТО, ИДЗ, РЗ, СЗ
Тема 1.5 Организация рабочего процесса в газовых турбинах ГТД	12	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС, РКС	ТО, ИДЗ, РЗ, СЗ
Тема 1.6 Организация рабочего процесса в выходных устройствах ГТД	10	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС, РКС	ТО, ИДЗ, РЗ, СЗ, КР, ЗКУП
Итого за семестр 5	90			
Промежуточная аттестация	18			
Всего за семестр 5	108			
Раздел 2 Организация рабочего процесса в элементах ВРД				
Тема 2.1 Рабочий процесс и характеристики одновальных ГТД	32	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС, РКС	ТО, ИДЗ, РЗ, СЗ

Темы, разделы дисциплины	КОЛИЧЕСТВО ЧАСОВ	КОМПЕТЕНЦИИ	Образовательные технологии	Оценочные средства
		ПК-6		
Тема 2.2 Рабочий процесс и характеристики ТРДД	24	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС, РКС	ТО, ИДЗ, РЗ, СЗ
Тема 2.3 Рабочий процесс и характеристики турбовальных ГТД (ТВаД)	24	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС, РКС	ТО, ИДЗ, РЗ, СЗ
Тема 2.4 Рабочий процесс и характеристики турбовинтовых двигателей (ТВД)	24	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС, РКС	ТО, ИДЗ, РЗ, СЗ
Тема 2.5 Неустановившиеся режимы работы ГТД	16	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС, РКС	ТО, ИДЗ, РЗ, СЗ
Тема 2.6 Влияние условий эксплуатации на основные параметры и характеристики ГТД	16	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС, РКС	ТО, ИДЗ, РЗ, СЗ, КР
Тема 2.7 Влияние авиационных двигателей на окружающую среду.	8	+	Л, ИЛ, СРС, РКС	ИДЗ, РЗ, СЗ
Итого за семестр 6	144			
Промежуточная аттестация	36			
Всего за семестр 6	180			
Всего по дисциплине	288			

**Сокращения:** Л – лекция, ИЛ – интерактивная лекция, ПЗ – практическое занятие, ЛР – лабораторная работа, ТО – текущий опрос, ВК – входной контроль, ИДЗ – индивидуальное домашнее задание, СРС – самостоятельная работа студента, РКС – разбор конкретной ситуации, РЗ – расчетная задача, СЗ – ситуационная задача, КУП – курсовой проект, КР – контрольная работа. ЗКУП-защита курсового проекта.

## 5.2 Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

Наименование темы (раздела) дисциплины	Л	ПЗ	ЛР	СРС	КУП	Всего часов
5 семестр						
Раздел 1 Организация рабочего процесса в элементах ВРД						
Тема 1.1 Принцип работы и основные па- раметры ГТД	4	4	-	4	2	14
Тема 1.2 Организация рабочего процесса во входных устройствах ГТД	4	4	-	2	-	10
Тема 1.3 Организация рабочего процесса в компрессорах ГТД	10	14	-	8	-	32
Тема 1.4 Организация рабочего процесса в камерах сгорания ГТД.	4	6	-	2	-	12
Тема 1.5 Организация рабочего процесса в газовых турбинах ГТД	4	6	-	2	-	12
Тема 1.6 Организация рабочего процесса в выходных устройствах ГТД	2	4	-	2	2	10
Итого за семестр 5	28	38	-	20	4	90
Промежуточная аттестация						18
Всего за семестр 5						108
6 семестр						
Раздел 2 Рабочий процесс и характеристики ГТД						
Тема 2.1 Рабочий процесс и характеристики одновальных ГТД	8	12	-	12	-	32
Тема 2.2 Рабочий процесс и характери- стики ТРДД	6	10	-	8	-	24
Тема 2.3 Рабочий процесс и характери- стики турбовальных ГТД (ТВаД)	6	10	-	8	-	24
Тема 2.4 Рабочий процесс и характери- стики турбовинтовых двигателей (ТВД)	6	10	-	8	-	24
Тема 2.5 Неустановившиеся режимы работы ГТД	4	6	-	6	-	16
Тема 2.6 Влияние условий эксплуатации на основные параметры и характери- стики ГТД	4	6	-	6	-	16
Тема 2.7 Влияние авиационных двигателей на окружающую среду.	2	-	-	6	-	8
Итого за семестр 6	36	54	-	54	-	144
Промежуточная аттестация						36
Всего за семестр 6						180
Всего по дисциплине						288

Сокращения: Л – лекция, ПЗ – практическое занятие, ЛР – лабораторная работа, С – семинар, СРС – самостоятельная работа студента, КУП – курсовой проект.

## **5.3 Содержание дисциплины**

### **Раздел 1 Организация рабочего процесса в элементах ВРД**

#### **Тема 1.1 Принцип работы и основные параметры ГТД**

Краткие исторические сведения о развитии двигателей летательных аппаратов. Общие сведения о двигателях летательных аппаратов. Классификация воздушно-реактивных двигателей, принцип их работы. Области применения ГТД.

Требования, предъявляемые к современным ГТД, используемым в гражданской авиации.

Абсолютные и удельные параметры ГТД. Тяга ВРД, вывод формулы тяги. Удельные параметры для ГТД прямой и непрямой реакции. Энергетический баланс и КПД газотурбинного двигателя.

#### **Тема 1.2 Организация рабочего процесса во входных устройствах ГТД**

Назначение входных устройств ГТД. Требования, предъявляемые к входным устройствам. Параметры, характеризующие работу входных устройств. Организация рабочего процесса в дозвуковых входных устройствах. Изменение параметров воздуха во входном устройстве при его работе на земле и в полёте. Особенности организации рабочего процесса в сверхзвуковых входных устройствах (СВУ). Нерасчётные режимы работы сверхзвуковых входных устройств. Задачи и способы регулирования СВУ. Защита авиационных двигателей ГТД от попадания в них посторонних предметов.

#### **Тема 1.3 Организация рабочего процесса в компрессорах ГТД**

Назначение компрессора, типы компрессоров, требования, предъявляемые к компрессорам. Теория элементарной ступени компрессора. Схема и принцип работы ступени осевого компрессора. Изменение параметров рабочего тела в ступени осевого компрессора (ОК). Схема и принцип работы ступени осевого компрессора с входным направляющим аппаратом (ВНА). Основные параметры ступени осевого компрессора. Характеристики ступени осевого компрессора. Особенности сверхзвуковой ступени компрессора. Понятие о профилировании лопаток компрессора. Теория многоступенчатого компрессора. Многоступенчатые компрессоры, необходимость их применения. Основные параметры многоступенчатых компрессоров и их связь с параметрами ступени. Многокаскадные компрессоры. Характеристики компрессора, определение, методы получения, графическое изображение, анализ. Характеристики компрессора в параметрах подобия.

Расчётные и нерасчётные режимы работы компрессора. Неустойчивая работа осевого компрессора. Виды неустойчивой работы. Линии рабочих режимов и запас устойчивости компрессора в системе ГТД. Задачи и способы



регулирования осевых компрессоров. Влияние условий эксплуатации на характеристики и запас устойчивости компрессора. Схема и принцип работы центробежного компрессора.

#### **Тема 1.4 Организация рабочего процесса в камерах сгорания ГТД**

Камеры сгорания ГТД, их назначение, требования предъявляемые к ним. Типы камер сгорания. Параметры камеры сгорания. Основные закономерности процесса горения топлива. Организация процесса горения в основных камерах сгорания. Особенности организации процесса горения в форсажных камерах сгорания ТРДФ и ТРДДФ.

#### **Тема 1.5 Организация рабочего процесса в газовых турбинах ГТД**

Назначение, основные параметры, требования предъявляемые к газовым турбинам. Типы турбин. Схема и принцип работы ступени газовой турбины. Изменение параметров газа в ступени турбины. Необходимость применения многоступенчатых турбин. Формы проточной части турбин. Коэффициенты полезного действия турбины, их анализ. Потери в турбине. Системы и способы охлаждения лопаток газовых турбин. Эффективность различных способов воздушного охлаждения.

#### **Тема 1.6 Организация рабочего процесса в выходных устройствах ГТД**

Выходные устройства ГТД: назначение, схемы, основные параметры, характеризующие работу выходного устройства. Виды потерь в выходных устройствах. Определение скорости истечения газов из выходного устройства. Реверс тяги. Требования, предъявляемые к реверсивным устройствам. Схемы реверсивных устройств.

### **Раздел 2. Рабочий процесс и характеристики ГТД**

#### **Тема 2.1. Рабочий процесс и характеристики одновальных ГТД**

Действительный цикл ГТД. Работа цикла ГТД. Параметры рабочего процесса. Зависимость работы цикла от параметров рабочего процесса. Влияние параметров рабочего процесса на удельные параметры ГТД. Совместная работа элементов одновального газогенератора (ОК, КС, ГТ). Линия рабочих режимов. Программы и законы управления одновальным ГТД. Законы управления двухвальным газогенератором. Режимы работы ГТД. Дроссельные, высотные, скоростные характеристики ТРД.

#### **Тема 2.2. Рабочий процесс и характеристики ТРДД**

ТРДД, основные схемы и принцип работы. Основные параметры ТРДД и параметры рабочего процесса. Распределение суммарной тяги между

контурами ТРДД. Работа цикла ТРДД без смешения потоков и оптимальное распределение её между контурами. Особенности программы управления ТРДД. Особенности дроссельных, высотных, скоростных характеристик ТРДД.

### **Тема 2.3. Рабочий процесс и характеристики турбовальных ГТД (ТВаД)**

Схема, принцип работы и основные параметры турбовальных двигателей. Эксплуатационные характеристики ТВаД. Особенности законов управления и совместной работы ТВаД со свободной турбиной и несущего винта (НВ) вертолета.

### **Тема 2.4. Рабочий процесс и характеристики турбовинтовых двигателей (ТВД)**

Схема, принцип работы ТВД. Типы ТВД. Основные параметры ТВД. КПД ТВД. Оптимальное распределение энергии (работы цикла) между винтом и реакцией истекающей струи. Особенности управления и совместной работы элементов ТВД. Дроссельные, высотные, скоростные характеристики ТВД.

### **Тема 2.5. Неустановившиеся режимы работы ГТД**

Требования к динамическим характеристикам ГТД. Уравнение динамики роторов ГТД на переходных режимах. Запуск ГТД в стартовых условиях и в полете. Изменение параметров рабочего процесса при разгоне и сбросе газа.

### **Тема 2.6. Влияние условий эксплуатации на основные параметры и характеристики ГТД**

Влияние давления, температуры и влажности наружного воздуха на характеристики авиационных ГТД. Влияние эрозийного износа и загрязнения элементов проточной части ГТД в условиях эксплуатации на пыльных аэродромах. Эксплуатационные ограничения и их влияние на работу силовых установок. Приведение данных испытания ГТД к стандартным атмосферным условиям.

### **Тема 2.7 Влияние авиационных двигателей на окружающую среду**

Источники шума ГТД. Нормирование уровня шума. Методы снижения шума на местности. Эмиссия авиационных ГТД. Виды эмиссии. Методы нормирования эмиссии. Пути снижения выброса вредных веществ в окружающую среду.

## **5.4 Практические занятия**

Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий	Трудо-емкость (часы)
5 семестр		
1.1	Практическое занятие № 1,2 Анализ энергетического баланса ГТД. Выполнение ИДЗ по теме.	4
1.2	Практическое занятие № 3,4 Организация рабочего процесса в дозвуковых входных устройствах ГТД. Выполнение ИДЗ по теме. Выдача задания на КУП.	4
1.3	Практическое занятие № 5 Принцип работы осевого компрессора. Параметры осевого компрессора. Построение треугольников скоростей.	4
1.3	Практическое занятие № 6. Многоступенчатые компрессоры. Необходимость их применения. Основные параметры многоступенчатых компрессоров и их связь между параметрами Выполнение ИДЗ по теме.	4
1.3	Практическое занятие № 7. Характеристики компрессора, методы их получения, графическое изображение, анализ. Характеристики в параметрах подобия. Выполнения ИДЗ по теме.	2
1.3	Практическое занятие № 8. Расчетно-графическая работа «Расчет запаса устойчивости нерегулируемого осевого компрессора.» Выполнение ИДЗ по теме.	4
1.4	Практическое занятие № 9. Основные закономерности процесса горения в основных камерах сгорания.	4
1.4	Практическое занятие № 10. Особенности процесса горения в форсажных камерах сгорания ТРДФ и ТРДДФ Выполнение ИДЗ по теме.	2
1.5	Практическое занятие № 11. Принципы работы ступени газовой турбины. Изучение параметров рабочего тела в ступени ГТ.	4

Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий	Трудо-емкость (часы)
1.5	Практическое занятие № 12. Необходимость применения многоступенчатых турбин. Коэффициенты полезного действия турбин, их анализ. Выполнения ИДЗ по теме.	2
1.6	Практическое занятие № 13. Виды потерь в выходных устройствах ГТД. Определение скорости истечения газов из выходного устройства. Выполнение ИДЗ по теме	2
1.6	Практическое занятие № 13. Реверс тяги. Требования предъявляемые к реверсивным устройствам. Схемы реверсивных устройств. Выполнение ИДЗ по теме.	2
Итого за семестр 5		38
6 семестр		
2.1	Практическое занятие № 14. Действительный цикл ГТД. Параметры рабочего процесса, зависимость работы цикла от параметров рабочего процесса. Выполнение ИДЗ по теме.	4
2.1	Практическое занятие № 15. Влияние параметров рабочего процесса на удельные параметры ГТД.	4
2.1	Практическое занятие № 16. Совместная работа элементов одновального газогенератора. Выполнение ИДЗ по теме.	4
2.2	Практическое занятие № 17. Построение на характеристиках компрессора линий основных режимов работ. Выполнение ИДЗ по теме.	2
2.2	Практическое занятие № 18. Анализ характеристик ГТД. Выполнение ИДЗ по теме.	4
2.2	Практическое занятие № 19. ТРДД, основные схемы и принцип работы, параметры ТРДД.	4

Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий	Трудо-емкость (часы)
	Выполнение ИДЗ по теме.	
2.3	Практическое занятие № 20. Работа цикла ТРДД без смещения потоков и оптимальное распределение ее между контурами. Выполнение ИДЗ по теме.	6
2.3	Практическое занятие № 21. Влияние параметров рабочего процесса на удельные параметры ТРДД. Выполнение ИДЗ по теме.	4
2.4	Практическое занятие № 22. Особенности характеристик ТРДД, расчеты параметров ТРД на базе ТРД. Выполнение ИДЗ по теме.	6
2.4	Практическое занятие № 23. Схема, принцип работы и основные параметры турбовальных двигателей (ТВаД). Выполнение ИДЗ по теме.	4
2.5	Практическое занятие № 24. Эксплуатационные характеристики ТВаД. Выполнение ИДЗ по теме.	6
2.6	Практическое занятие № 25. Особенности законов управления и совместной работы ТВаД со свободной турбиной и несущего винта вертолета. Выполнение ИДЗ по теме. Защита КУП.	6
Итого за семестр 6		54
Итого по дисциплине		92

### 5.5 Лабораторный практикум

Лабораторный практикум учебным планом не предусмотрен.

