

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
(МИНТРАНС РОССИИ)  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)  
ФГБОУ ВО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»  
(ФГБОУ ВО СПбГУ ГА)

УТВЕРЖДАЮ

Первый  
проректор-проректор по  
учебной работе  
Н.Н.Сухих

«14» февраля 2018 года

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Теория авиационных двигателей**

Направление подготовки (специальность)  
**25.05.05 Эксплуатация воздушных судов и организация  
воздушного движения**

Направленность программы (специализация)  
**Организация технического обслуживания и ремонта  
воздушных судов**

Квалификация выпускника  
**инженер**

Форма обучения  
**очная**

Санкт-Петербург  
2018

## 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, критическому осмыслению, систематизации, полученной из разных источников, прогнозированию, постановке целей и выбору путей их достижения; способности и готовности приобретать новые знания, использовать различные формы обучения, информационно образовательные технологии; способности и готовности использовать основные законы естественно научных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач; способности организовывать, обеспечивать и осуществлять техническое обслуживание и ремонт воздушных судов (планера и силовых установок) для успешной профессиональной деятельности выпускников в области теории авиационных двигателей в объеме, необходимом 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 выпускника к эксплуатационно-технологическому виду профессиональной деятельности.

## 2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Теория авиационных двигателей» представляет собой дисциплину базовой части профессионального цикла дисциплин (СЗ).

Данная дисциплина базируется на результатах обучения, полученных при изучении дисциплин: «Математика», «Термодинамика и теплопередача», «Гидравлика», «Воздушное право».

Дисциплина «Теория авиационных двигателей» является обеспечивающей для дисциплин: «Конструкция и прочность авиационных двигателей», «Конструкция и техническое обслуживание авиационных двигателей», «Автоматика управления авиационными двигателями».

Дисциплина изучается в 6 и 7 семестрах.

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

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

Перечень и код компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
Способность к восприятию, анализу, критическому осмыслению, систематизации, полученной из разных источников, прогнозированию, постановке целей и выбору путей их достижения (ОК-6)	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- методы и приемы восприятия, анализа, критического осмысления, систематизации и синтеза информации, полученной из разных источников, прогнозирования, постановки целей и выбор путей их достижения, касающихся: назначения, устройства принципы работы элементов (узлов) авиационного двигателя, и организации в них рабочего процесса.</li><li>-сущность термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях;</li><li>-методы расчета параметров рабочего тела, в узлах (частях) авиационных двигателей.</li></ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- самостоятельно строить процесс развития способности к восприятию, анализу, критическому осмыслению, систематизации и синтезу информации, прогнозирования, постановки целей и выбор путей их достижения для объяснения назначения, устройства, принципа работы узлов авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса.</li><li>-анализировать причины изменения параметров авиационных двигателей в процессе эксплуатации;</li></ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- технологиями развития способности к восприятию, анализа, критическому осмыслению, систематизации, полученной из разных источников, прогнозированию, постановке целей и выбору путей их достижения.</li></ul>

Перечень и код компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплин
	<p>Касающихся: назначения, устройства, принципы работы элементов (узлов) авиационных двигателей, организации в них рабочего процесса.</p> <p>-методами осуществления термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях.</p>
<p>Способностью и готовностью приобретать новые знания, использовать различные формы обучения, информационно образовательные технологии (ОК-21)</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы и приемы приобретения новых знаний, использовать различные формы обучения, информационно образовательные технологии касающихся: назначения, устройства принципа работы элементов(узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- самостоятельно строить процесс приобретения новых знаний, использовать различные формы обучения, информационно образовательные технологии касающихся: назначения, устройства принципа работы элементов(узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса.</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- технологические приобретения 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.</li> </ul>
<p>Способностью и готовностью использовать основные законы естественно научных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач (ПК-21)</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- как использовать основные законы профильных задач с учетом знаний устройства, принципа работы элементов(узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса.</li> <li>- конструкцию авиационных двигателей и их систем</li> <li>-принципы работы авиационных двигателей;</li> <li>-принципы работы узлов авиационных двигателей;</li> <li>-принципы проектирования авиационных двигателей;</li> <li>-влияние атмосферных условий на характеристики авиационных двигателей;</li> <li>-ограничение параметров авиационных двигателей;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- практически использовать основные законы профильных задач с учетом знаний устройства, принципа работы элементов(узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса.</li> <li>-производить расчёт параметров термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях при решении профессиональных задач;</li> <li>-применять законы термодинамики и основные уравнения газовой динамики для решения практических задач</li> <li>-оценивать влияние атмосферных условий на характеристики авиационных двигателей;</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методиками и принципами использования основных законов профильных задач с учетом знаний устройства, принципа</li> </ul>

Перечень и код компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплин
	работы элементов (узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса; -навыками расчета термодинамических параметров, протекающих в авиационных двигателях;
Способностью организовывать, обеспечивать и осуществлять техническое обслуживание и ремонт воздушных судов (планера и силовых установок) (ПСК-9.1)	Знать: - как организовывать, обеспечивать и осуществлять техническое обслуживание и ремонт воздушных судов (планера и силовых установок) на основе знаний устройства, принципа работы узлов авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса. Уметь: - организовывать, обеспечивать и осуществлять техническое обслуживание и ремонт воздушных судов (планера и силовых установок). Владеть: - 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.

#### 4 Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 академических часов.

Наименование	Всего часов	Семестры	
		6	7
Общая трудоемкость дисциплины	180	72	108
Контактная работа	112,8	54,3	58,5
лекции	46	18	28
практические занятия	60	36	24
семинары	-	-	-
лабораторные работы	-	-	-
курсовой проект (работа)	4	-	4
Самостоятельная работа студента	25	9	16
Промежуточная аттестация	45	9	36
контактная работа	2,8	0,3	2,5
самостоятельная работа по подготовке к зачету, экзамену	42,2	8,7	33,5

#### 5 Содержание дисциплины

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

Темы, Раздел, Дисциплины	Количество часов	Компетенции				Образовательные технологии	Оценочные средства
		ОК-6	ОК-21	ПК-21	ПСК-9.1		
6 семестр							
Раздел 1. Основные параметры авиационных ГТД	7						
Тема 1. Тяга авиационных силовых установок с ВРД и их основные параметры семестр	7	+		+	+	ВК, Л, ИЛ, ПЗ, СРС, МРК	ИДЗ
РАЗДЕЛ 2. Организация рабочего процесса в элементах ГТД	56						
Тема 2.1. Организация рабочего процесса во входных устройствах ГТД	7	+		+	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС, ВК	ИДЗ ТО
Тема 2.2. Организация рабочего процесса в компрессорах ГТД	22		+	+	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС,	ИДЗ ТО
Тема 2.3. Организация рабочего процесса в камерах сгорания ГТД	9	+	+	+	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС,	ИДЗ
Тема 2.4. Организация рабочего процесса в газовых турбинах ГТД	9		+	+	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС,	ИДЗ ТО
Тема 2.5. Организация рабочего процесса в выходных устройствах ГТД	9		+			Л, ИЛ, ПЗ, СРС,	ИДЗ
Итого за 6 семестр зачет	72						
7 семестр							
РАЗДЕЛ 3. Рабочий процесс и характеристики ГТД	68						
Тема 3.1. Рабочий процесс и действительный цикл ГТД	28			+	+	ВК, Л, ИЛ, ПЗ, СРС,	ТО
Тема 3.2. Рабочий процесс и характеристики ТРДД	8		+		+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС,	
Тема 3.3. Рабочий процесс и характеристики турбовальных ГТД (ТВад)	8			+	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС,	