### 5.6 Самостоятельная работа

Номер темы дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (часы)
5 семестр		
1.1	1. Изучение теоретического материала по теме:	6

Номер темы дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (часы)
	Принцип работы и основные параметры ГТД [1-23] 2. Выполнение индивидуального домашнего задания [1-23] подготовка к текущему опросу 3. Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.	
1.2	1. Изучение теоретического материала по теме: Организация рабочего процесса во входных устройствах ГТД [1-23] 2. Подготовка к подготовке к текущему опросу 3. Выполнение индивидуального домашнего задания [1-23] 4. Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач. 5. Работа над КУП.	2
1.3	1. Изучение теоретического материала по теме: Организация рабочего процесса в компрессорах ГТД [1-23] 2. Подготовка к текущему опросу 3. Выполнение индивидуального домашнего задания [1-23] 4. Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач. 5. Работа над КУП.	4
1.4	1. Изучение теоретического материала по теме: Организация рабочего процесса в камерах сгорания ГТД [1-23] 2. Выполнение индивидуального домашнего задания [1-23] Подготовка к текущему опросу 3. Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач. 4. Работа над КУП.	4
1.5	1. Изучение теоретического материала по теме: Организация рабочего процесса в газовых турбинах ГТД [1-23] 2. Подготовка к текущему опросу 3. Выполнение индивидуального домашнего задания [1-23] 4. Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.	2
1.6	1. Изучение теоретического материала по теме:	2

Номер темы дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (часы)
	<p>Организация рабочего процесса в выходных устройствах ГТД [1-23]</p> <p>2. Выполнение индивидуального домашнего задания [1-23]</p> <p>Подготовка к текущему опросу</p> <p>3. Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.</p> <p>4. Подготовка к выполнению контрольной работы.</p>	
Итого за 5 семестр		20
6 семестр		
2.1	<p>1. Изучение теоретического материала по теме: Рабочий процесс и характеристики одновальных ГТД [1-23]</p> <p>2. Подготовка к текущему опросу</p> <p>3. Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.</p>	12
2.2	<p>1. Изучение теоретического материала по теме: 2. Рабочий процесс и характеристики ТРДД [1-23]</p> <p>Подготовка к текущему опросу</p> <p>2. Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.</p>	8
2.3	<p>1. Изучение теоретического материала по теме: Рабочий процесс и характеристики турбовальных ГТД (ТВаД) [1-23]</p> <p>Подготовка к текущему опросу</p> <p>2. Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.</p>	8
2.4	<p>1. Изучение теоретического материала по теме: Рабочий процесс и характеристики турбовинтовых двигателей (ТВД) [1-23]</p> <p>Подготовка к текущему опросу</p> <p>2. Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.</p>	8
2.5	<p>1. Изучение теоретического материала по теме: Неустановившиеся режимы работы ГТД [1-23]</p> <p>Подготовка к текущему опросу</p> <p>2. Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.</p>	6
2.6	<p>1. Изучение теоретического материала по теме: Влияние условий эксплуатации на основные параметры и характеристики ГТД [1-23]</p>	6

Номер темы дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость (часы)
	2. Подготовка к текущему опросу 3. Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач. 4. Подготовка к выполнению контрольной работы.	
2.7	1. Изучение теоретического материала по теме: Влияние авиационных ГТД на окружающую среду [1-23] 2. Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.	6
Итого за семестр 6		54
Итого по дисциплине		74

### 5.7 Курсовые работы (проект)

При изучении дисциплины «Теория авиационных двигателей» выполняется курсовой проект «Термодинамический расчет авиационных ГТД»

Наименование этапа выполнения курсового проекта	Трудоемкость (часы)
Этап 1. Выдача задания на курсовой проект.	2
Этап 2. Выполнение раздела «Расчет основных параметров ГТД».	СРС
Этап 3. Выполнение графической части проекта.	
Этап 4. Оформление курсового проекта	
Защита курсового проекта	2
Итого контактная работа по курсовому проекту:	4

### 6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а). Основная литература:

1 Никифоров, А.И. **Теория авиационных двигателей. Методические указания по выполнению курсового проекта по термодинамическому расчету авиационного ГТД** [Текст]: учеб. метод. пособие для студентов ФАИТОП и ЗФ СПбГУГА/ А.И. Никифоров – СПбГУГА, 2011 – 141 с. Количество экземпляров: 480, ISBN- отсутствует.

2 Малинин Н.Н. **Прочность Турбомашин** 2-е изд., испр. и доп. Учебное пособие для бакалавриата и магистратуры. – СПб.: Юрайт. – 2018 г. – 294 с. - ISBN: 978-5-534-05333-3. Режим доступа:



<https://biblio-online.ru/viewer/prochnost-turbomashin-415959> свободный. (дата входа 25.01.2021).

б). Дополнительная литература:

3 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. Межгосударственный стандарт ГОСТ 8.417-2002. Введен 2003-09-01. – Минск.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. – 28 с., Количество экземпляров: 1, <http://docs.cntd.ru/document/1200031406>, ГОСТ в электронном виде, свободный доступ (дата входа 25.01.2021).

4 Казанджан, П.К. **Теория авиационных двигателей. Рабочий процесс и эксплуатационные характеристики газотурбинных двигателей** [Текст]: учеб. для вузов/П.К. Казанджан, В.Т. Тихонов, Н.Д. Шулекин. - М.: Транспорт, 2000. – 287с. – ISBN - 5-277-02174-4, Количество экземпляров: 15, <https://is.gd/tfpUBf>, учебник в электронном виде, свободный доступ (дата входа 25.01.2021).

5 Казанджан, П.К. **Теория авиационных двигателей. Теория лопаточных машин** [Текст]: учеб. для вузов/П.К. Казанджан, Н.Д. Тихонов. – М.: Машиностроение, 1995. – 317 с. – ISBN - 5-7883-0132-7, Количество экземпляров: 48

6 Двигатели газотурбинные авиационные. Термины и определения [Текст]: ГОСТ 23851-79.- Введ. 1980. – 07-01. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 101с. Количество экземпляров: 5, <http://internet-law.ru/gosts/gost/40186/>, ГОСТ в электронном виде, свободный доступ (дата входа 25.01.2021).

7 **Теория авиационных двигателей.** Метод. указ. по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы .Для студентов ФАИТОП очной и заочной формы обучения Специальности 25.05.05 «Эксплуатация воздушных судов и организация воздушного движения» специализации «Организация технического обслуживания и ремонта воздушных судов» / Никифоров А.И., сост. - СПб. : ГУГА, 2022. - 41с. ISBN – отсутствует. Количество экземпляров 50.

8 **Авиатранспортное обозрение** [Текст] : Air transport observer : журнал / учредитель и издатель: А.Б.Е. Медиа. - Москва : А.Б.Е. Медиа, 1996-. - 27 см.; ISSN 1991-6574 (подписка с 2008).

9 **Крылья Родины** : ежемесячный национальный авиационный журнал. - Москва: ООО "Редакция журнала "Крылья Родины", 1950-.; ISSN 0130-2701 (подписка с 2008).

10 **Авиация и космонавтика вчера, сегодня, завтра** [Текст] : научно-популярный журнал / учредитель: Бакурский Виктор Александрович, Военно-Воздушные Силы России, Лепилкин Андрей Викторович. - Москва : Техинформ, 1997-. - 29 см.; ISSN 1682-7759 (подписка с 2008).

11 **Транспорт: наука, техника, управление:** научный информационный сборник / учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджет-

ное учреждение науки Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН). - Москва : ВИНТИ, 1990-. - 28 см.; ISSN 0236-1914 (2022).

12 **Проблемы безопасности полетов** : научно-технический журнал / учредители: Российская академия наук, Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ). - Москва : ВИНТИ, 1989-. - 21 см.; ISSN 0235-5000 (2022).

13 **Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка**: журнал / учредитель и издатель: Гродненский государственный университет имени Янки Купалы. -Гродно : Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, 2009- ISSN 2223-5396 (2022). Режим доступа: <https://e.lanbook.com/journal/3350?category=931> , свободный (дата обращения 09.03.2023).

14 **Вестник Таджикского национального университета. Серия Естественных Наук / Паёми Донишгоњи миллии тољикистон. Бахши Илмҳои Табиӣ** : журнал / учредитель и издатель: Таджикский национальный университет. -Душанбе: Таджикский национальный университет, 1990-. ISSN 2413-452X (2015-2020). Режим доступа: <https://e.lanbook.com/journal/2429?category=917> , свободный (дата обращения 09.03.2023).

15 **Наука и техника**: международный научно-технический журнал / учредитель и издатель: Белорусский национальный технический университет. -Минск: Белорусский национальный технический университет, 2002-. ISSN 2227-1031 (2018-2022). Режим доступа: <https://e.lanbook.com/journal/2418?category=917> , свободный (дата обращения 09.03.2023).

16 **ҚазҰТУ Хабаршысы / Вестник Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпаева**: журнал / учредитель и издатель: Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева. - Алматы : Казахский национальный технический университет, 1994-. ISSN 1680-9211 (2015). Режим доступа: <https://e.lanbook.com/journal/2565?category=917> , свободный (дата обращения 09.03.2023).

17 **Vojnotehnicki glasnik / Military Technical Courier / Военно-технический вестник**: мультидисциплинарный научный журнал / учредитель и издатель : Университет обороны в г. Белград. - Белград : Университет обороны в г. Белград, 1953-. ISSN 0042-8469 (2013-2022). Режим доступа: <https://e.lanbook.com/journal/2490?category=931>, свободный (дата обращения 09.03.2023).

в). Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

18 **Система поиска в сети Интернет** – Режим доступа: <http://www.google.com>, свободный (дата обращения 25.01.2021)

19 **Электронная библиотека** – Режим доступа: <http://www.wikipedia.org>, свободный (дата обращения 13.12.2017).

20 **Онлайн переводчик** – Режим доступа: <http://www.lingvo.ru>, свободный, (дата обращения 25.01.2021).

г). Программное обеспечение (лицензионное и свободно распространяемое), базы данных, информационно-справочное и поисковые системы:

21 **КонсультантПлюс. Официальный сайт компании** [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://consultant.ru>, свободный (дата обращения 13.12.2017).

22 **Электронная библиотека научных публикаций «eLIBRARY.RU»** [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elibrary.ru>, свободный

23 **Электронно-библиотечная система издательства «Лань»** [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://e.lanbook.com>, свободный.

### 7 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование дисциплины	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
Теория авиационных двигателей	Аудитория 362	Комплект учебной мебели - 30 шт. Экран ProjectaProStar 183*240см MatteWhiteS-наштативе Доска двойная  Проектор AcerX1261 P (1024x768, 3700:1,+/-40 28Db Lamp:4000HRS Ноутбук HP 15-rb070ru 15.6 AMD (черный) Ноутбук HP 15-rb070ru 15.6 AMD (черный) Виртуальный учебный комплекс «Техническая эксплуатация самолета Sukhoi Superjet 100» Виртуальный учебный комплекс «тренажер проведения оперативных форм ТО с вертолетом Ми-8МТВ»	Adobe Acrobat Reader DC (freeware) Kaspersky Endpoint Security 10 (лицензия № 0AFE-180731-132011-783-1390) Microsoft Office Профессиональный плюс 2007 (лицензия № 43471843 от 07 февраля 2008 года) Opera (freeware) Google Chrome (freeware) DAEMON Tools Lite (freeware) WinRAR 3.9 (лицензия на Spb State University of Civil Aviation) Windows 7 (лицензия № 46231032 от 4 декабря 2009 года) Драйвера и их компоненты.
	Аудитория 364	Комплект учебной мебели – 20 шт. Доска двойная Макет авиадвигателя ТВ2-117 Нервюры крыла	Adobe Acrobat Reader DC (freeware) Adobe Flash Player (freeware)

Наименование дисциплины	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
		<p>Ноутбук HP 15-rb070ru 15.6 AMD (черный)  Ноутбук HP 15-rb070ru 15.6 AMD (черный) Виртуальный учебный комплекс «Техническая эксплуатация самолета Sukhoi Superjet 100»  Виртуальный учебный комплекс «тренажер проведения оперативных форм ТО с вертолетом Ми-8МТВ»</p>	<p>Kaspersky Endpoint Security 10 (лицензия № 0AFE-180731-132011-783-1390)  K-Lite Mega Codec Pack (freeware)  Microsoft Office Профессиональный плюс 2007 (лицензия № 43471843 от 07 февраля 2008 года)  Mozilla Firefox (MPL/GPL/LGPL)  Ultra-Defrag 7.0.2 (GNU GPL 2)  Unchecky (freeware)  DAEMON Tools Lite (freeware)  Opera (freeware)  WinRAR 3.9 (лицензия на Spb State University of Civil Aviation)  Windows 7 (лицензия № 46231032 от 4 декабря 2009 года)  Adobe Acrobat Reader XI (freeware)  Adobe Flash Player (freeware)  Kaspersky Endpoint Security 10 (лицензия № 0AFE-180731-132011-783-1390)  K-Lite Mega Codec Pack (freeware)  Microsoft Office Профессиональный плюс 2007 (лицензия № 43471843 от 07 февраля 2008 года)  ABBYY FineReader 10 CorporateEditional (лицензия № AF103S1V00 102 от 23 декабря 2010 года)</p>
	<p>МИС (Моторно-испытательная станция)  Учебно-производственные мастерские</p>	<p>Авиадвигатель АИ-25  Вертолетный двигатель ТВ2-117  Редуктор для стенда 2 штуки; блок преобразователя;  Металлоконструкция для стендов турбовального двигателя  Выпрямитель электрического тока с параметрами 28 в, 600 а; или аэродромный выпрямитель АВ-2МБ  Монитор 17" Acer AL 1716 As - 2 шт.  Дрель ударная МАКИТА 650вт  Машина отрезная угловая МАКИТА 2000вт  Сварочный аппарат TELVIN-NORDICA 230В  Станок сверлильный STERN 350 Вт  Точило STERN 350 Вт  Верстак столярный - 9 шт.  Вибростенд ВЭДС-100  Вольтметр универсальный В-7-35  Изделие АИ-9  Измеритель вибрации ИВ-300  Комбинированный прибор ГЦ 4311  Макет учебный ТВ-2-117 (в</p>	<p>Ultra-Defrag 7.0.2 (GNU GPL 2)  Unchecky (freeware)  DAEMON Tools Lite (freeware)  Opera (freeware)  WinRAR 3.9 (лицензия на Spb State University of Civil Aviation)  Windows 7 (лицензия № 46231032 от 4 декабря 2009 года)  Adobe Acrobat Reader XI (freeware)  Adobe Flash Player (freeware)  Kaspersky Endpoint Security 10 (лицензия № 0AFE-180731-132011-783-1390)  K-Lite Mega Codec Pack (freeware)  Microsoft Office Профессиональный плюс 2007 (лицензия № 43471843 от 07 февраля 2008 года)  ABBYY FineReader 10 CorporateEditional (лицензия № AF103S1V00 102 от 23 декабря 2010 года)</p>

Наименование дисциплины	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
		<p>разрезе)  Многофункциональная информ управ система  Модуль С 5-125  Преобразователь сварочный (2шт.)  Преобразователь Ф 723/1  Преобразователь ЦАНТ 5-3/10  Преобразователь ЦАНТ-5-14/2  Преобразователь ЦВ-2-1  Сдвоенная измерительная аппаратура 2ИА-1А  Станок токарный  Стартер генератора СТУ-12Т  установка д \ лабораторных работ № 1  установка для лабораторных работ № 2  Установка дозвуковое сопло  Установка на базе двигателя АИ - 25  Установка на базе двигателя ТА-6  Тиски - 10 шт.  Тиски слесарные - 10 шт.  Штанген циркуль - 5 шт.  Вертикальные жалюзи Л персик, к №367 кронштейн 7,5 размер 2,700*2,200 - 5 шт.  Монитор LG ЛК-10055 - 2 шт.  Монитор СТХ №02780  Системный компьютерный блок LG - 2 шт.  Системный компьютерный блок 10476  Проектор BENQ - 2 шт.  Принтер HPHEWLETTPACKARD 11311  Сканер Epson  Доска - 3 шт.  Экран Dinon - 2 шт.  Стол для преподавателя - 2</p>	<p>WinRAR 3.9  (лицензия на Spb State University of Civil Aviation)  Windows XP  (лицензия № 43471843 от 07 февраля 2008 года)</p>

Наименование дисциплины	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
		шт. Парты со скамьей - 47 шт. Стулья - 4 шт. Ноутбук HP 15-rb070ru 15.6 AMD (черный) Ноутбук HP 15-rb070ru 15.6 AMD (черный) Виртуальный учебный комплекс «Техническая эксплуатация самолета Sukhoi Superjet 100» Виртуальный учебный комплекс «тренажер проведения оперативных форм ТО с вертолетом Ми-8МТВ»	

## 8 Образовательные и информационные технологии

В рамках изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии: входной контроль, лекции, практические занятия, курсовой проект, самостоятельная работа.

Входной контроль проводится преподавателем с целью коррекции процесса усвоения студентами дидактических единиц.

Лекция составляет основу теоретического обучения в рамках дисциплины и направлена на систематизированное изложение накопленных и актуальных научных знаний. Лекция имеет целью раскрыть текущее состояние и обозначить перспективы прогресса в области изучаемой дисциплины. На лекции концентрируется внимание обучающихся на наиболее сложных и узловых вопросах, стимулируется их активная познавательная деятельность.

Ведущим методом в лекции выступает устное изложение учебного материала, который сопровождается одновременной демонстрацией слайдов, при необходимости привлекаются открытые Интернет-ресурсы, а также демонстрационные и наглядно-иллюстрационные материалы и практические примеры. Цель практических занятий – закрепить теоретические знания, полученные обучающимися на лекциях и в результате самостоятельного изучения соответствующих тем, а также приобрести практические навыки. Проводимые в рамках практического занятия: текущие опросы и контрольная работ, расчетные и ситуационные задачи, темы курсового проекта имеют профессиональную направленность.

Также в качестве элемента практической подготовки применяется разбор конкретной ситуации, используемый на практических занятиях и заключающийся в постановке перед студентами расчётных и ситуационных задач с целью достижения планируемых результатов в части умения анализировать процессы, протекающие в механизмах, агрегатах, системах и конструктивных элементах авиационных двигателей

Курсовой проект по дисциплине представляет собой самостоятельную работу студента и ставит цель систематизировать, закрепить и углубить теоретические и практические знания, умения и навыки по специализации с целью их применения для решения профессиональных задач.

Практические занятия и курсовой проект по дисциплине являются составляющими практической подготовки обучающихся, так как предусматривают их участие в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Самостоятельная работа обучающихся является составной частью учебной работы. Ее основной целью является формирование навыка самостоятельного приобретения знаний по некоторым вопросам теоретического курса, закрепление и углубление полученных знаний, самостоятельная работа со справочниками, периодическими изданиями и научно-популярной литературой. Самостоятельная работа включает подготовку к текущему опросу, подготовка к контрольной работе и решению ситуационных и расчетных задач, а также написание курсового проекта.

## **9 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теория авиационных двигателей» предназначен для выявления и оценки уровня и качества знаний студентов по результатам текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины в форме зачета с оценкой в 5 семестре и экзамена в 6 семестре.

Фонд оценочных средств для текущего контроля включает вопросы для текущих опросов, темы для индивидуальных домашних заданий, перечень ситуационных и расчетных задач, а также тему курсового проекта и его защиту.

Текущий опрос проводится на практических занятиях с целью контроля усвоения теоретического материала.

Тема индивидуальных домашних заданий выдается на практических занятиях с целью контроля усвоения теоретического материала, излагаемого на лекции. Контроль выполнения индивидуальных домашних заданий помогает применить индивидуальный подход к проверке знаний, оценить уровень подготовленности.

Расчетные задачи, ситуационные задачи и темы курсового проекта носят практико-ориентированный характер, используются в рамках практической подготовки с целью оценки формирования, закрепления, развития практических навыков.

Контрольная работа выполняется обучающимися на практическом занятии на основании задания, выдаваемого преподавателем по соответствующей теме дисциплины и представляет собой оценку полученных теоретических и практических знаний.

Защита курсового проекта – конечный продукт, который позволяет оценить умения и навыки обучающегося, самостоятельное применение знаний и ориентирования в информационном пространстве, а также уровень сформированности навыков практического и творческого мышления.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в виде зачета с оценкой в 5 семестре и экзамена в 6 семестре. К моменту сдачи зачета с оценкой и экзамена должны быть успешно пройдены предыдущие формы контроля. Зачета с оценкой и экзамен позволят оценить уровень освоения компетенций за весь период изучения дисциплины.

### **9.1 Балльно-рейтинговая оценка текущего контроля успеваемости и знаний студентов**

Балльно-рейтинговая система текущего контроля успеваемости и знаний студентов не применяется.

### **9.2 Методические рекомендации по проведению процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Текущий опрос оценивается следующим образом: развернутый ответ обучающегося должен представлять собой связный, логически последовательный ответ на вопрос. Критерии оценивания:

- 1) полнота и правильность ответа;
- 2) степень осознанности, понимания изученного;
- 3) языковое оформление ответа.

Оценка «отлично» ставится, если обучающийся полно излагает материал (отвечает на вопрос), дает правильное определение основных понятий; обнаруживает понимание материала, может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры не только из учебника, но и самостоятельно составленные; излагает материал последовательно и правильно с точки зрения норм литературного языка.

Оценка «хорошо» ставится, если обучающийся дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для оценки «отлично», но допускает 1–2 ошибки, которые сам же исправляет, и 1–2 недочета в последовательности и языковом оформлении излагаемого.



Оценка «удовлетворительно» ставится, если обучающийся обнаруживает знание и понимание основных положений данной темы, но излагает материал неполно и допускает неточности в определении понятий или формулировке; не умеет достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения и привести свои примеры; излагает материал непоследовательно и допускает ошибки в языковом оформлении излагаемого.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если обучающийся обнаруживает незнание большей части соответствующего вопроса, допускает ошибки в формулировке определений и правил, искажает их смысл, беспорядочно и неуверенно излагает материал.

Индивидуальное домашнее задание:

Оценка «отлично» выставляется, если обучающийся выполнил работу без ошибок и недочетов, продемонстрировал: глубокое и прочное усвоение программного материала; грамотно и логически правильно изложил ответ по указанной теме домашнего задания; привел необходимые примеры не только из учебных материалов, но и самостоятельно составленные.

Оценка «хорошо», если обучающийся выполнил работу полностью, но допустил в ней не более одной негрубой ошибки, усвоил программный материал; изложил полный, грамотный ответ по указанной теме домашнего задания; привел необходимые примеры; изложил материал последовательно и правильно.

Оценка «удовлетворительно», если обучающийся правильно выполнил не менее половины работы или допустил не более двух грубых ошибок, усвоил программный материал; но его ответ не полный, приводит примеры; изложил материал непоследовательно.

Оценка «неудовлетворительно», если обучающийся допустил большое число ошибок и недочетов, или, если правильно выполнил менее половины работы, не привел примеров, допустил ошибки в формулировке основных понятий, беспорядочно и непоследовательно изложил материал.

Расчетные и ситуационные задачи:

«зачтено»: задание выполнено полностью, в соответствии с поставленными требованиями и сделаны необходимые выводы;

«не зачтено»: в том случае, если обучающийся не выполнил задания, или результат выполнения задания не соответствует поставленным требованиям, а в заданиях и (или) ответах имеются существенные ошибки.

На момент экзамена студент должен получить «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно» за участие в по крайней мере в 50 % устных опросов, «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно» за выполнение тестов, «зачтено» за выполнение расчётных и ситуационных задач по всем темам, для которых они предусмотрены.

Контрольная работа:

Оценка «отлично» ставится, когда обучающийся выполнил без ошибок все задания в контрольной работе

Оценка «хорошо» ставится, когда обучающийся выполнил все задания, но допустил незначительные ошибки.

Оценка «удовлетворительно» ставится, когда обучающийся допустил несколько грубых ошибок.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, когда обучающийся не справился с заданиями, допустил множество грубых ошибок.

### **9.3 Темы курсовых работ (проектов) по дисциплине**

При изучении дисциплины «Теория авиационных двигателей» выполняется курсовой проект «Термодинамический расчет авиационных ГТД».

Исходные данные для выполнения курсового проекта определяются исходя из номера зачетной книжки студента или порядкового номера студента в группе по правилам, изложенным в методических указаниях по выполнению курсового проекта.

### **9.4 Контрольные вопросы для проведения входного контроля остаточных знаний по обеспечивающим дисциплинам**

*«Основы авиации»*

- 1) Основные компоненты ЛА
- 2) Естественная и искусственная внешняя среда, в которой существует и функционирует летательный аппарат.
- 3) Облик современных пассажирских и грузовых летательных аппаратов (самолетов и вертолетов).

*«Основы технологии ремонта»*

- 1) Воздушное судно как объект ремонта
- 2) Технологическое оснащение ремонта, и проектирование специальных приспособлений.
- 3) Разборка и сборка.
- 4) Очистка и мойка.

*«Аэродинамика и динамика полета»*

- 1) Основные понятия аэродинамики.
- 2) Основные режимы полета самолета.
- 3) Основы теории полета вертолета.

*«Системы воздушных судов и авиационных двигателей»*

- 1) Конструкция и ТО топливной системы.
- 2) Конструкция и ТО гидросистемы
- 3) Топливная система ГТД.
- 4) Масляная система ГТД.