Темы, Раздел, Дисциплины	Количество часов	Компетенции				Образовательные технологии	Оценочные средства
		ОК-6	ОК-21	ПК-21	ПСК-9.1		
Тема 3.4. Рабочий процесс и характеристики турбовинтовых двигателей (ТВД)	8	+		+		Л, ИЛ, ПЗ, СРС,	
Тема 3.5. Неустановившиеся режимы работы ГТД	8		+			Л, ИЛ, ПЗ, СРС, МК	Д
Тема 3.6. Влияние условий эксплуатации на основные параметры и характеристики ГТД	8	+	+	+	+	Л, ИЛ, ПЗ, СРС МК	ТО, Д
РАЗДЕЛ 4. Авиационные двигатели и окружающая среда	4						
Тема 4.1. Влияние авиационных двигателей на окружающую среду	4	+		+		Л, ИЛ, ПЗ, СРС,	
КУП	4						
Итого за 7 семестр	72						
Промежуточная аттестация	72						
Итого по дисциплине:	216						

**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, МРК - метод развивающей кооперации, МК – мастер-класс, Д - дискуссия.

## 5.2 Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

Наименование темы (раздела) дисциплины	Л	ПЗ	С	ЛР	КР	СРС	Всего часов
6 семестр							
Раздел 1. Основные параметры авиационных ГТД	2	4	–	–	–	1	7
Тема 1. Тяга авиационных силовых установок с ВРД и их основные параметры	2	4	–	–	–	1	7
Раздел 2. Организация рабочего процесса в элементах ГТД	16	32	–	–	–	8	56
Тема 2.1. Организация рабочего	2	4	–	–	–	1	7

процесса во входных устройствах ГТД							
Тема 2.2. Организация рабочего процесса в компрессорах ГТД	8	10	–	–	–	4	22
Тема 2.3. Организация рабочего процесса в камерах сгорания ГТД	2	6	–	–	–	1	9
Тема 2.4. Организация рабочего процесса в газовых турбинах ГТД	2	6	–	–	–	1	9
Тема 2.5. Организация рабочего процесса в выходных устройствах ГТД	2	6	–	–	–	1	9
Промежуточная аттестация							9
Итого за семестр 6	18	36	–	–	–	9	72
7 семестр							
Раздел 3. Рабочий процесс и характеристики ГТД	26	24	–	–	–	14	64
Тема 3.1. Рабочий процесс и действии-тельный цикл ГТД	6	14	–	–	–	4	24
Тема 3.2. Рабочий процесс и характеристики ТРДД	4	2	–	–	–	2	8
Тема 3.3. Рабочий процесс и характеристики турбовальных ГТД (ТВаД)	4	2	–	–	–	2	8
Тема 3.4. Рабочий процесс и характеристики турбовинтовых двигателей (ТВД)	4	2	–	–	–	2	8
Тема 3.5. Неустановившиеся режимы работы ГТД	4	2	–	–	–	2	8
Тема 3.6. Влияние условий эксплуатации на основные параметры и характеристики ГТД	4	2	–	–	–	2	8
Раздел 4. Авиационные двигатели и окружающая среда	2	–	–	–	–	2	4
Тема 4.1. Влияние авиационных двигателей на окружающую среду	2	–	–	–	–	2	4
КУП							4
Промежуточная аттестация							36
Итого за семестр 7	28	24	–	–	–	16	108
Итого по дисциплине:	46	60	–	–	–	25	180

### 5.3 Содержание дисциплины

#### Раздел I. Основные параметры авиационных ГТД

##### Тема 1.1. Тяга авиационных силовых установок с ВРД и их основные параметры.

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.

## **Раздел 2. Организация рабочего процесса в элементах ГТД**

### **Тема 2.1. 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 2.2. Организация рабочего процесса в компрессоре 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 2.3. 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 2.4. 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 2.5. 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 3. Рабочий процесс и характеристики ГТД**

#### **Тема 3.1. 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 3.2. 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 смещения потоков и оптимальное распределение её между контурами. Особенности программы управления ТРДД. Особенности дроссельных, высотных, скоростных характеристик ТРДД.

#### **Тема 3.3. 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 3.4. 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 3.5. 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 3.6. 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.

## **Раздел 4. Авиационные двигатели и окружающая среда**

### **Тема 4.1. Влияние авиационных ГТД 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)
1.1	Практическое занятие №1. Определение параметров ГТД. Вывод формулы тяги	4
2.1	Практическое занятие №2. Определение параметров входных устройств ГТД	4
2.2	Практическое занятие №3. Характеристики компрессора, методы их получения, графическое изображение, анализ. Характеристики в параметрах подобия	6
2.2	Практическое занятие №4. Запас устойчивости нерегулируемого осевого компрессора	2
2.2	Практическое занятие №5. Определение параметров многоступенчатых осевых компрессоров	2
2.3	Практическое занятие №6. Организация процесса горения в	6

Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий	Трудо-емкость (часы)
	основных камерах сгорания ГТД	
2.4	Практическое занятие №7. Необходимость применения многоступенчатых турбин. КПД турбины, их анализ.	6
2.5	Практическое занятие №8. Реверс тяги. Требования, предъявляемые к реверсивным устройствам. Схемы реверсивных устройств.	6
Итого за 6 семестр		36
3.1	Практическое занятие №9,10. Зависимость работы действительного цикла ГТД от параметров рабочего процесса	4
3.1	Практическое занятие №11. Влияние параметров рабочего процесса на удельные параметры ГТД	2
3.1	Практическое занятие №12,13. Построение на характеристиках компрессора линий совместных режимов работы (ЛРР) турбокомпрессора.	4
3.1	Практическое занятие №14,15. Анализ характеристик ГТД.	4
3.2	ПЗ №16. Особенности программ управления и характеристики ТРДД	2
3.3	Практическое занятие №17. Особенности программ управления и совместной работы элементов турбовальных ГТД со сборной турбиной и несущего винта вертолёта	2
3.4	Практическое занятие №18. Особенности управления и совместной работы элементов турбовинтовых ГТД	2
3.5	Практическое занятие №19. Запуск ГТД. Этапы запуска. Изменение параметров рабочего процесса при разгоне и сброса газа (МК)	2
3.6	Практическое занятие №20. Определение прочности элементов конструкции авиационного двигателя (МК)	2
Итого за 7 семестр		24
Итого по дисциплине		60

### 5.5 Лабораторный практикум

Лабораторный практикум учебным планом не предусмотрен.