«Гидравлика»

- 1) Основы кинематики жидкости
- 2) Основы кинематики жидкости
- 3) Основные физико-механические свойства жидкости

«Компоненты жидкостных систем воздушных судов»

- 1) Объемные насосы
- 2) Гидроаккумуляторы и разгрузка насосов
- 3) Особенности гидравлических систем ВС

**9.5 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

Компетенции	Показатели оценивания (индикаторы достижения) компетенций	Критерии оценивания
I этап		
ПК-6	ИД <sup>1</sup> <sub>ПК6</sub> ИД <sup>2</sup> <sub>ПК6</sub>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Сущность процессов, протекающих в механизмах, агрегатах и конструктивных элементах воздушных судов и авиационных двигателей для осуществления контроля и анализа их состояния, прогнозировать и организовывать работы по их восстановлению.</li><li>– Современные тенденции развития материалов, технологий их производства с учетом уровня развития авиационной техники</li></ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Классифицировать воздушно – реактивные двигатели(ВРД), анализировать основные параметры, требования, предъявляемые к современным ГТД;</li></ul>
II этап		
ПК-6	ИД <sup>1</sup> <sub>ПК6</sub> ИД <sup>2</sup> <sub>ПК6</sub>	<p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Анализировать причины изменения параметров в конструктивных элементах авиационных двигателей, в процессе эксплуатации для осуществления контроля и анализа их состояния</li></ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Навыками расчета параметров термодинамических процессов, протекающих в конструктивных элементах авиационных двигателей для осуществления и организации выполнения комплекса работ по их восстановлению</li><li>– Методами оценивания влияния атмосферных условий и условий эксплуатации на характеристики конструктивных элементов авиационных двигателей и</li></ul>

Компетенции	Показатели оценивания (индикаторы достижения) компетенций	Критерии оценивания
		авиационных двигателей в целом.

9.5.1 Описание шкал оценивания

Шкала оценивания	Составляющие	Признаки
Отлично	Расчётная часть	Все расчёты выполнены правильно
	Графическая часть	Обучающийся показывает отличные навыки выполнения чертежей. Чертежи практически полностью соответствуют требованиям ГОСТ.
	Выводы	Выводы грамотно сформулированы и обоснованы.
	Оформление	Курсовой проект оформлен аккуратно согласно требованиям к оформлению без орфографических и грамматических ошибок.
	Своевременность выполнения	Курсовой проект выполнен и сдан на проверку своевременно.
	Защита	Обучающийся доступно и ясно представляет результаты курсового проекта. Ответы на вопросы полные, глубокие. Обучающийся всесторонне оценивает и интерпретирует полученные результаты, доказывает их значимость. Грамотно и аргументировано представляет выводы.
Хорошо	Расчётная часть	Расчёты хотя и выполнены в целом правильно, имеют определённые недочёты в оформлении.
	Графическая часть	Обучающийся показывает хорошие навыки выполнения чертежей. Чертежи, хотя и имеют незначительные ошибки, в остальном соответствуют требованиям ГОСТ.
	Выводы	Выводы сформулированы с небольшими неточностями.
	Оформление	Курсовой проект оформлен аккуратно согласно требованиям к оформлению

Шкала оценивания	Составляющие	Признаки
		с небольшим количеством орфографических или грамматических ошибок.
	Своевременность выполнения	Курсовой проект выполнен и сдан на проверку своевременно.
	Защита	Доступно и ясно представляет результаты курсового проекта. Ответы на вопросы полные. Обучающийся оценивает и интерпретирует полученную информацию с незначительными неточностями, Демонстрирует самостоятельное мышление.
Удовлетворительно	Расчётная часть	Расчёты, хотя и имеют определённые погрешности, позволили сделать, в целом, правильные выводы.
	Графическая часть	Обучающийся показывает слабые навыки выполнения чертежей. Чертежи лишь частично соответствуют требованиям ГОСТ.
	Выводы	Не все выводы сформулированы, либо не точно сформулированы.
	Оформление	Курсовой проект оформлен неаккуратно, содержит орфографические и грамматические ошибки.
	Своевременность выполнения курсового проекта	Курсовой проект выполнен и сдан на проверку позже указанного срока.
	Защита	Обучающийся с трудом докладывает результаты курсового проекта. Ответы на вопросы неполные. Обучающийся может оценить полученные результаты и интерпретирует их со значительными неточностями.
Неудовлетворительно	Расчётная часть	Расчёты неверны или отсутствуют.
	Графическая часть	Обучающийся показывает крайне слабые навыки выполнения, чертежей, Чертежи не соответствуют ГОСТ.
	Выводы	Выводы не сформулированы.

Шкала оценивания	Составляющие	Признаки
	Оформление	Оформление курсового проекта не соответствует требованиям. Большое количество орфографических и грамматических ошибок.
	Защита	Обучающийся не может представить результаты курсового проекта. Не отвечает на вопросы или отвечает неверно.

#### Шкала оценивания при проведении промежуточной аттестации

«Отлично» выставляется обучающемуся, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания по рассматриваемой компетенции и умение уверенно применять их на практике, свободное и правильное обоснование принятых решений. Отвечая на вопрос, может быстро и безошибочно проиллюстрировать ответ собственными примерами. Обучающийся самостоятельно правильно выполняет практические задания, дает обоснованную оценку итогам суждений.

«Хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в выполнении практического задания некоторые неточности, хорошо владеет всем содержанием, видит взаимосвязи. Обучающийся решает практические задания верно.

«Удовлетворительно» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными знаниями в рамках заданной компетенции, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации. Практические задания выполнено не полностью, или содержатся незначительные ошибки в суждении.

«Неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины в рамках компетенций, допускает принципиальные ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и при выполнении практических заданий.

### 9.6 Типовые контрольные задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

#### Примерный перечень вопросов для текущего опроса 5 семестр

- 1 Назначение, схемы входных устройств ГТД.
- 2 Требования, предъявляемые к входным устройствам.
- 3 Основные технические показатели (параметры) входных устройств.

- 4 Устройство дозвукового воздухозаборника.
- 5 Организация рабочего процесса при его работе на земле ( $V = 0$ ).
- 6 Организация рабочего процесса в дозвуковом устройстве при его работе в полете ( $V > C_{вх}$ ).
- 7 Влияние условий полета на скоростную степень повышения давления.
- 8 Организация рабочего процесса в сверхзвуковых входных устройствах на расчетном режиме.
- 9 Нерасчетные режимы работы сверхзвуковых входных устройств.
- 10 Задачи и способы регулирования СВУ.
- 11 Защита авиационных ГТД от попадания в них посторонних предметов.
- 12 Назначение компрессора, типы компрессоров, требования, предъявляемые к компрессорам.
- 13 Схема и принцип работы ступени осевого компрессора.
- 14 Изменение параметров рабочего тела в ступени осевого компрессора.
- 15 Схема и принцип работы ступени ОК с ВНА.
- 16 Изменение параметров рабочего тела в ступени ОК с ВНА.
- 17 Особенности сверхзвуковой ступени осевого компрессора.
- 18 Понятие о профилировании лопаток осевого компрессора.
- 19 Многоступенчатые компрессоры, необходимость их применения.
- 20 Основные параметры многоступенчатых компрессоров и их связь с параметрами ступени.
- 21 Многокаскадные компрессоры.
- 22 Характеристики компрессора, определение, методы получения, графическое изображение, анализ.
- 23 Характеристики компрессора в параметрах подобия.
- 24 Расчетные и нерасчетные режимы работы компрессора.
- 25 Неустойчивая работа осевого компрессора.
- 26 Виды неустойчивой работы.
- 27 Линия рабочих режимов (ЛРР) и запас устойчивости компрессора в системе ГТД.
- 28 Задачи и способы регулирования осевых компрессоров.
- 29 Регулирование компрессора перепуском воздуха над рабочими лопатками первых ступеней и из отдельных ступеней компрессора.
- 30 Регулирование компрессоров поворотом лопаток направляющих аппаратов его отдельных ступеней.
- 31 Регулирование компрессоров применением многокаскадных компрессоров.
- 32 Влияние условий эксплуатации на характеристику и запас устойчивости компрессора.
- 33 Схема и принцип работы центробежного компрессора.
- 34 Камеры сгорания ГТД, назначение, требования, предъявляемые к ним.
- 35 Основные типы камер сгорания.
- 36 Параметры камер сгорания.
- 37 Организация процесса горения в основных камерах сгорания ГТД.

- 38 Назначение, основные параметры, требования, предъявляемые к газовым турбинам.
- 39 Типы турбин.
- 40 Схема и принцип работы ступени газовой турбины.
- 41 Изменения параметров газа в ступени турбины.
- 42 Необходимость применения многоступенчатых турбин.
- 43 Формы проточной части турбин.
- 44 КПД турбины, их анализ.
- 45 Потери в ступени турбины.
- 46 Системы и способы охлаждения лопаток газовых турбин.
- 47 Эффективность различных способов воздушного охлаждения.
- 48 Выходные устройства ГТД, назначения, схемы, основные параметры, характеризующие работу входного устройства.
- 49 Реверс тяги.
- 50 Требования, предъявляемые к реверсивным устройствам.
- 51 Схемы реверсивных устройств.

6 семестр

- 1 Основные параметры ГТД.
- 2 Вывод формулы тяги ВРД.
- 3 Энергетический баланс и КПД ГТД.
- 4 Действительный цикл ГТД.
- 5 Работа цикла ГТД.
- 6 Параметры рабочего процесса.
- 7 Зависимость работы цикла и удельной тяги от степени повышения давления воздуха.
- 8 Оптимальная степень повышения давления.
- 9 Зависимость работы цикла и удельной тяги от степени подогрева воздуха.
- 10 Зависимость удельного расхода топлива от степени подогрева воздуха.
- 11 Экономическая степень повышения давления воздуха.
- 12 Условия совместных режимов работы функциональных элементов ГТД
- 13 Совместная работа элементов одновального газогенератора (ОК, КС, ГТ).
- 14 Линия рабочих режимов.
- 15 Программы и законы управления ТРД.
- 16 Управляемые параметры.
- 17 Управляющие факторы.
- 18 Основные виды программ, реализуемые средствами автоматики.
- 19 Законы управления двухвальным газогенератором.
- 20 Реализация основных законов управления.
- 21 Влияние параметров рабочего процесса на КПД ТРД.
- 22 Режимы работы ГТД. Дроссельные характеристики ТРД.
- 23 Высотные характеристики ТРД.
- 24 Скоростные характеристики ТРД.
- 25 ТРДД, основные схемы и принцип работы.
- 26 Распределение суммарной тяги между конкурентами ТРДД.



- 27 Работы цикла ТРДД и без смешения потоков.
- 28 Оптимальное распределение энергии в ТРДД.
- 29 Основные параметры ТРДД и параметры рабочего процесса.
- 30 Особенности характеристик ТРДД.
- 31 Схема, принцип работы и основные параметры турбовальных двигателей (ТВаД).
- 32 Эксплуатационные характеристики ТВаД.
- 33 Особенности законов управления и совместной работы ТВаД со свободной турбиной и несущего винта (НВ) вертолета.
- 34 Схемы, принцип работы и основные параметры ТВД.
- 35 КПД ТВД.
- 36 Оптимальное распределение энергии (работы цикла) между винтом и реакцией струи.
- 37 Особенности управления и совместной работы элементов ТВД.
- 38 Особенности эксплуатационных характеристик ТВД.
- 39 Форсирование ГТД.
- 40 Методы форсирования.
- 41 Организация процесса горения в форсажных камерах сгорания ГТД.
- 42 Требования к динамическим характеристикам ГТД. У
- 43 равнения динамики на переходных режимах.
- 44 Запуск ГТД.
- 45 Работа ГТД на переходных режимах.
- 46 Эксплуатационные ограничения режимов работы ГТД.
- 47 Источники шума ГТД, формирование уровня шума по местности.
- 48 Эмиссия авиационных ГТД.
- 49 Виды эмиссии.
- 50 Методы нормирования эмиссий.
- 51 Влияния давления, температуры и влажности воздуха на параметры и характеристики ГТД.
- 52 Приведение данных испытаний ГТД к стандартным атмосферным условиям.
- 53 Влияние эрозийного износа и загрязнения элементов проточной части на параметры и характеристики ГТД в условиях эксплуатации на пыльных аэродромах.

Примерный перечень контрольных работ для проведения текущего контроля успеваемости по теме 1.1

#### 5 семестр

##### Вариант 1 (В-1)

- 1 Нарисуйте схему классификации ВРД.
- 2 Определить тягу ГТД при его работе на земле, если расход воздуха через двигатель составляет 150 кг/с, а скорость истечения газа через сопло 1200 м/с.

#### Вариант 2 (В-2)

1 Опишите газотурбинные ВРД (ГТД).

2 Определить часовой расход топлива двигателя развивающего на крейсерском режиме тягу 140 кН при удельном расходе топлива равном 0,04 кг/(Н·ч).

#### Вариант 3 (В-3)

1 Опишите турбореактивные одноконтурные двигатели (ТРД и ТРДФ).

2 Определить полный КПД ГТД при работе двигателя на земле, если при скорости истечения газов из реактивного сопла 1400 м/с, внутренний КПД равен 0,3.

#### Вариант 4 (В-4)

1 Опишите турбореактивные двухконтурные двигатели (ТРДД и ТРДДФ).

2 Какие удельные параметры характеризуют качество конструкции двигателя?

#### Вариант 5 (В-5)

1 Опишите турбовальные и турбовинтовые двигатели (ТВаД и ТВД).

2 Определение внутреннего КПД ГТД. Что характеризует внутренний КПД ГТД?

#### Вариант 6 (В-6)

1 Какие требования предъявляются к современным ГТД, используемым в ГА.

2 Определение тягового КПД ГТД, что характеризует тяговый КПД ГТД?

Примерный перечень контрольных работ для проведения текущего контроля успеваемости по теме 1.2

#### Вариант 1 (В-1)

1 Определите назначение входных устройств ГТД.

2 Дайте определение и напишите формулу степени повышения давления воздуха во входном устройстве. Что оценивает этот параметр?

#### Вариант 2 (В-2)

1. Какие требования предъявляются к входным устройствам ГТД.

2. Дайте определение и напишите формулу коэффициента восстановления полного давления. Что оценивает этот параметр?

#### Вариант 3 (В-3).

1 Назовите основные особенности организации рабочего процесса сверхзвуковых входных устройств (СВУ).

2 Дайте определение и напишите формулу коэффициента внешнего сопротивления. Что оценивает этот параметр?

#### Вариант 4 (В-4)

- 1 Дайте определение входному устройству ГТД.
- 2 Дайте определение и напишите формулу коэффициента внешнего сопротивления. Что оценивает этот параметр?

#### Вариант 5 (В-5)

- 1 Назовите основные направления защиты авиационных ГТД от попадания в них посторонних предметов.
- 2 Нарисуйте характер изменения параметров поток в дозвуковом входном устройстве при  $V = C_{вх}$ .

#### Вариант (В-6)

- 1 Назовите основные причины неустойчивых режимов работы сверхзвуковых входных устройств (СВУ).
- 2 Нарисуйте характер изменения параметров потока в дозвуковом входном устройстве при  $V < C_{вх}$ .

Примерный перечень контрольных работ для проведения текущего контроля успеваемости по теме 1.3

#### Вариант 1 (В-1)

- 1 Приведите определение компрессора согласно ГОСТа 23851-79.
- 2 Определить давление воздуха за ступенью компрессора, если давление воздуха на входе в ступень 101325 Па, а степень повышения давления воздуха в ступени 1.3.

#### Вариант 2 (В-2)

- 1 Назовите основные типы компрессоров. Каковы преимущества и недостатки отдельных типов?
- 2 Определить степень повышения ступени компрессора, если давление в ступени повысилось от  $1 \cdot 10^5$  Па до  $1,25 \cdot 10^5$  Па.

#### Вариант 3 (В-3)

- 1 Нарисуйте схему ступени компрессора и покажите, как изменяются параметры потока в элементах ступени.
- 2 Степень повышения давление в ступени ОК равна 1,2. Определить какое было давление на входе в ступень, если давление на выходе из ступени стало  $1,68 \cdot 10^5$  Па.

#### Вариант 4 (В-4)

- 1 Приведите определение ступени компрессора согласно ГОСТа 23851-79.
- 2 Определить величину работы, которую необходимо подвести к валу вращения рабочего колеса ступени компрессора, чтобы получить окружную скорость равную 250 м/с и закрутку потока равную 182 м/с.

#### Вариант 5 (В-5)

1 Обоснуйте необходимость применения входных направляющих аппаратов перед первой ступенью осевого компрессора.

2 Определить адиабатный КПД ступени компрессора, если известно, что адиабатный подогрев воздуха в ступени  $\Delta T_{ад. ст} = 20$  К, а действительный подогрев воздуха в ступени  $\Delta T_{ст} = 23,5$  К. По результатам вычислений сделать вывод: соответствует ли данная ступень по значению адиабатного КПД требованиям предъявляемым современным компрессорам.

Примерный перечень контрольных работ для проведения текущего контроля успеваемости по теме 1.4

#### Вариант 1 (В-1)

1 Обоснуйте необходимость изменения многоступенчатых осевых компрессоров. Напишите формулы для определения степени повышения давления воздуха в компрессоре.

2 Определить мощность, потребляемую компрессором, при эффективной работе компрессора 30000 Дж/кг, если расход воздуха составляют 100 кг/с. Проанализировать, как будет меняться величина мощности при изменении расхода и работы.

#### Вариант 2 (В-2)

1 Назовите основные параметры многоступенчатого компрессора, напишите формулы для их определения.

2 Определить работу на валу компрессора, если известны  $t_v^* = 15$  °С, а степень повышения давления воздуха  $\pi_k^* = 18$ .

#### Вариант 3 (В-3)

1 Изобразите процесс сжатия воздуха в компрессоре в «p-v» и «T-s» координатах.

2 Определить степень повышения давления воздуха в компрессоре, если давление воздуха на входе в компрессор -  $1 \cdot 10^5$  Па, а на выходе  $25 \cdot 10^5$  Па. Объяснить физический смысл полученного результата.

#### Вариант 4 (В-4)

1 Дайте определение характеристикам компрессора. Приведите графическое изображение характеристик.

2 Определить степень повышения давления в шестиступенчатом компрессоре, если  $\pi_{ст1} = 1,2$ ;  $\pi_{ст2} = \pi_{ст3} = \pi_{ст4} = 1,25$ ;  $\pi_{ст5} = 1,3$ ;  $\pi_{ст6} = 1,2$ .

Примерный перечень контрольных работ для проведения текущего контроля успеваемости по теме 1.5

#### Вариант 1 (В-1)

1 Дайте определение камеры сгорания согласно ГОСТа-23851-79. Назовите основные требования предъявляемые к камерам сгорания.

2 Определить коэффициент избытка воздуха, если известны: расход воздуха 60 кг/с, а расход топлива 0,8 кг/с. Применяемое топливо – авиационный керосин. Что характеризует данный коэффициент?

Вариант 2 (В-2)

1 Назовите основные параметры камеры сгорания. Что характеризуют эти параметры?

2 Как вы понимаете понятия низшая и высшая теплотворность авиационного топлива?

Вариант 3 (В-3)

1 Назовите основные типы камер сгорания. Назовите их достоинства и недостатки.

2 В ГТД с высоконапорным компрессором с  $\pi_k^* = 12,8$  давление воздуха изменяется с 94,232 Па на входе в компрессор, а на выходе из камеры сгорания до 1158 кПа. Определить коэффициент восстановления полного давления. Полученное значение удовлетворяет требованиям, предъявляемым к камерам сгорания?

Вариант 4 (В-4)

1 Опишите основные закономерности процесса горения топлива.

2 При полном сгорании 1 кг керосина в камере сгорания выделяется 44 000 кДж тепла. Определить количество тепла, которое выделяется в камере сгорания в единицу времени при сгорании 1 кг керосина, если коэффициент полноты сгорания топлива составляет 0,98.

Примерный перечень контрольных работ для проведения текущего контроля успеваемости по теме 1.6

Вариант 1 (В-1)

1 Дайте определение газовой турбины согласно ГОСТу 23581-79.

2 Определение свободной турбины.

3 Определить мощность, развиваемую газовой турбиной при полёте летательного аппарата со скоростью  $M_n = 1$  на высоте 5 км, если расход воздуха через двигатель составляет 170 кг/с, а работа полученная на валу турбины -  $15 \cdot 10^4$  кДж/кг.

Вариант 2 (В-2)

1 Нарисуйте схему ступени газовой турбины и покажите, как изменяются параметры потока в элементах ступени.

2 Определение турбины вентилятора.

3 Определить степень реактивности турбины, если адиабатная работа расширения в рабочем колесе равна 360 кДж/кг, а адиабатная работа расширения во всей ступени 900 кДж/кг. Объяснить смысл полученного результата.

Вариант 3 (В-3)

1 Обоснуйте необходимость применения многоступенчатых турбин.

2 Определение турбины высокого давления.

3 Вычислить значение работы турбины, если температура в полных параметрах в ней уменьшается от 1350 К до 600 К. Принять для газа:  $\kappa_T=1,33$ ;  $R_T=288$  Дж/(кг·К);  $C_{pT}=1160,7$  Дж/(кг·К).

Вариант 4 (В-4)

1 Назначение соплового аппарата и рабочего колеса газовой турбины.

2 Определение дозвуковой ступени турбины.

3 Определить КПД турбины, если работа, полученная на валу турбины равна 360 кДж/кг, и адиабатная работа турбины, определенная по параметрам заторможенного потока газа, 450 кДж/кг. Удовлетворяет ли данная газовая турбина по значению КПД требованиям, предъявляемым к газовым турбинам?

Примерный перечень контрольных работ для проведения текущего контроля успеваемости по теме 1.7

Вариант 1 (В-1)

1 Назначение выходных устройств ГТД. Назовите элементы выходных устройств. Требования, предъявляемые к выходным устройствам.

2 Что характеризуют параметры  $\pi_c$ ,  $\pi_{c-p}$  и  $\pi_{кр}$ ?

Вариант 2 (В-2)

1 Основные параметры выходных устройств, что они характеризуют?

2 Какой параметр характеризует эффективность реверсивного устройства?

Вариант 3 (В-3)

1 Потери в выходных устройствах и способы их оценки.

2 Напишите условие для режима полного расширения суживающегося сопла.

Вариант 4 (В-4)

1 Устройства реверса тяги: назначение, типы.

2 Напишите формулы для определения располагаемой и действительной степеней понижения давления газа в сопле.

Вариант 5 (В-5)

- 1 Какие требования предъявляются к реверсивным устройствам?
- 2 Напишите условие для режима недорасширения суживающегося сопла.

#### 6 семестр

Примерный перечень контрольных работ для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.1

##### Вариант 1 (В-1)

- 1 Приведите определение действительного цикла ГТД.
- 2 Для учёта газодинамических потерь в двигателе введены коэффициенты  $\eta_c$  и  $\eta_p$ . Какие потери оценивают эти коэффициенты?

##### Вариант 2 (В-2)

- 1 Изобразите действительный цикл ТРД в « $p - v$ » координатах. Опишите процессы, протекающие в реальном цикле.
- 2 Изобразите зависимости удельной тяги и удельного расхода топлива от степени повышения давления воздуха в двигателе.

##### Вариант 3 (В-3)

- 1 Какие коэффициенты учитывают газодинамические потери в отдельных элементах двигателя, которые оказывают влияние на работу цикла?
- 2 Изобразите зависимости удельной тяги и работы цикла от степени повышения давления воздуха в двигателе.

##### Вариант 4 (В-4)

- 1 Приведите совмещенное изображение идеального и действительного цикла ГТД.
- 2 Приведите определение и формулы для степени повышения давления воздуха в двигателе и степени подогрева воздуха.

Примерный перечень контрольных работ для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.2

##### Вариант 1

- 1 Классификация воздушно-реактивных двигателей (ВРД). Области применения ГТД.
- 2 Основные параметры, характеризующие работу входных устройств.
- 3 Задача: Определить полный КПД ВРД в полёте, если известны скорость полёта равная 740 м/с, удельный расход топлива 0,252 кг/(Н·ч), теплотворность авиационного керосина  $H_u=43150$  кДж/кг. Расширение газа в сопле полное. Расходом топлива пренебречь.

##### Вариант 2

- 1 Вывод формулы Б.С. Стечкина для тяги турбореактивного двигателя.

2. Назначение входных устройств ГТД. Требования, предъявляемые к входным устройствам.

3. Задача: Двигатель ПС-90А на взлётном режиме ( $H=0$ ,  $M_n=0$ ) развивает тягу 158 кН при удельном расходе 0,038 кг/(Н·ч). Определить часовой расход топлива на этом режиме.

Вариант 3

1 Удельные параметры ГТД прямой реакции. Определение, что они характеризуют?

2 Назовите основные направления защиты авиационных ГТД от попадания в них посторонних предметов.

3 Задача: Определить полный КПД ВРД, если при скорости истечения газов из реактивного сопла 1200 м/с, скорость полёта самолёта 200 м/с, внутренней КПД ВРД при этом равен 0,35.

Вариант 4

1 Требования, предъявляемые к современным ГТД, используемым в гражданской авиации.

2 Организация рабочего процесса в дозвуковых входных устройствах.

3 Задача: Определить тягу ТРД полёте, если известны:  $M_n=2,2$ ;  $T_n=216$  К,  $G_T=G_B=100$  кг/с,  $p_c=p_n$ ,  $c_c=1,5$  V

Вариант 5

1 Энергетический баланс и КПД газотурбинного двигателя.

2 Особенности организации рабочего процесса в сверхзвуковых входных устройствах.

3 Задача: Двигатель массой 600 кг развивает тягу 12000 Н. Определить удельную массу двигателя. Каков физический смысл данного параметра и что он характеризует?

Примерный перечень вариантов контрольных работ для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.3

Вариант 1

1 Степень осевого компрессора. Определение, схема. Основные параметры, характеризующие степень осевого компрессора.

2 Характеристики многоступенчатого осевого компрессора и их анализ.

3 Задача: В восьмиступенчатом компрессоре степени повышения давления каждой ступени одинаковы и равны 1,25. Определить работу компрессора, если КПД ступеней равен 0,9. Наружные условия стандартные.

Вариант 2

1 Принципиальная схема и принцип действия ступени осевого компрессора.

2 Влияние условий эксплуатации на характеристики и запас устойчивости компрессора.

3 Задача: Определить работу на валу компрессора  $L_k$  и адиабатный КПД  $\eta_k^*$ , если по результатам измерений известны:  $p_k^*=15 \cdot 10^5$  Па;  $t_k^*=407^\circ\text{C}$ ;  $p_6^*=760$  мм рт. ст.;  $t_6^*=15^\circ\text{C}$ .

Вариант 3



1 Основные параметры, характеризующие компрессор ГТД. Их связь с параметрами ступени.

2 Характеристики компрессора в параметрах подобия, их анализ.

3 Задача: Степень повышения давления воздуха в компрессоре  $\pi_{\kappa}^* = 16$ , адиабатный КПД  $\eta_{\kappa}^* = 0,86$ . Определить предельную работу сжатия  $L_{\kappa}$  и подогрев воздуха в компрессоре  $\Delta T^*$  при стандартных условиях на входе в компрессор.

Вариант 4

1 Линии рабочих режимов и запас устойчивости компрессора в системе ГТД.

2 Ступень осевого компрессора с входным направляющим аппаратом (ВНА). Необходимость изменения ВНА. Изобразите треугольники скоростей на входе и выходе из рабочего колеса ступени.

3 Задача: Определить работу, затрачиваемую на вращение рабочего колеса осевой ступени компрессора, если известны:  $U = 260$  м/с,  $\Delta W_u = 120$  м/с.

Вариант 5

1 Задачи и способы регулирования осевых компрессоров.

2 Изобразите и поясните принципиальные схемы компрессоров авиационных ГТД. Достоинства и недостатки.

3 Задача: Определить приведённый секундный расход воздуха и приведённую частоту вращения ротора компрессора, если при температуре  $30^{\circ}\text{C}$  и давлении  $101\,340$  Па замеренная частота вращения ротора равна  $n_{\text{зам}} = 208$  с<sup>-1</sup>, а замеренный расход воздуха через компрессор составил  $60$  кг/с.