### 5.6 Самостоятельная работа

Номер темы дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (часы)
6 семестр		
1.1	1. Изучение теоретического материала по теме: Тяга авиационных силовых установок с ВРД и их основные параметры [1-13] 2. Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]	1
2.1	1. Изучение теоретического материала по теме: Организация рабочего процесса во входных устройствах ГТД [1-13]	1

Номер темы дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (часы)
	2. Подготовка к текущему опросу (ТО) 3. Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]	
2.2	1. Изучение теоретического материала по теме: Организация рабочего процесса в компрессоре ГТД [1-13] 2. Подготовка к текущему опросу (ТО) 3. Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]	4
2.3	1. Изучение теоретического материала по теме: Организация рабочего процесса в камерах сгорания ГТД [1-13] 2. Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]	1
2.4	1. Изучение теоретического материала по теме: Организация рабочего процесса в газовых турбинах ГТД [1-13] 2. Подготовка к текущему опросу (ТО) 3. Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]	1
2.5	1. Изучение теоретического материала по теме: Организация рабочего процесса в выходных устройствах ГТД [1-13] 2. Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]	1
Итого за 6 семестр		9
7 семестр		
3.1	1. Изучение теоретического материала по теме: Рабочий процесс и характеристики одновальных ГТД [1-13] 2. Подготовка к текущему опросу (ТО) 3. Работа по выполнению курсового проекта	4
3.2	1. Изучение теоретического материала по теме: 2. Рабочий процесс и характеристики ТРДД [1-13]	2
3.3	1. Изучение теоретического материала по теме: Рабочий процесс и характеристики турбовальных ГТД (ТВаД) [1-13] 2. Работа по выполнению курсового проекта	2
3.4	1. Изучение теоретического материала по теме: Рабочий процесс и характеристики турбовинтовых двигателей (ТВД) [1-13]	2
3.5	1. Изучение теоретического материала по теме: Неустановившиеся режимы работы ГТД [1-13]	2
3.6	1. Изучение теоретического материала по теме: Влияние условий эксплуатации на основные параметры и характеристики ГТД [1-13] 2. Подготовка к текущему опросу (ТО) 3. Работа по выполнению курсового проекта	2
4.1	1. Изучение теоретического материала по теме: Влияние авиационных ГТД на окружающую среду [1-13] 2. Работа по выполнению курсового проекта	2
Итого за семестр 7		16
Итого по дисциплине		25

### 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 «Термодинамический расчет авиационных ГТД».	2
Этап 2. Выполнение курсового проекта по плану СРС	2
Этап 3. Оформление курсового проекта	2
Защита курсового проекта	2
Итого по курсовому проекту:	8
самостоятельная работа студента, отведенная на выполнение курсового проекта	6
согласно учебному плану	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>

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 13.12.2017).

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 13.12.2017).

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 13.12.2017).

С. Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

7 Система поиска в сети Интернет – Режим доступа: <http://www.google.com>, свободный (дата обращения 13.02.2017)

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

10 Онлайн переводчик – Режим доступа: <http://www.lingvo.ru>, свободный, (дата обращения 13.12.2017).

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

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

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

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

## 7 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обеспечения учебного процесса в аудиториях лабораторного корпуса №360, 364, 367 и в аудиториях учебно-экспериментального корпуса имеются мультимедийные комплексы (ноутбук, проектор, мобильный экран), плакаты, чертежи разрезом двигателей АИ-25, Д-30, Д-36, ТВ2-117, ТВ3-117, ТВ7-117, ПС-90А, CFM56-5B; SaM-146 и натурные макеты авиационных газотурбинных двигателей АИ-25, НК8-2У, Д-36, ТВ2-117, ТВ3-117.

Аудитории кафедры № 24 СПбГУТА, оборудованы для проведения практических работ средствами оргтехники с выходом в Интернет.

Материалы INTERNET, мультимедийные курсы, оформленные с помощью *Microsoft Power Point*, используются при проведении лекционных и практических занятий. Ауд.360, 364, 367 имеют мультимедиа проекторы PLC-XU58.

Экспериментальный стенд на базе авиационных двигателей АИ-25 и АИ-9-расположен в корпусе на МИСе (СПб, ул. Пилотов, 44);

Лекции и практические задания в электронном и печатном виде по каждому предмету, а также сопутствующие дополнительные материалы, необходимые для подготовки проведения учебных занятий находится на кафедре 24 «Авиационной техники и диагностики».

Лицензионное программное обеспечение:  
Microsoft Windows 7 Professional, Microsoft Windows Office Standard 2007.

## **8 Образовательные и информационные технологии**

Реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий, на основе современных информационных и образовательных технологий, что, в сочетании с внеаудиторной работой, приводит к формированию и развитию профессиональных компетенций обучающихся. Это позволяет учитывать, как исходный уровень знаний студентов, так и существующие методические, организационные и технические возможности обучения.

В процессе преподавания дисциплины «Теория авиационных двигателей» используются классические формы: лекции, практические занятия (текущий опрос, выполнение индивидуальных домашних заданий по темам), самостоятельная работа студента.

В рамках изучения дисциплины предполагается использовать следующие образовательные технологии.

Входной контроль предназначен для выявления уровня усвоения компетенций обучающимся, необходимых для изучения дисциплины. Входной контроль осуществляется по вопросам, на которых базируется читаемая дисциплина.

Традиционная лекция составляет основу теоретического обучения в рамках дисциплины и направлена на систематизированное изложение накопленных и актуальных научных знаний. Лекция предназначена для изучения конструкции и технической эксплуатации систем воздушных судов и авиационных двигателей. 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, с использованием ИТ - технологий, которое сопровождается одновременной демонстрацией слайдов, созданных в среде PowerPoint, при необходимости привлекаются открытые Интернет-ресурсы, а также демонстрационные и наглядно-иллюстрационные материалы.

Практические занятия по дисциплине проводятся в соответствии с учебно-тематическим планом по отдельным группам. Цель практических занятий – закрепить теоретические знания, полученные обучающимися на лекциях и в результате самостоятельного изучения соответствующих разделов рекомендуемой литературы, а также приобрести знания в конструкции авиационных двигателей. Практическое занятие предназначено для более глубокого освоения и анализа тем, изучаемых в рамках данной дисциплины.



Практические задания выполняются в целях практического закрепления теоретического материала, излагаемого на лекции, отработки навыков использования пройденного материала. Выполнение практического задания предполагает исследование актуальных проблем в сфере теории авиационных двигателей с использованием MS Office (Power Point), содержащие гиперссылки, необходимые для перехода к показам слайдов, презентаций, текстам, фигурам, таблицам, графикам и рисункам в презентации, документам Microsoft Office Word, листам Microsoft Office Excel, локальным или Интернет-ресурсам. Рассматриваемые в рамках практического занятия доклады имеют профессиональную направленность и содержат элементы, необходимые для формирования компетенций в рамках дисциплины «Теория авиационных двигателей».

Главной целью практического занятия является индивидуальная, практическая работа каждого обучающегося, направленная на формирование у него компетенций, определенных в рамках дисциплины «Теория авиационных двигателей». Это позволяет сформировать у студентов систему знаний, умений и навыков по методике и IT-технологии использования Интернет-ресурсов в процессе обучения.

На практических занятиях № 19 и 20 проводятся мастер-классы.

Самостоятельная работа студента (обучающегося) является составной частью учебной работы. Ее основной целью является формирование навыка самостоятельного приобретения знаний по некоторым не особо сложным вопросам теоретического курса, закрепление и углубление полученных знаний, самостоятельная работа с IT-технологиями, справочниками, периодическими изданиями, в том числе находящимися в глобальных компьютерных сетях. Самостоятельная работа подразумевает выполнение индивидуальных учебных заданий по темам.

IT-методы используются при проведении всех видов занятий Учебные мультимедийные материалы с использованием MS Office (Power Point), содержащие гиперссылки, необходимые для перехода к произвольным показам, указанным слайдам в презентации, к различным текстам, фигурам, таблицам, графикам и рисункам в презентации, документам Microsoft Office Word, листам Microsoft Office Excel, локальным или Интернет-ресурсам, а также к сообщениям электронной почты. Это позволяет сформировать у студентов систему знаний, умений и навыков по методике и технологии использования Интернет-ресурсов в процессе обучения, обеспечить продуктивный и творческий уровень деятельности при выполнении заданий.