Примерный перечень вариантов контрольных работ для проведения текущего контроля успеваемости по темам 2.4

Вариант 1

1 Камеры сгорания ГТД, их назначение, требования, предъявляемые к ним. Типы камер сгорания.

2 Изобразите рабочий процесс в ступени турбины и его иллюстрацию в « $p-v$ » и « $T-s$ » координатах.

3 Задача: Определить степень реактивности ступени турбины, если располагаемый теплоперепад в рабочем колесе  $H_{p,\kappa} = 360$  кДж/кг. Объяснить физический смысл полученного результата.

Вариант 2

1 Основные параметры камеры сгорания. Определение. Что они характеризуют?

2 Принципиальная схема и принцип действия ступени газовой турбины.

3 Задача: Определить КПД турбины в параметрах заторможенного потока, если работа турбины  $360$  кДж/кг, а располагаемый теплоперепад, определённый по параметрам заторможенного потока газа,  $480$  кДж/кг. Удовлетворяет ли данная многоступенчатая турбина по значению КПД требованиям, предъявляемым современным газовым турбинам?

### Вариант 3

1 Организация процесса горения в основных камерах сгорания.

2 Необходимость применения многоступенчатых газовых турбин. Формы проточной части турбин.

3 Задача: Проанализировать факторы, влияющие на величину работы турбины и мощности развиваемой турбиной.

### Вариант 4

1 Опишите основные закономерности процесса горения топлива.

2 Коэффициенты полезного действия турбины, их анализ. Потери в турбине.

3 Задача: В ГТД газ на входе в многоступенчатую турбину имеет следующие параметры: температуру 1500 К, предельный объём  $0,8 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Газ, совершая работу в турбине, уменьшает своё давление до  $0,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Определить степень понижения давления газа в турбине. Принять  $R_{\text{г}} = 288 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

### Вариант 5

1 Характеристики камер сгорания авиационных ГТД.

2 Системы и способы охлаждения лопаток газовых турбин.

3 Задача: Давление газов на входе в четырёхступенчатую турбину  $4,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , а на выходе из третьей ступени давление уменьшилось до  $1,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Степень понижения давления газов в четвёртой ступени равна 1,2. Определить степень понижения давления газов во всей турбине и давление газов на выходе из турбины. Выполните схему четырёхступенчатой турбины.

## Перечень вариантов контрольных работ для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.5

### Вариант 1.

1 Особенности рабочего процесса ТРД. Анализ процессов протекающих в реальном цикле.

2 Программы и законы управления ГТД. Основные виды программ, реализуемые средствами автоматики.

3 Задача: Определить работу цикла и удельную тягу ТРД в полёте самолёта на высоте 11 км, с числом  $M_n = 1,8$ , если известны:  $\pi_{\Sigma} = 30$ ;  $T_{\text{г}}^* = 1500 \text{ К}$ ;  $\eta_p = 0,92$ ;  $\eta_c = 0,84$ ;  $\bar{m} = 1,05$ .

### Вариант 2

1. Параметры рабочего процесса.

2 Законы управления двухвальным газогенератором. Реализация закона управления  $\pi_{\text{квд}} = \text{const}$ ;

3 Задача: Определить скорость истечения газа из реактивного сопла ТРД, а также развиваемую двигателем тягу при работе его на стенде ( $H = 0$ ,  $M_n = 0$ ), при стандартных атмосферных условиях, если по результатам измерений известны:  $p_c^* = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ,  $D_c = 1 \text{ м}$ ,  $p_c = p_n$ ;  $t_c^* = 627^\circ\text{C}$ .

### Вариант 3

1 Работа цикла ТРД. Зависимость работы цикла от параметра рабочего процесса.

2 Режимы работы ГТД. Дроссельные характеристики ТРД.

3 Задача: Определить скорость истечения газа из сопла ТРД при его работе на стенде ( $H = 0, M_n = 0$ ) при стандартных атмосферных условиях, если известно  $\pi_\Sigma = 20, T_r^* = 1400 \text{ К}; \eta_p = 0,92; \eta_c = 0,86; \bar{m} = 1,055, M_n = 0$ .

(По теме 3.1) Вариант 4

1 Влияние параметров рабочего процесса на удельные параметры ТРД.

2 Высотные характеристики ТРД.

3 Задача: Определить работу цикла ТРД, если известны:

$\pi_r = \pi_{opi}; T_c^* = 1400 \text{ К}; \eta_p = 0,92; \eta_c = 0,86; \bar{m} = 1,05$ .

Вариант 5

1 Совместная работа элементов одновального газогенератора (ОК, КС, ГТ).

2 Скоростные характеристики ТРД.

3 Задача: Как изменится удельный расход топлива ТРД, если:

- общая степень повышения давления воздуха в двигателе уменьшится на один процент;

- температура газа перед турбиной увеличится на один процент.

Известны начальные исходные данные:  $\pi_r = 20; T_r^* = 1400 \text{ К}; \eta_p = 0,92; \eta_c = 0,86; \bar{m} = 1,05; T_n = 288 \text{ К}, M_n = 0$ .

Примерный перечень вариантов контрольных работ для проведения текущего контроля успеваемости по темам 2.6

Вариант 1

1 ТРДД. Основные схемы и принцип работы.

2 Оптимальное распределение энергии (работы цикла) между винтом и реакцией истекающей среды.

3 Задача: Определить мощность передаваемую на винт и суммарную тягу ТВД в полёте со скоростью 800 км/ч, если  $G_e = 60 \text{ кг/с}$  эффективная работа передаваемая на винт  $L_e = 256 \text{ кДж/кг}, \eta_e = 0,8; \eta_{ред} = 0,97$ , а распределение работы цикла между винтом и реакцией оптимальное. При решении задачи массой топлива пренебречь, а расширение газа в сопле считать полным.

Вариант 2

1 Основные параметры ТРДД и параметры рабочего процесса.

2 Особенности эксплуатационных характеристик ТВД.

3 Приведите сравнение характеристик ТРД и ТВД. Сделайте выводы по результатам сравнения.

Вариант 3

1. Схема, принцип работы и основные параметры турбовальных двигателей (ТВаД).

2. Особенности эксплуатационных характеристик ТРДД.

3. Приведите сравнение характеристик ТРД и ТРДД. Сделайте выводы по результатам сравнения.

#### Вариант 4

1 Схема и принцип работы и основные параметры турбовинтовых двигателей (ТВД).

2 Распределение суммарной тяги между контурами ТРДД.

3 Задача: Определить тягу ТРДД на земле в стандартных условиях, если известно, что:  $L_{цл} = 400$  кДж/кг,  $m = 8$ ,  $\eta_{II} = 0,9$ , расход воздуха через внутренний контур 80 кг/с, а распределение энергии между контурами оптимальное.

#### Вариант 5

1 Работа цикла ТРДД без смещения потоков и оптимальное распределение её между контурами.

2 Особенности эксплуатационных характеристик ТВаД.

3 Задача: Определить удельный расход вертолётного двигателя, эффективную мощность на выводном валу, часовой расход топлива и внутренний КПД двигателя, если известно:  $T_r^* = 1500$  К,  $T_k^* = 723,32$  К,  $G_s = 6,62$  кг/с; работу на валу свободной турбины  $L_{сг} = 272031$  Дж/кг;  $g_r = 0,02$ ;  $g_{охл} = 0,09$ ;  $g_{омб} = 0,025$ ;  $\eta_r = 0,98$ ,  $C_n = 1,2723$  кДж/(кг·К).

### Индивидуальные домашние задания

#### Индивидуальное задание №1

##### Задача 1

Определить тягу ТРД, если  $C_c = 1500$  м/с, скорость полета самолета 250 м/с и расход воздуха 50 кг/с. Считать, что газ в силовой установке расширяется полностью.

##### Задача 2

По данным задачи 1.1 определить тягу двигателя при его работе на земле.

##### Задача 3

По данным задачи 1.1 определить удельную тягу двигателя несколькими способами. Каков физический смысл данного параметра и что он характеризует?

##### Задача 4

Определить удельный расход топлива двигателя, если при расходе топлива 437,5 кг·ч развивает тягу 12,5 кН. Каков физический смысл данного параметра и что он характеризует?

##### Задача 5

Двигатель массой 600 кг развивает тягу 12000 Н. Определить удельную массу двигателя, каков физический смысл данного параметра и что он характеризует?

##### Задача 6

Определить удельную тягу ТРД, развивающего тягу 180 кН, при расходе воздуха через двигатель 100 кг/с.

##### Задача 7

Определить часовой расход топлива ТРДФ, развивающего тягу 525 кН, если удельный расход топлива составляет 0,02 кг/(Н·ч).

Задача 8

Определить тяговый КПД ВРД, если при скорости истечения газов из реактивного сопла 1500 м/с, скорость полета самолета 250 м/с.

Укажите, какой тип ГТД используется на воздушных судах Ил-96-30а, Ил-86, Ту-154М, Ту-204 Ан-74, Ан-148, SuperJet-100.

Задача 9

Определить полный КПД ВРД при работе двигателя на месте, если при скорости истечения газов из реактивного сопла 1500 м/с, внутренний КПД ВРД 0,3.

Задача 10

Определить полный КПД ВРД, если при скорости истечения газов из реактивного сопла 1200 м/с, скорость полета самолета 200 м/с, внутренний КПД ВРД при этом 0,35.

Задача 11

Определить полный КПД ВРД, если известны: тяговый КПД – 0,6; внутренний КПД – 0,28. Удовлетворяет ли значение вычисленного КПД требованиям современных ГТД?

Задача 12

Определить удельный расход топлива, если при сгорании топлива в камере сгорания к каждому килограмму рабочего тела подводится  $6 \cdot 10^6$  Дж/кг тепла, скорость истечения газа из сопла 1500 м/с скорость полета 250 м/с. Принять коэффициент полноты сгорания топлива, равным 0,97 и теплотворность топлива 42800 кДж/кг.

Задача 13

Двигатель ПС-90А на взлетном режиме ( $H=0$ ,  $M_H=0$ ) развивает тягу 158 кН при удельном расходе 0,038 кг/(Н·ч). Определить часовой расход топлива при этом режиме.

Задача 14

Определить полный КПД ВРД, если известно, что скорость истечения газа из выходного сопла при полном расширении в 2 раза превышает скорость полета и 35% от введенного в двигатель тепла используется на приращение кинетической энергии газового потока проходящего через двигатель.

Задача 15

ТРД в полете у земли с числом  $M_H=0,9$  развивает тягу 127,5 кН. Определить часовой, километровый и удельный расход топлива, если известно, что полный КПД = 20 %, рабочая теплотворность топлива  $H_u=43160$  кДж/кг. Для

решения задачи использовать формулу  $Q = \frac{G_{т.ч} \cdot H_u}{3600 \cdot G_B}$ .

Задача 16

Определить полный КПД в полете, если известны скорость полета равная 740 м/с, удельный расход топлива 0,225 кг/(Н·ч),  $H_u=43150$  кДж/кг. Расширение газа в сопле полное; расходом топлива пренебречь.

## Индивидуальное задание №2

Ответить на вопросы:

Вопрос 2.1

Определите назначение входных устройств ГТД.

Вопрос 2.2

Назовите параметры, характеризующие работу входных устройств, что оценивает каждый из этих параметров.

Вопрос 2.3

Назовите основные направления защиты авиационных ГТД от попадания в них посторонних предметов.

Вопрос 2.4

Дайте определение входному устройству ГТД согласно ГОСТ а 23851-79

Вопрос 2.5

Нарисуйте характер изменения параметров потока в дозвуковом входном устройстве при  $V > C_{вх}$ .

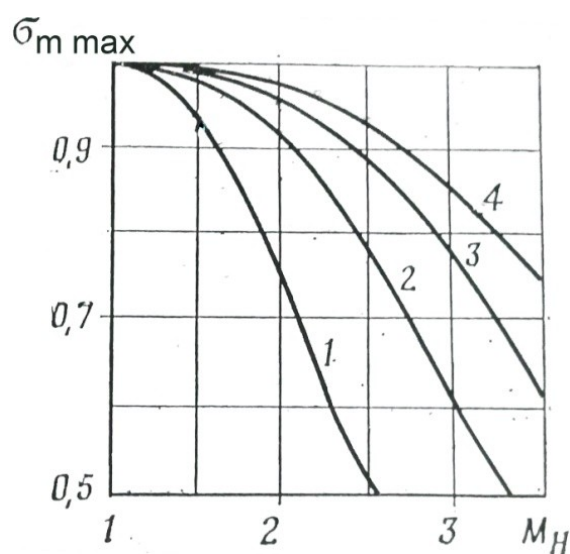
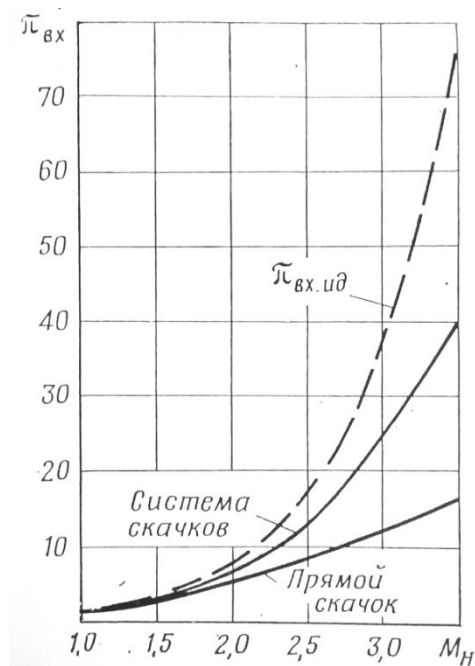
Вопрос 2.6

Назовите основные особенности организации рабочего процесса в сверхзвуковых входных устройствах.

Решить задачу:

Задача 2.1

Силовые установки обеспечивают полёт летательных аппаратов соответственно со скоростями 450 м/с, 680 м/с, 850 м/с. Используя рис 2.1.1 и 2.1.2 обосновать применение к каждой силовой установке определённого типа входного устройства. До каких значений  $M_H$  полёта используются дозвуковые воздухозаборники?



### Индивидуальное задание №3

- 1 Приведите определение компрессора согласно ГОСТа-23851-79.
- 2 Назовите основные типы компрессоров. Укажите какой тип компрессоров используется в авиационных двигателях ПС-90А, ТВ7-117, ТА-6А, АИ-9В, ТВЗ- 117.
- 3 Назовите достоинства и недостатки:
  - а) ОК (Осевого компрессора)
  - б) ЦБК (центробежного компрессора)
- 4 Приведите определение ступени компрессора согласно ГОСТ-23851-79.
- 5 Назначение рабочего колеса, что из себя представляет РК.
6. Назначение направляющего аппарата, что из себя представляет НА.
- 7 Приведите основные параметры ступени, характеризующие основные данные и режимы работы ступени.
- 8 Приведите определение характеристикам ступени изображение характеристик ступени.
- 9 Определить работу элементарной ступени осевого компрессора с осевым входом и её кинематическую степень реактивности, если известны:  
 $U = 260 \text{ м/с}, \overline{\Delta c_u} = \Delta C/u = 0,5$
- 10 Определить адиабатный КПД осевой ступени компрессора, если известны:  $\pi_{ст}^* = 1,3; T_1^* = 288 \text{ К}; T_3^* = 313,5 \text{ К}$ .
- 11 Определить степень повышения давления воздуха в компрессоре, если давление на входе в компрессор –  $1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , а на выходе  $25 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Объяснить смысл полученного результата.

12 Изобразите процесс сжатия воздуха в ступени осевого компрессора в « $p-v$ » « $T-s$ » координатах.

13 Быть готовым объяснить процесс сжатия воздуха в ступени с помощью обобщённого уравнения Бернулли.

#### Индивидуальное задание №4

1 Приведите основные параметры, характеризующие многоступенчатый осевой компрессор.

2 Доказать, что степень повышения давления воздуха в многоступенчатом осевом компрессоре равна произведению степени повышения давления воздуха в её отдельных ступенях.

3 Изобразите процесс сжатия воздуха в осевом компрессоре в « $p-v$ » « $T-s$ » координатах.

4 Степень повышения давления воздуха в компрессоре  $\pi_k^* = 16$ , адиабатный КПД  $\eta_k^* = 0,86$ . Определить удельную работу сжатия  $L_k$  и подогрев воздуха в компрессоре  $\Delta T$  при стандартных атмосферных условиях на входе ( $H = 0, V = 0$ ).

5 Определить  $\pi_k^*$  компрессора, работающего на стенде при стандартных атмосферных условиях, если известны:  $T_k^* = 650 \text{ K}$ ,

$$\eta_k^* = 0,84.$$

6 Определить работу на валу компрессора  $L_k$  и адиабатный КПД  $\eta_k^*$ , если по результатам измерений известны:  $p_k^* = 15 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ,  $t_k^* = 407 \text{ }^\circ\text{C}$

7 В восьмиступенчатом осевом компрессоре степени повышения давления одинаковы и равны 1,25. Определить работу компрессора, если КПД ступеней равен 0,9. Наружные условия стандартные.

8 Определить удельную адиабатную  $L_{k \text{ ад}}$  и политропную  $L_{k \text{ пол}}$  работы сжатия компрессора, если известны:  $\pi_k = \frac{p_k}{p_v} = 10$ ,  $T_v = 288 \text{ K}$  и

показатель политропы сжатия  $n = 1,5$ . Принять, что скорости на входе и на выходе из компрессора одинаковы.

9 Как определить КПД многоступенчатого компрессора, если известны КПД отдельных ступеней? Сравните между собой  $\eta_k$  и  $\eta_{\text{ст}}$ .

10 Как влияют радиальные зазоры на основные параметры компрессора?

#### Характеристики осевого компрессора

1 Приведите определение характеристикам компрессора, изобразите их.



2 Определить приведённый секундный расход воздуха и приведённую частоту вращения ротора компрессора, если при температуре  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  и давлении  $101340\text{ Па}$ , замеренные частота вращения ротора  $n = 208\text{ с}^{-1}$  и расход воздуха  $110\text{ кг/с}$ .

3 Определить секундный расход воздуха и частоту вращения ротора компрессора при давлении  $p_{\text{зам}}^* = 98666\text{ Па}$  ( $770\text{ мм.рт.ст.}$ ) и температуре  $T_{\text{зам}}^* = 295\text{ К}$ , если превышенный расход воздуха  $G_{\text{В пр}} = 63\text{ кг/с}$  и приведённая частота вращения ротора компрессора  $n_{\text{пр}} = 183,3\text{ с}^{-1}$ .

4 По условиям задачи 2 вычислить значения  $n_{\text{пр}}$  и  $G_{\text{В пр}}$  для разных значений температуры:  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Результаты вычислений занести в таблицу 1 и сделать вывод о влиянии температуры на  $G_{\text{В пр}}$  и  $n_{\text{пр}}$ .

Таблица 1

Влияние температуры  $T_{\text{H}}$  на  $G_{\text{В пр}}$  и  $n_{\text{пр}}$

$T_{\text{H}}$	$-30\text{ }^{\circ}\text{C}$	$0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$30\text{ }^{\circ}\text{C}$	$60\text{ }^{\circ}\text{C}$
$n_{\text{пр}}$				
$G_{\text{В пр}}$				

- С какой целью в современных ГТД осуществляется регулирование компрессоров?
- Назовите основные способы регулирования компрессоров.
- Назовите признаки возникновения помпажа.
- К каким последствиям может привести помпаж?

Применяемы схемы многоступенчатых осевых компрессоров, и их анализ. На каких ступенях осевых компрессоров может возникнуть «помпаж»

- а) при уменьшении частоты вращения ротора;
- б) при уменьшении расхода воздуха, если  $n = \text{const}$ . Компрессор работает в системе ГРД.

#### Индивидуальное задание № 5

Ответить на вопросы:

- 1 Приведите определение камеры сгорания согласно ГОСТа-23851-79.
- 2 Назовите основные закономерности процесса горения топлива.
- 3 Назовите типы основных камер сгорания ГТД. Назовите их достоинства и недостатки.

4 Назовите основные принципы организации процесса горения в основных камерах сгорания ГТД.

5 Проанализируйте, как влияет на значение условной средней теплоёмкости ( $C_n$ ) процесса подвода теплоты в основных камерах сгорания ГТД значения  $T_k^*$  и  $T_r^*$ . Для ответа используйте рис. 1.10 методических указаний по выполнению курсового проекта.

Решить задачи:

1 Определить коэффициент избытка воздуха для ГТД, на котором расход воздуха составляет 60 кг/с, а расход топлива – 0,8 кг/с. Применяемое топливо – авиационный керосин. По значению коэффициента избытка воздуха определить, какая ТВС используется в процессе горения в ГТД.

2 При полном сгорании 1 кг топлива в камере сгорания ГТД выделяется 44000 кДж теплоты. Определить количество теплоты, которое выделяется в камере сгорания в единицу времени при сгорании 1 кг топлива, если коэффициент сгорания топлива в современных ГТД составляет 0,97...0,99.

3 В ГТД с высоконапорным компрессором со степенью повышения давления воздуха равной 12,8, давление воздуха на входе в компрессор составляет 94,232 кПа, а на выходе из камеры сгорания 1158 кПа. Определить коэффициент восстановления полного давления. Что характеризует эта величина и соответствует ли полученное значение требованиям предъявляемым к камерам сгорания современных ГТД.

4 Определить коэффициент полноты сгорания в камере сгорания ГТД, если известны:  $T_r^* = 1450 K$ ,  $T_k^* = 757 K$ ,  $G_B = 110$  кг/с,  $G_T = 2,35$  кг/с,  $H_u = 43100$  кДж/кг.

5 Определить коэффициент избытка воздуха в камере сгорания ГТД, если известны:  $T_r^* = 1450 K$ ,  $T_k^* = 757 K$ ,  $H_u = 43100$  кДж/кг.

6 Определить высшую теплотворность авиационного керосина, если при сгорании 1 кг керосина с низшей теплотворностью 43000 кДж/кг образуется 1,35 кг воды.

#### Индивидуальное задание № 6.

1 Приведите определение турбины ГТД согласно ГОСТа-23851-79.

2 Приведите определение ступени турбины согласно ГОСТа-23581-79.

3 Что из себя представляет сопловый аппарат турбины, для чего он предназначен?

4 Что из себя представляет рабочее колесо ступени турбины, для чего оно предназначено.

5 По данным величинам и направлениям осевой скорости  $c_l$  газа на входе в ступень и окружной скорости рабочего колеса  $U$  построить:

- плоскую решётку профилей ступени газовой турбины;
- треугольники скоростей в ступени.

6 Определить степень понижения давления в ступени турбины, если давление газа в ней уменьшается от 1158 кПа до 579 кПа. Объяснить смысл полученного результата.

7 Определить степень реактивности турбины, если адиабатная работа расширения газа в рабочем колесе равна 360 кДж/кг, а адиабатная работа расширения во всей ступени 900 кДж/кг. Объяснить смысл полученного результата.

8 Доказать, что степень понижения давления газа во многоступенчатой турбине равна произведению степени понижения давления газа в её отдельных ступенях.

9 Определить КПД турбины, если работа турбины равна 360 кДж/кг, а адиабатная работа турбины, определённая по параметрам заторможенного потока газа – 450 кДж/кг. Удовлетворяет ли данная многоступенчатая турбина по значению КПД требованиям, предъявляемым к газовым турбинам?

10 Вычислить значение работы турбины, если температура в полных параметрах уменьшается в ней от 4350 К до 600 К. Принять  $k_r = 1,33$ ;  $R_r = 288$  Дж/(кг·К);  $C_{pr} = 1160,7$  Дж/(кг·К).

11 Вычислить мощность, развиваемую турбиной ГТД, при полёте ЛА со скоростью, соответствующей числу  $M_n = 0,8$  на высоте 5 км, если расход воздуха через двигатель 150 кг/с, а работа турбины 380 кДж/кг.

12 Давление газов на входе в четырёхступенчатую турбину равно  $4,8 \cdot 10^5$  Па, а на выходе из третьей ступени давление уменьшилось до  $1,2 \cdot 10^5$  Па. Степень понижения давления газов в четвёртой ступени равна 1,2. Определить степень понижения давления газов во всей турбине и давления газов на выходе из турбины. Выполните схему четырёхступенчатой турбины.

13 В ГТД газ на входе во многоступенчатую турбину имеет параметры: температура 1500 К, удельный объём 0,8 м<sup>3</sup>/кг. Газ, совершая работу в турбине, уменьшил своё давление до  $0,9 \cdot 10^5$  Па. Определить степень понижения давления газа в турбине.

14 Многоступенчатая турбина имеет степень понижения давления 6,9. Температура газов перед турбиной 1350 К, расход воздуха 110 кг/с. Определить адиабатную, политропную работы расширения 1 кг газа в турбине, работу на валу турбины, КПД и мощность турбины. Сравнить величины всех видов полученных работ, объяснить полученные результаты с физической точки зрения. Для решения задачи принять:  $k_r = 1,33$ ;  $H_r = 1,27$ ;  $R_r = 288$  Дж/(кг·К)

15 По данным таблиц 1, 2 вычислить значение работы полученной на валу турбины и мощности развиваемой турбиной. По результатам вычислений сделать выводы: какие факторы позволяют увеличить значения работы и мощности.

Таблица 1

Влияние степени понижения давления газов в турбине на работу и мощность турбины

$\pi_T^*$	4,5	5	6	7
$L_T$ , Дж/кг				
$N_T$ , кВт				

Таблица 2

Влияние температуры газов перед турбиной на работу и мощность турбины

$T_T^*$ , К	1350	1400	1500	1700
$L_T$ , Дж/кг				
$N_T$ , кВт				

### Индивидуальное задание № 7.

1 Приведите определение выходного устройства ГТД согласно ГОСТа-23851-79.

2 Назовите основные параметры выходных устройств. Что они характеризуют?

3. Устройства реверса тяги: назначение, типы.

4 Назовите параметр, характеризующий эффективность реверсивного устройства.

5 Самолёт поднимается на высоту 10 км. Определить располагаемую степень понижения давления на высотах: 0, 3, 5, 8, 11 км. Результаты вычислений свести в таблицу. Сделать вывод о зависимости  $\pi_{с.р.}$  от давления окружающей среды. Считать полное давление перед соплом постоянным и равным 450 кПа.

6 Определить адиабатную и действительную скорость истечения газа из реактивного сопла, если известно, что давление на входе в сопло равно 336 кПа, а на выходе из сопла 101 кПа, а температура на входе равна 1050 К.

7 В выходном устройстве ГТД используется регулируемое реактивное сопло. Доказать (обосновать), что при открытии створок сопла  $T_T^*$  уменьшается.

8 Назовите основные реактивные сопла, которые используются в конструкции ГТД.

9 В выходном устройстве какого ГТД имеются смеситель камеры смещения, камера смешения, где они расположены и для чего они предназначены?

### Типовые расчетные задачи для проведения текущего контроля

#### Задача 1

ТРД в полёте у земли с числом  $M_n = 0,9$  развивает тягу 127,5 кН. Определить часовой, километровый и удельный расход топлива, если известно, что

полный КПД равен 20 %, рабочая теплотворность топлива  $H_u = 43160$  кДж/кг. Для решения задачи использовать формулу  $Q_0 = G_{т.ч} H_u / 3600 G_{в}$ .

*Задача 2*

Определить  $\eta_{к*}$  компрессора, работающего на стенде при стандартных атмосферных условиях, если известны:  $\Delta T_{к*} = 650$  К,  $\eta_{к*} = 0,84$ .