По всем темам дисциплины проводятся интерактивные лекции в форме проблемных лекций в общем количестве 46 часов. В ходе проблемной лекции преподаватель включает в процесс изложения материала серию проблемных вопросов. Как правило, это сложные, ключевые для темы вопросы. Студенты приглашаются для размышлений и поиску ответов на них по мере их постановки. Типовая структура проблемной лекции включает: создание проблемной ситуации через постановку учебной проблемы; конкретизацию

этой проблемы, выдвижение гипотез по ее решению; мысленный эксперимент по проверке выдвинутых гипотез; проверку сформулированных гипотез, подбор аргументов и фактов для их подтверждения; формулировку выводов; подведение к новым противоречиям или перспективам изучения последующего материала; вопросы для обратной связи, помогающие корректировать умственную деятельность студентов на лекции.

Так же интерактивными являются практические занятия в форме метода развивающейся кооперации (решение задач в группах с последующим обсуждением), которые проводятся по теме 1 в общем количестве 2 часов.

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

Уровень и качество знаний обучающихся оцениваются по результатам входного контроля, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины в виде экзамена (6 семестр) и КУП и экзамена (7 семестр).

Текущий опрос успеваемости обучающихся осуществляется для оценки уровня остаточных знаний путём проведения устного или письменного опроса по темам дисциплины. Устный опрос проводится на практических занятиях в течение не более 10 минут с целью контроля усвоения теоретического материала, излагаемого на лекции. Перечень вопросов определяется уровнем подготовки учебной группы, а также индивидуальными особенностями обучающихся. Контроль выполнения задания, выдаваемого на самостоятельную работу, преследует собой цель своевременного выявления плохо усвоенного материала дисциплины для последующей корректировки или организации обязательной консультации. Проверка выданного задания производится не реже чем один раз в две недели.

Дискуссия – коллективное обсуждение какого-либо вопроса, проблемы либо сопоставление информации, идей, мнений, предложений. Главной чертой дискуссии является поиск решения на основе активного участия всех обучающихся и преподавателя.

Курсовой проект выполняется в соответствии с методическими указаниям по выполнению курсового проекта с целью закрепления студентом теоритических знаний и практических навыков, которые позволяют научно обоснованно и технически грамотно осуществлять техническую эксплуатацию воздушных судов, формировать сознательное и творческое отношения к выполнению требований, содержащихся в документах, регламентирующих техническую эксплуатацию.

Экзамен заключительный контроль, оценивающий уровень освоения компетенций за весь период изучения дисциплины.

Аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в виде зачета и экзамена в 6, 7 семестрах. Экзамен позволяет оценить уровень освоения компетенций за весь период изучения дисциплины. Экзамен предполагает ответ на теоретические вопросы из перечня вопросов, вынесенных на экзамен. К моменту сдачи экзамена должны быть пройдены предыдущие формы контроля. Методика формирования результирующей оценки в обязательном порядке учитывает активность студентов на занятиях, посещаемость занятий, оценки за практические работы, выполнение самостоятельных заданий.

### **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**

#### *6 семестр*

Результаты текущего контроля (устный опрос) оцениваются по двухбалльной системе: «зачтено» / «не зачтено».

Устный опрос в начале лекции или практического занятия по теме предыдущего занятия оценивается положительно в том случае, если обучающийся четко и ясно, по существу дает ответ на поставленный вопрос, или же не сразу дал верный ответ, но смог дать его правильно при помощи ответов на наводящие вопросы.

Результаты текущего контроля (индивидуальное домашнее задание) оцениваются по двухбалльной системе: «зачтено» / «не зачтено».

Основаниями для положительного оценивания и выставления «зачтено» являются: полное изложение полученных знаний в письменной и графической форме в соответствии с требованиями или неполное изложение полученных знаний, однако это не препятствует усвоению последующего программного материала. Допускаются: единичные, несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами; отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них; отдельные существенные ошибки.

Основаниями для выставления оценки «не зачтено» являются: неполное, бессистемное изложение учебного материала, что препятствует усвоению последующей информации по дисциплине. Существенные ошибки, неисправляемые даже с помощью преподавателя.

На момент сдачи зачета с оценкой студент должен получить «зачтено» за участие в устных опросах, по крайней мере, на 50 % лекционных занятий и

получить «зачтено», по крайней мере, за 50 % индивидуальных домашних заданий, участвовать в дискуссиях при проведении мастер-классов.

По итогам освоения дисциплины «Теория авиационных двигателей» проводится промежуточная аттестация обучающихся в форме зачета, предполагает устный ответ студента по билетам на вопросы из перечня.

Зачет по дисциплине проводится в 5 семестре.

#### *7 семестр*

Результаты текущего контроля (устный опрос) оцениваются по двухбалльной системе: «зачтено» / «не зачтено».

Устный опрос в начале лекции или практического занятия по теме предыдущего занятия оценивается положительно в том случае, если обучающийся четко и ясно, по существу дает ответ на поставленный вопрос, или же не сразу дал верный ответ, но смог дать его правильно при помощи ответов на наводящие вопросы.

Результаты текущего контроля (индивидуальное домашнее задание) оцениваются по двухбалльной системе: «зачтено» / «не зачтено».

Основаниями для положительного оценивания и выставления «зачтено» являются: полное изложение полученных знаний в письменной и графической форме в соответствии с требованиями или неполное изложение полученных знаний, однако это не препятствует усвоению последующего программного материала. Допускаются: единичные, несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами; отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них; отдельные существенные ошибки.

Основаниями для выставления оценки «не зачтено» являются: неполное, бессистемное изложение учебного материала, что препятствует усвоению последующей информации по дисциплине. Существенные ошибки, неисправляемые даже с помощью преподавателя.

На момент сдачи экзамена с оценкой студент должен получить «зачтено» за участие в устных опросах, по крайней мере, на 50 % лекционных занятий и получить «зачтено», по крайней мере, за 50 % индивидуальных домашних заданий, участвовать в дискуссиях при проведении мастер-классов.

По итогам освоения дисциплины «Термодинамика и теплопередача» проводится промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена, предполагает устный ответ студента по билетам на вопросы из перечня.

Курсовой проект: позволяет студентам понять методологию и основы проектирования и расчёта современных авиационных двигателей, основными целями которого являются:

- проверка способности студентов применять теоретические знания в выполнение термодинамического расчёта авиационных двигателей в заданных условиях;

- ознакомление студентов с методами и приёмами поиска оптимальных вариантов при определении размеров и параметров отдельных элементов двигателя и двигателя в целом;

- освоение навыков работы с научно-технической литературой, закрепление навыков самостоятельной творческой работы.

По итогам освоения дисциплины «Теория авиационных двигателей» проводится промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена и предполагает устный ответ студента по билетам на теоретические и практические вопросы из перечня. К экзамену допускаются студенты, выполнившие все требования учебной программы. Экзамен принимается преподавателем, ведущим занятия в данной группе по данной дисциплине, а также лектором данного потока, в помощь, решением заведующего кафедрой, могут назначаться преподаватели, ведущие занятия по данной дисциплине.

Экзамен является заключительным этапом изучения дисциплины «Теория авиационных двигателей» и имеет целью проверить и оценить учебную работу студентов, уровень полученных ими знаний, умение применять их к решению практических задач, овладение практическими навыками в объеме требований образовательной программы.

Зачет и экзамен проводятся в объеме материала рабочей программы дисциплины, изученного студентами в 3 и 4 семестре соответственно, по билетам в устной форме.

В итоге проведенного экзамена студенту выставляется оценка. Экзаменатор несет личную ответственность за правильность выставленной оценки и оформления экзаменационной ведомости и зачетной книжки.

### **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**

«Математика», «Термодинамика и теплопередача», «Воздушное право»,

Вопросы входного контроля по дисциплине «Математика»

- 1 Определение производной функции, ее геометрический смысл.

Извлечь корень:

- 2  $\sqrt[3]{8(a^3)^5 b^6}$

Упростить выражение:

$$3 \quad \frac{a^3 - ab^2}{ab + b^2}$$

Упростить выражение:

$$\frac{x^{-2} - y^{-2}}{x^{-1} + y^{-1}}$$

Вопросы входного контроля по дисциплине «Термодинамика и теплопередача», «Гидравлика», «Воздушное право»

Вариант 1 (В-1)

- 1 Назовите основные элементы турбореактивного двигателя ТРД.
- 2 Напишите формулу для определения степени повышения давления воздуха в ГТД.

Вариант 2 (В-2)

- 1 Что включает газогенератор любого ГТД?
- 2 Напишите формулу для определения степени подогрева воздуха в ГТД.

Вариант 3 (В-3)

- 1 Дайте определение ГТД согласно ГОСТа 23851-79.
- 2 В каких каналах происходит разгон газового (воздушного) потока, Назовите и изобразите.

Вариант 4 (В-4)

- 1 Изобразите функциональную схему ТРД с характерными сечениями.
- 2 В каких каналах происходит торможение газового (воздушного) потока? Назовите и изобразите.

Вариант 5 (В-5)

- 1 Изобразите идеальный цикл ГТД в рабочей диаграмме.
- 2 Напишите формулу для определения механической работы, подведённой к 1 кг воздуха в компрессоре.

Вариант 6 (В-6)

- 1 Изобразите идеальный цикл ГТД в тепловой диаграмме.
- 2 Какие параметры определяют величину полезной работы цикла ( $L_{\text{ц}}$ ) и КПД цикла ( $\eta_{\text{ц}}$ )?

Вариант 7 (В-7)

- 1 Напишите формулу для определения коэффициента полезного действия идеального цикла ГТД.
- 2 С какой целью исследуются циклы ГТД?

Вопросы входного контроля по дисциплине «Гидравлика»

- 1 Предмет гидравлики

- 2 Понятие о жидкости
- 3 Физические свойства жидкости
- 4 Силы, действующие в жидкости
- 5 Приборы для измерения давлений
6. Сила давления жидкости на плоские и криволинейные поверхности.
- 7 Кинематика и динамика жидкости
- 8 Аналитические методы исследования движения жидкости (метод Лагранжа и метод Эйлера)
- 9 Основные определения кинематики. Линия тока, трубка тока, элементарная струйка, элементарный расход
10. Уравнение Бернулли для реальной жидкости

Вопросы входного контроля по дисциплине «Воздушное право»

1 Уставом Международной организации гражданской авиации (ИКАО) является:

- 1 Устав Организации Объединенных Наций (ООН);
- 2 Специальная резолюция Организации Объединенных Наций (ООН);
- 3 Часть II Конвенции о Международной гражданской авиации (Чикагская конвенция);
- 4 Конвенция о воздушной навигации (Парижская конвенция 1919 года);

2 РФ является участницей Конвенции о международной гражданской авиации (Чикагской конвенции) в результате:

- 1 Универсального правопреемства от СССР;
- 2 Подписания и ратификации;
- 3 Присоединения и ратификации;
- 4 Референдума;

3 С государственной регистрацией воздушное судно:

- 1 Приобретает национальную принадлежность государства регистрации;
- 2 Становится транспортным средством;
- 3 Приобретает собственника или иного законного владельца;
- 4 Может использоваться для полетов;

4 Каким источником установлена верхняя граница воздушного пространства (нижняя граница космического пространства) государства на высоте 100-110 км над уровнем моря:

- 1 Конституция РФ;
- 2 Конвенция о международной гражданской авиации (Чикагская конвенция);
- 3 Общепризнанная норма международного права;
- 4 Воздушный кодекс РФ;

- 5 Нормы гражданского права, содержащиеся в Воздушном кодексе РФ:
  - 1 Имеют приоритет перед нормами гражданского права, содержащимися в других законах;
  - 2 Должны соответствовать нормам Гражданского кодекса РФ;
  - 3 При несоответствии нормам Гражданского кодекса РФ, применяются субъектом права по своему усмотрению;
  - 4 Могут без изменения дублировать нормы Гражданского кодекса РФ;
  
- 6 Эксплуатантом признается лицо:
  - 1 Правомерно владеющее воздушным судном и использующее его для полетов;
  - 2 Осуществляющее техническую эксплуатацию воздушного судна;
  - 3 Осуществляющее летную эксплуатацию воздушного судна;
  - 4 Правомерно владеющее воздушным судном и сдавшее его в аренду без экипажа;
  
- 7 С какого момента в РФ возникает право собственности на воздушное судно:
  - 1 После заключения договора;
  - 2 Во время передачи воздушного судна новому владельцу;
  - 3 После государственной регистрации права собственности и договора;
  - 4 После внесения данных о воздушном судне в сертификат эксплуатанта;

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

Оценивание курсового проекта: Оценка “отлично” ставится за проект, в котором содержатся элементы творчества, дается сравнительная характеристика рассматриваемых теоретических положений и глубокий системный анализ фактического материала, делаются самостоятельные выводы. Расчеты выполнены верно, без ошибок. Работа оформлена в полном соответствии с требованиями. На защите студент показал полное знание материала курсового проекта и дал аргументированные ответы на поставленные вопросы.

Оценка “хорошо” ставится тогда, когда проект выполнен на хорошем теоретическом уровне, достаточно полно освещаются вопросы темы. Анализ литературных источников выполнен, однако выводы не носят глубокий и всесторонний характер. Имеются некоторые нарушения в оформлении курсового проекта. Имеются незначительные ошибки в расчетах. На защите студент показал знание материала проведенных исследований. При ответах на ряд дополнительных вопросов аргументация была недостаточной.

Оценку “удовлетворительно” проекты, в которых правильно освещены основные вопросы темы, но не проявилось умение логически стройно и самостоятельно излагать источники. Имеется ряд нарушений требований в



оформлении работы. Имеют место существенные стилистические и грамматические ошибки. Имеются много ошибок в расчетах, которые не влияют на конечный результат. Выводы по разделам и параграфам носят описательный характер и не отражают результатов проведенного анализа. На ряд дополнительных вопросов студент не дал ясных ответов.

Оценка “неудовлетворительно” ставится в том случае, когда в проекте содержатся отдельные ошибочные положения, студент не может ответить на дополнительные вопросы в ходе защиты, не владеет материалом проекта, не в состоянии дать объяснения выводам и теоретическим положениям данной проблемы. Расчеты выполнены неправильно. В этом случае студенту предстоит повторная защита.