**Типовые ситуационные задачи для проведения текущего контроля**

*Задача 1*

С использованием какого параметра входного устройства, можно обосновать применение дозвукового входного устройства для полётов самолётов со сверхзвуковыми скоростями, соответствующими числу Маха равными 1,3... 1,4? Аргументируйте свой ответ.

*Задача 2*

По каким-то причинам при уменьшении частоты вращения не сработал клапан перепуска воздуха из проточной части компрессора в наружный контур. К каким последствиям может привести данное событие?

**Типовые расчетные задачи для проведения промежуточной аттестации**

*Задача 1*

Определить коэффициент полноты сгорания для основной камеры сгорания ГТД, если известны:  $T_{г*} = 1450$  К,  $T_{к*} = 670$  К,  $G_B = 100$  кг/с,  $G_T = 2,35$  кгс,  $H_u = 43100$  кДж/кг. Соответствует ли полученное значение коэффициента полноты сгорания топлива требованиям, предъявляемым к камерам сгорания современных ГТД?

*Задача 2*

Многоступенчатая турбина имеет степень понижения давления 6,9. Температура газов перед турбиной 1350 К, расход воздуха 110 кг/с. Определить адиабатную, политропную работы расширения 1 кг газа в турбине, работу на валу турбины, КПД и мощность турбины. Сравнить величины всех видов полученных работ, объяснить полученные результаты с физической точки зрения. Для решения задачи принять:  $\kappa_g = 1,33$ ;  $n_g = 1,27$ ;  $R_g = 288$  Дж/(кг·К).

**Типовые ситуационные задачи для проведения промежуточной аттестации**

*Задача 1*

К каким последствиям может привести резкое повышение температуры воздуха на входе в двигатель? Как изменится положение рабочей точки на характеристике компрессора и запас устойчивости компрессора? Аргументируйте своё решение с применением соответствующего математического аппарата.

## Задача 2

В целях обеспечения высоких лётно-тактических данных вертолёт в широком диапазоне высотно-климатических условий на многоцелевых вертолётах применяются переразмеренные двигатели. Что означает понятие переразмеренные двигатели?

### Примерная контрольная работа

- 1) Дайте определение газовой турбины согласно ГОСТу 23581-79.
- 2) Изобразите рабочий процесс в ступени турбины и его иллюстрацию в « $p-v$ » и « $T-s$ » координатах.
- 3) Задача: Определить тягу ТРДД на земле в стандартных условиях, если известно, что:  $L_{цл} = 400$  кДж/кг,  $m = 8$ ,  $\eta_{II} = 0,9$ , расход воздуха через внутренний контур 80 кг/с, а распределение энергии между контурами оптимальное.
- 4) Задача: Определить работу цикла и удельную тягу ТРД в полёте самолёта на высоте 11 км, с числом  $M_n = 1,8$ , если известны:  $\pi_{\Sigma} = 30$ ;  $T_r^* = 1500$  К;  $\eta_p = 0,92$ ;  $\eta_c = 0,84$ ;  $\bar{m} = 1,05$ .
- 5) Доказать, что степень повышения давления воздуха в многоступенчатом осевом компрессоре равна произведению степени повышения давления воздуха в её отдельных ступенях.

### Примерный перечень вопросов для промежуточной аттестации:

5 семестр

- 52 Назначение, схемы входных устройств ГТД. Требования, предъявляемые к входным устройствам. Основные технические показатели (параметры) входных устройств.
- 53 Устройство дозвукового воздухозаборника. Организация рабочего процесса при его работе на земле ( $V = 0$ ).
- 54 Организация рабочего процесса в дозвуковом устройстве при его работе в полете ( $V > C_{вх}$ ). Влияние условий полета на скоростную степень повышения давления.
- 55 Организация рабочего процесса в сверхзвуковых входных устройствах на расчетном режиме.
- 56 Нерасчетные режимы работы сверхзвуковых входных устройств. Задачи и способы регулирования СВУ.
- 57 Защита авиационных ГТД от попадания в них посторонних предметов.
- 58 Назначение компрессора, типы компрессоров, требования, предъявляемые к компрессорам.
- 59 Схема и принцип работы ступени осевого компрессора. Изменение параметров рабочего тела в ступени осевого компрессора.

- 60 Схема и принцип работы ступени ОК с ВНА. Изменение параметров рабочего тела в ступени ОК с ВНА.
- 61 Особенности сверхзвуковой ступени осевого компрессора.
- 62 Понятие о профилировании лопаток осевого компрессора.
- 63 Многоступенчатые компрессоры, необходимость их применения. Основные параметры многоступенчатых компрессоров и их связь с параметрами ступени. Многокаскадные компрессоры.
- 64 Характеристики компрессора, определение, методы получения, графическое изображение, анализ.
- 65 Характеристики компрессора в параметрах подобия.
- 66 Расчетные и нерасчетные режимы работы компрессора.
- 67 Неустойчивая работа осевого компрессора. Виды неустойчивой работы.
- 68 Линия рабочих режимов (ЛРР) и запас устойчивости компрессора в системе ГТД.
- 69 Задачи и способы регулирования осевых компрессоров.
- 70 Регулирование компрессора перепуском воздуха над рабочими лопатками первых ступеней и из отдельных ступеней компрессора.
- 71 Регулирование компрессоров поворотом лопаток направляющих аппаратов его отдельных ступеней.
- 72 Регулирование компрессоров применением многокаскадных компрессоров.
- 73 Влияние условий эксплуатации на характеристику и запас устойчивости компрессора.
- 74 Схема и принцип работы центробежного компрессора.
- 75 Камеры сгорания ГТД, назначение, требования, предъявляемые к ним. Основные типы камер сгорания. Параметры камер сгорания.
- 76 Организация процесса горения в основных камерах сгорания ГТД.
- 77 Назначение, основные параметры, требования, предъявляемые к газовым турбинам. Типы турбин.
- 78 Схема и принцип работы ступени газовой турбины. Изменения параметров газа в ступени турбины.
- 79 Необходимость применения многоступенчатых турбин. Формы проточной части турбин.
- 80 КПД турбины, их анализ. Потери в ступени турбины.
- 81 Системы и способы охлаждения лопаток газовых турбин. Эффективность различных способов воздушного охлаждения.
- 82 Выходные устройства ГТД, назначения, схемы, основные параметры, характеризующие работу входного устройства.
- 83 Реверс тяги. Требования, предъявляемые к реверсивным устройствам. Схемы реверсивных устройств.

#### 6 семестр

- 33 Основные параметры ГТД. Вывод формулы тяги ВРД.
- 34 Энергетический баланс и КПД ГТД.
- 35 Действительный цикл ГТД. Работа цикла ГТД. Параметры рабочего процесса.

- 36 Зависимость работы цикла и удельной тяги от степени повышения давления воздуха. Оптимальная степень повышения давления.
- 37 Зависимость работы цикла и удельной тяги от степени подогрева воздуха.
- 38 Зависимость удельного расхода топлива от степени подогрева воздуха. Экономическая степень повышения давления воздуха.
- 39 Условия совместных режимов работы функциональных элементов ГТД.
- 40 Совместная работа элементов одновального газогенератора (ОК, КС, ГТ). Линия рабочих режимов.
- 41 Программы и законы управления ТРД. Управляемые параметры. Управляющие факторы. Основные виды программ, реализуемые средствами автоматики.
- 42 Законы управления двухвальным газогенератором. Реализация основных законов управления.
- 43 Влияние параметров рабочего процесса на КПД ТРД.
- 44 Режимы работы ГТД. Дроссельные характеристики ТРД.
- 45 Высотные характеристики ТРД.
- 46 Скоростные характеристики ТРД.
- 47 ТРДД, основные схемы и принцип работы. Распределение суммарной тяги между конкурентами ТРДД.
- 48 Работы цикла ТРДД и без смещения потоков. Оптимальное распределение энергии в ТРДД.
- 49 Основные параметры ТРДД и параметры рабочего процесса.
- 50 Особенности характеристик ТРДД.
- 51 Схема, принцип работы и основные параметры турбовальных двигателей (ТВаД).
- 52 Эксплуатационные характеристики ТВаД.
- 53 Особенности законов управления и совместной работы ТВаД со свободной турбиной и несущего винта (НВ) вертолета.
- 54 Схемы, принцип работы и основные параметры ТВД.
- 55 КПД ТВД. Оптимальное распределение энергии (работы цикла) между винтом и реакцией струи.
- 56 Особенности управления и совместной работы элементов ТВД.
- 57 Особенности эксплуатационных характеристик ТВД.
- 58 Форсирование ГТД. Методы форсирования.
- 59 Организация процесса горения в форсажных камерах сгорания ГТД.
- 60 Требования к динамическим характеристикам ГТД. Уравнения динамики на переходных режимах.
- 61 Запуск ГТД. Работа ГТД на переходных режимах.
- 62 Эксплуатационные ограничения режимов работы ГТД.
- 63 Источники шума ГТД, формирование уровня шума по местности.
- 64 Эмиссия авиационных ГТД. Виды эмиссии. Методы нормирования эмиссий.
- 65 Влияния давления, температуры и влажности воздуха на параметры и характеристики ГТД.



66 Приведение данных испытаний ГТД к стандартным атмосферным условиям.

67 Влияние эрозийного износа и загрязнения элементов проточной части на параметры и характеристики ГТД в условиях эксплуатации на пыльных аэродромах.

## **10 Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины**

Методика преподавания дисциплины «Теория авиационных двигателей» характеризуется совокупностью методов, приемов и средств обучения, обеспечивающих реализацию содержания и учебных целей дисциплины, которая может быть представлена как некоторая методическая система, включающая методы, приемы и средства обучения. Такой подход позволяет более качественно подойти к вопросу освоения дисциплины обучающимися.

Лекции являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся по дисциплинам. Лекция имеет целью дать систематизированные основы научных знаний по дисциплине, раскрыть состояние и перспективы прогресса конкретной области науки, сконцентрировать внимание на наиболее сложных и узловых вопросах. Эта цель определяет дидактическое назначение лекции, которое заключается в том, чтобы ознакомить обучающихся с основным содержанием, категориями, принципами и закономерностями изучаемой темы и предмета обучения в целом, его главными идеями и направлениями развития. Именно на лекции формируется научное мировоззрение обучающегося, закладываются теоретические основы фундаментальных знаний будущего управленца, стимулируется его активная познавательная деятельность.

Каждая лекция представляет собой устное изложение лектором основных теоретических положений изучаемой дисциплины или отдельной темы, как логически законченное целое и имеет конкретную целевую установку. Лекция показывает перспективы развития изучаемой области знаний, навыков и практических умений.

Текущий опрос успеваемости обучающихся применяется для оценки уровня остаточных знаний путём проведения опроса с письменным ответом.

Практические занятия проводятся в целях выработки практических умений и приобретения навыков. Основным содержанием этих занятий является практическая работа каждого обучающегося. Назначение практических занятий – закрепление, углубление и комплексное применение на практике теоретических знаний, выработка умений и навыков обучающихся в решении практических заданий. Вместе с тем, на этих занятиях, осуществляется активное формирование и развитие навыков и качеств, необходимых для последующей профессиональной деятельности.

Практические занятия проводятся по наиболее сложным вопросам дисциплины и имеют целью углубленно изучить ее содержание, привить обучающимся навыки самостоятельного поиска и анализа информации, умение делать обоснованные выводы, аргументировано излагать и отстаивать свое мнение. Также в качестве элемента практической подготовки применяется разбор конкретной ситуации. Каждое практическое занятие заканчивается, как правило, кратким подведением итогов, указаниями преподавателя о последующей самостоятельной работе.

Текущий контроль успеваемости студентов осуществляется для оценки уровня остаточных знаний путём проведения текущих опросов, решения расчетных и ситуационных задач, защиты индивидуальных домашних заданий.

В современных условиях перед студентом стоит важная задача – научиться работать с массивами информации. Обучающимся необходимо развивать в себе способность и потребность использовать доступные информационные возможности и ресурсы для поиска нового знания и его распространения. Обучающимся необходимо научиться управлять своей познавательной деятельностью в системе «информация – знание – информация». Прежде всего, для достижения этой цели, в вузе организуется самостоятельная работа обучающихся. Кроме того, современное обучение предполагает, что существенную часть времени в освоении учебной дисциплины обучающийся проводит самостоятельно. Принято считать, что такой метод обучения должен способствовать творческому овладению обучающимися специальными знаниями и навыками.

Самостоятельная работа обучающегося весьма многообразна и содержательна. Она включает следующие виды занятий: самостоятельный поиск, анализ информации и проработка учебного материала; подготовку к устному опросу; решению расчётных и ситуационных задач, подготовку к контрольной работе; выполнение курсового проекта.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в виде зачета с оценкой в 5 семестре и экзамена в 6. К моменту зачета с оценкой и экзамена должны быть успешно пройдены предыдущие формы контроля. Зачет с оценкой и экзамен позволяют оценить уровень освоения компетенций за весь период изучения дисциплины.

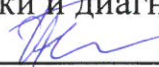
Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 25.05.05 Эксплуатация воздушных судов и организация воздушного движения

Программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры № 24 «Авиационной техники и диагностики» « 12 » 04 2023 года, протокол № 8.

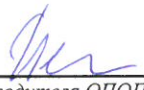
Разработчик:

 Никифоров А.И.  
(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы разработчиков)

(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы разработчиков)

Заведующий кафедрой № 24 «Авиационной техники и диагностики»  
к.т.н., доцент  Петрова Т.В.  
(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы заведующего кафедрой)

Программа согласована:

Руководитель ОПОП  
к.т.н., доцент  Петрова Т.В.  
(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы руководителя ОПОП)

Программа рассмотрена и согласована на заседании Учебно-методического совета Университета « 29 » 05 2023 года, протокол № 8.