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания
<p>1 Способность к восприятию, анализу, критическому осмыслению, систематизации, полученной из разных источников, прогнозированию, постановке целей и выбору путей их достижения(ОК-6)</p> <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы и приемы восприятия, анализа, критического осмысления, систематизации и синтеза информации, полученной из разных источников, прогнозирования, постановки целей и выбор путей их достижения, касающихся: назначения, устройства принципов работы элементов(узлов) авиационного двигателя, и организации в них рабочего процесса;</li> <li>-сущность термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях;</li> <li>-методы расчета параметров рабочего тела, в узлах (частях) авиационных двигателей.</li> </ul>	<p>Понимает, описывает и оценивает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>методы и приемы восприятия, анализа, критического осмысления, систематизации и синтеза информации, полученной из разных источников, прогнозирования, постановки целей и выбор путей их достижения, касающихся: назначения, устройства принципов работы элементов(узлов) авиационного двигателя, и организации в них рабочего процесса;</li> <li>-сущность термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях;</li> <li>-методы расчета параметров рабочего тела, в узлах (частях) авиационных двигателей.</li> </ul>	<p>На экзамен выносятся вопросы, охватывающие все содержание учебной дисциплины.</p> <p>Знания обучающихся оцениваются по четырех бальной системе с выставлением обучающимся итоговой оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «не удовлетворительно».</p> <p>Оценка «отлично» при приеме зачёта с оценкой выставляется в случае: полного, правильного и уверенного изложения обучающимся учебного материала по каждому из вопросов; уверенного владения обучающимся понятийно-категориальным аппаратом учебной дисциплины; логически последовательного, взаимосвязанного и правильно структурированного изложения обучающимся учебного материала, умения устанавливать и прослеживать причинно-следственные связи</p>
<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- самостоятельно строить</li> </ul>	<p>Анализирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способы самостоятельного</li> </ul>	

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания
<p>процесс развития способности к восприятию, анализу, критическому осмыслению, систематизации и синтезу информации, прогнозирования, постановки целей и выбор путей их достижения для объяснения назначения, устройства, принципа работы узлов авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса;</p> <p>-анализировать причины изменения параметров авиационных двигателей в процессе эксплуатации;</p>	<p>построения процесс развития способности к восприятию, анализу, критическому осмыслению, систематизации и синтезу информации, прогнозирования, постановки целей и выбор путей их достижения для объяснения назначения, устройства, принципа работы узлов авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса;</p> <p>- причины изменения параметров авиационных двигателей в процессе эксплуатации;</p>	<p>между событиями, процессами и явлениями, о которых идет речь в вопросах; приведения обучающимся надлежащей аргументации, наличия у обучающегося логически и нормативно обоснованной точки зрения при освещении проблемных, дискуссионных аспектов учебного материала по вопросам; лаконичного и правильного ответа обучающегося на дополнительные вопросы преподавателя.</p>
<p>Владеть:</p> <p>- технологиями развития способности к восприятию, анализа, критическому осмыслению, систематизации, полученной из разных источников, прогнозированию, постановке целей и выбору путей их достижения.</p> <p>Касающихся: назначения, устройства, принципы работы элементов(узлов) авиационных двигателей, организации в них рабочего процесса;</p> <p>-методами осуществления термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях.</p>	<p>Применяет знания:</p> <p>-технологий развития способности к восприятию, анализа, критическому осмыслению, систематизации, полученной из разных источников, прогнозированию, постановке целей и выбору путей их достижения.</p> <p>Касающихся: назначения, устройства, принципы работы элементов(узлов) авиационных двигателей, организации в них рабочего процесса;</p> <p>- в методах осуществления термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях.</p>	<p>Оценка «хорошо» при приеме зачёта с оценкой выставляется в случае: грамотное, связное и непротиворечивое изложение сути вопроса; актуальность используемых в сообщении сведений; удовлетворительное качество изложения материала.</p>
<p>2 Способностью и готовностью приобретать новые знания, использовать различные формы обучения, информационно образовательные технологии(ОК-21)</p> <p>Знать:</p> <p>- методы и приемы приобретения новых знаний, использовать различные</p>	<p>Понимает, описывает и оценивает:</p> <p>- методы и приемы приобретения новых знаний, использовать различные формы обучения, информационно образовательные технологии касающихся: назначения, устройства принципа работы элементов(узлов)</p>	<p>Оценка «не удовлетворительно» при приеме зачёта с оценкой выставляется в случае: отказа обучающегося от ответа по билету с указанием, либо без указания причин; невозможности изложения обучающимся учебного</p>

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания
<p>формы обучения, информационно образовательные технологии касающихся: назначения, устройства принципа работы элементов(узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса.</p>	<p>авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса.</p>	<p>материала по двум или всем вопросам; допущения обучающимся существенных ошибок при изложении учебного материала по двум или всем вопросам; скрытое или явное использование обучающимся при подготовке к ответу нормативных источников, основной и дополнительной литературы, конспектов лекций и иного вспомогательного материала, кроме случаев специального указания или разрешения преподавателя; невладения обучающимся понятиями и категориями данной дисциплины; невозможность обучающегося дать ответы на дополнительные вопросы преподавателя.</p>
<p>Уметь: - самостоятельно строить процесс приобретения новых знаний, использовать различные формы обучения, информационно образовательные технологии касающихся: назначения, устройства принципа работы элементов(узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса.</p>	<p>Анализирует: -способы самостоятельного построения процесса приобретения новых знаний, использовать различные формы обучения, информационно образовательные технологии касающихся: назначения, устройства принципа работы элементов(узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса.</p>	<p>Обучающийся имеет право отказаться от ответа по выбранному вопросу с указанием, либо без указания причин и взять другой вопрос. Дополнительные вопросы могут быть заданы обучающемуся в случае: необходимости конкретизации и изложенной обучающимся информации по вопросам с целью проверки глубины знаний отвечающего по связанным между собой темам и проблемам; необходимости проверки знаний обучающегося по основным темам и</p>
<p>Владеть: - технологические приобретения 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.</p>	<p>Применяет знания: - в приобретении 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</p>	<p>Дополнительные вопросы могут быть заданы обучающемуся в случае: необходимости конкретизации и изложенной обучающимся информации по вопросам с целью проверки глубины знаний отвечающего по связанным между собой темам и проблемам; необходимости проверки знаний обучающегося по основным темам и</p>
<p>3 Способностью и готовностью использовать основные законы естественно научных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач (ПК-21)</p>	<p>Понимает, описывает и оценивает: - как использовать основные законы профильных задач с учетом знаний устройства, принципа работы элементов(узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса; -принципы работы авиационных двигателей; -принципы работы узлов</p>	<p>Дополнительные вопросы могут быть заданы обучающемуся в случае: необходимости конкретизации и изложенной обучающимся информации по вопросам с целью проверки глубины знаний отвечающего по связанным между собой темам и проблемам; необходимости проверки знаний обучающегося по основным темам и</p>

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания
<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- как использовать основные законы профильных задач с учетом знаний устройства, принципа работы элементов(узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса;</li> <li>-конструкцию авиационных двигателей и их систем</li> <li>-принципы работы авиационных двигателей;</li> <li>-принципы работы узлов авиационных двигателей;</li> <li>-принципы проектирования авиационных двигателей;</li> <li>-влияние атмосферных условий на характеристики авиационных двигателей;</li> <li>-ограничение параметров авиационных двигателей;</li> </ul>	<p>авиационных двигателей;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-принципы проектирования авиационных двигателей;</li> <li>-влияние атмосферных условий на характеристики авиационных двигателей;</li> <li>-ограничение параметров авиационных двигателей.</li> </ul>	<p>проблемам курса при недостаточной полноте его ответа по вопросам.</p>
<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- практически использовать основные законы профильных задач с учетом знаний устройства, принципа работы элементов(узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса;</li> <li>-производить расчёт параметров термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях при решении профессиональных задач;</li> <li>-применять законы термодинамики и основные уравнения газовой динамики для решения практических задач</li> <li>-оценивать влияние атмосферных условий на характеристики авиационных двигателей;</li> </ul>	<p>Анализирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- практическое использование основных законов профильных задач с учетом знаний устройства, принципа работы элементов(узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса;</li> <li>- расчёт параметров термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях при решении профессиональных задач;</li> <li>- законы термодинамики и основные уравнения газовой динамики для решения практических задач</li> <li>- влияние атмосферных условий на характеристики авиационных двигателей;</li> </ul>	
<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методиками и принципами</li> </ul>	<p>Применяет знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- в методиках и принципах</li> </ul>	

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания
использования основных законов профильных задач с учетом знаний устройства, принципа работы элементов (узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса; -навыками расчета термодинамических параметров, протекающих в авиационных двигателях.	использования основных законов профильных задач с учетом знаний устройства, принципа работы элементов (узлов) авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса; -в расчете термодинамических параметров, протекающих в авиационных двигателях.	
4 Способностью организовывать, обеспечивать и осуществлять техническое обслуживание и ремонт воздушных судов (планера и силовых установок) (ПСК-9.1) Знать: - как организовывать, обеспечивать и осуществлять техническое обслуживание и ремонт воздушных судов (планера и силовых установок) на основе знаний устройства, принципа работы узлов авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса.	Понимает, описывает и оценивает: - как организовывать, обеспечивать и осуществлять техническое обслуживание и ремонт воздушных судов (планера и силовых установок) на основе знаний устройства, принципа работы узлов авиационных двигателей и организации в них рабочего процесса.	
Уметь: - организовывать, обеспечивать и осуществлять техническое обслуживание и ремонт воздушных судов (планера и силовых установок).	Анализирует: - методы организации, обеспечения и осуществления технического обслуживания и ремонт воздушных судов (планера и силовых установок).	
Владеть: - 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.	Применяет знания: - в методах и принципах 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.	

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

6 семестр

Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 1.1.

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 вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.1.

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 вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.2.

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  $101325 \text{ Па}$ , 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  $1 \cdot 10^5 \text{ Па}$  до  $1,25 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

Вариант 3 (В-3)

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

2 Степень повышения давления 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 вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.2

#### 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  $t_b^* = 15$  °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 вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.3

#### 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 вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.4

#### 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:  $\kappa_r = 1,33$ ;  $R_r = 288$  Дж/(кг·К);  $C_{pr} = 1160,7$  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 вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.5

#### 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.

7 семестр

Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 3.1

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.

6 семестр

Примерный перечень вариантов заданий для проведения текущего контроля успеваемости по темам 1.1 и 2.1 (Письменная самостоятельная работа)

(Темы 1.1 и 2.1) 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.

(Темы 1.1 и 2.1) 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.

(Темы 1.1 и 2.1) 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.

(Темы 1.1 и 2.1) 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,  $G_r=G_B=100$  кг/с,  $p_c=p_n$ ,  $c_c=1,5$  V

(Темы 1.1 и 2.1) 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 заданий для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.2 (Письменная самостоятельная работа)

(Тема 2.2) 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.

(Тема 2.2) 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.;  $t_6^* = 15^\circ\text{C}$ .

(Тема 2.2) 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  $\pi_k^* = 16$ , адиабатный КПД  $\eta_k^* = 0,86$ . Определить предельную работу сжатия  $L_k$  и подогрев воздуха в компрессоре  $\Delta T^*$  при стандартных условиях на входе в компрессор.

(Тема 2.2) 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.

(Тема 2.2) 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  $n_{зам} = 208$  с<sup>-1</sup>, а замеренный расход воздуха через компрессор составил  $60$  кг/с.

Примерный перечень вариантов заданий для проведения текущего контроля успеваемости по темам 2.3 и 2.4 (Письменная самостоятельная работа)

(По темам 2.3 и 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  $H_{p,k} = 360$  кДж/кг. Объяснить физический смысл полученного результата.

(По темам 2.3 и 2.4) 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?

(По темам 2.3 и 2.4) 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.

(По темам 2.3 и 2.4) 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 м<sup>3</sup>/кг. Газ, совершая работу в турбине, уменьшает своё давление до 0,9·10<sup>5</sup> Па. Определить степень понижения давления газа в турбине. Принять  $R_f = 288$  Дж/(кг·К)

(По темам 2.3 и 2.4) 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 4,8·10<sup>5</sup> Па, а на выходе из третьей ступени давление уменьшилось до 1,2·10<sup>5</sup> 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.

## Семестр 7

Перечень вариантов заданий для проведения текущего контроля успеваемости по теме 3.1 (Письменная самостоятельная работа)

(По теме 3.1) 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  $M_H = 1,8$ , если известны:  $\pi_\Sigma = 30$ ;  $T_f^* = 1500$  К;  $\eta_p = 0,92$ ;  $\eta_c = 0,84$ ;  $\bar{m} = 1,05$ .

(По теме 3.1) Вариант 2

1. Параметры рабочего процесса.
- 2 Законы управления двухвальным газогенератором. Реализация закона управления  $\pi_{квд} = \text{const}$ ;
- 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:  $p_c^* = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ,  $D_c = 1 \text{ м}$ ,  $p_c = p_n$ ;  $t_c^* = 627^\circ\text{C}$ .

(По теме 3.1) 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:  
 $\pi_r = \pi_{opi}$ ;  $T_c^* = 1400 \text{ К}$ ;  $\eta_p = 0,92$ ;  $\eta_c = 0,86$ ;  $\bar{m} = 1,05$ .

(По теме 3.1) 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 заданий для проведения текущего контроля успеваемости по темам 3.2, 3.3, 3.4 (Письменная самостоятельная работа)

(По теме 3.2, 3.3, 3.4) 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.

(По теме 3.2, 3.3, 3.4) 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.

(По теме 3.2, 3.3, 3.4) 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.

(По теме 3.2, 3.3, 3.4) 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.

(По теме 3.2, 3.3, 3.4) 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,  $G_g = 6,62$  кг/с; работу на валу свободной турбины  $L_{см} = 272031$  Дж/кг;  $g_T = 0,02$ ;  $g_{охл} = 0,09$ ;  $g_{отб} = 0,025$ ;  $\eta_T = 0,98$ ,  $C_n = 1,2723$  кДж/(кг·К).

Примерный перечень практических заданий для экзаменационных вопросов:

#### 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  $Q = \frac{G_{т.ч} \cdot H_u}{3600 \cdot \eta_{в}}$ .

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  $V > C_{вк}$ .

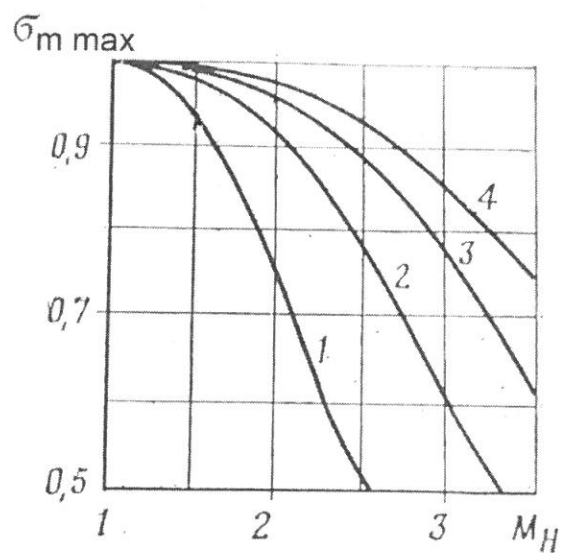
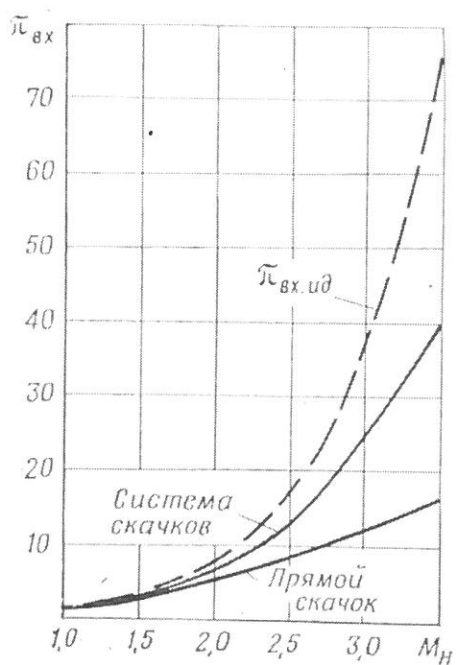
Вопрос 2.6

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:  $U = 260$  м/с,  $\overline{\Delta c_u} = \Delta C/u = 0,5$

10 Определить адиабатный КПД осевой ступени компрессора, если известны:  $\pi_{cm}^* = 1,3$ ;  $T_1^* = 288$  К;  $T_3^* = 313,5$  К.

11 Определить степень повышения давления воздуха в компрессоре, если давление на входе в компрессор –  $1 \cdot 10^5$  Па, а на выходе  $25 \cdot 10^5$  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:  $T_k^* = 650$  К,  $\eta_k^* = 0,84$ .

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

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:  $\pi_k = \frac{p_k}{p_b} = 10$ ,  $T_b = 288$  К 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  $\eta_{ст}$ .

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 ТРД.

### 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  $c_1$  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?

Примерный перечень экзаменационных вопросов:

6 семестр



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

- 26 Назначение, основные параметры, требования, предъявляемые к газовым турбинам. Типы турбин.
- 27 Схема и принцип работы ступени газовой турбины. Изменения параметров газа в ступени турбины.
- 28 Необходимость применения многоступенчатых турбин. Формы проточной части турбин.
- 29 КПД турбины, их анализ. Потери в ступени турбины.
- 30 Системы и способы охлаждения лопаток газовых турбин. Эффективность различных способов воздушного охлаждения.
- 31 Выходные устройства ГТД, назначения, схемы, основные параметры, характеризующие работу входного устройства.
- 32 Реверс тяги. Требования, предъявляемые к реверсивным устройствам. Схемы реверсивных устройств.

#### 7 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**

Изучение дисциплины «Теория авиационных двигателей» обучающимися организуется в следующих формах: лекции, практические занятия под руководством преподавателя и самостоятельная работа студентов.

Изучение каждого раздела рекомендуется начинать с анализа общей его структуры и круга рассматриваемых вопросов, затем перейти к изучению материала по темам.

Лекции являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся по дисциплине «Испытания авиационной техники». 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, его прикладной стороной. Слушая лекцию, необходимо научиться выделять и фиксировать ее ключевые моменты, записывая их более четко и выделяя каким-либо способом из общего текста. Кроме того, необходимо научиться делать понятные для обучающегося сокращения при записи текста лекции и, в целом, стремиться освоить быструю манеру письма.

Полезно применять какую-либо удобную систему сокращений и условных обозначений (из известных или выработанных самостоятельно), что поможет значительно ускорить процесс записи лекции. При ведении конспекта лекции необходимо четко фиксировать рубрикацию материала – разграничение разделов, тем, вопросов, параграфов и т. п. Качественно сделанный конспект лекций поможет обучающимся в процессе самостоятельной работы, подготовке к практическим занятиям, выполнении докладов, при подготовке к сдаче зачета с оценкой.

Цель практических занятий – закрепить теоретические знания, полученные студентами на лекциях и в результате самостоятельного изучения соответствующих разделов рекомендуемой литературы, а также приобрести знания и умения в области испытаний авиационной техники. Вместе с тем, на этих занятиях, осуществляется активное формирование и развитие навыков и качеств, необходимых для последующей профессиональной деятельности – овладение методикой анализа и принятия решений.

Любое практическое занятие начинается, как правило, с формулирования его целевых установок. Темы практических занятий заранее сообщаются обучающимся для того, чтобы они имели возможность подготовиться и проработать соответствующие теоретические вопросы дисциплины. В начале каждого практического занятия преподаватель кратко доводит до обучающихся цель и задачи занятия и обращает внимание обучающихся на наиболее сложные вопросы, относящиеся к изучаемой теме. В рамках части практических занятий проводятся мастер-классы.

Мастер-класс включает демонстрацию специалистом своего мастерства или своего понимания проблемы в практической форме. Вовлечение реализуется вовлечение в активную деятельность по освоению мастерства под контролем специалиста. Роль мастера — консультант, помогающий организовать учебную работу, осмыслить на новом более высоком уровне практическую деятельность. Наличие аудитории, воспринимающей процесс общения мастера и обучающегося, которая может вмешиваться в этот процесс, задавая вопросы и прося сделать пояснения.

Самостоятельная работа студента является важной составной частью учебного процесса и проводится в целях закрепления и углубления знаний, полученных на лекциях и других видах занятий, выработки навыков работы с литературой, активного поиска новых знаний, выполнения докладов, подготовки к предстоящим занятиям.

Целью самостоятельной работы обучающихся при изучении настоящей учебной дисциплины является выработка ими навыков работы с нормативно-

правовыми актами, научной и учебной литературой, другими источниками, а также развитие у обучающихся устойчивых способностей к самостоятельному (без помощи преподавателя) изучению и обработке полученной информации.

В процессе самостоятельной работы обучающийся должен воспринимать, осмысливать и углублять получаемую информацию, решать практические задачи, анализировать ситуации, подготавливать доклады, овладевать профессионально необходимыми навыками. Самостоятельная работа обучающегося весьма многообразна и содержательна. Она включает следующие виды занятий:

- самостоятельный подбор, изучение, конспектирование, анализ учебно-методической и научной литературы, периодических научных изданий, нормативно-правовых документов, статистической информации;

- индивидуальная творческая работа по осмыслению собранной информации, проведению сравнительного анализа материалов, полученных из разных источников, интерпретации информации, подготовка докладов;

В процессе изучения дисциплины «Теория авиационных двигателей» важно постоянно пополнять и расширять свои знания. Изучение рекомендованной литературы и других источников информации является важной составной частью восприятия и усвоения новых знаний. Кроме того, необходимо отметить, что, в определенном смысле, качественный уровень всей самостоятельной работы обучающегося определяется уровнем самоконтроля.


Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 162001 «Эксплуатация воздушных судов и организация воздушного движения»

Программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры № 24 «Авиационной техники и диагностики»

«15» января 2018 года, протокол № 10.

Разработчики:

Старший преподаватель

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

Никифоров А.И.

Заведующий кафедрой:

Д.Т.Н., доцент, с.н.с.

  
(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы заведующего кафедрой)

Тарасов В.Н.

Программа согласована:

Руководитель ОПОП

Д.Т.Н., доцент, с.н.с.

  
(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы руководителя ОПОП)

Тарасов В.Н.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании Учебно-методического совета Университета «14» февраля 2018 года, протокол № 5.