



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)**

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Ректор

Л.Ю. Михальчевский/

« 23 » *ноября* 2023 года

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Конструкция и прочность авиационных двигателей**

Направление подготовки

**25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей**

Профиль

**Поддержание летной годности**

Квалификация выпускника

**бакалавр**

Форма обучения

**очная**

Санкт-Петербург

2023

## 1 Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Конструкция и прочность авиационных двигателей» является получение обучающимися базовых знаний о конструкции авиационных газотурбинных двигателей, используемых в гражданской авиации.

Задача дисциплины «Конструкция и прочность авиационных двигателей» состоит в формировании у студентов знаний, умений и навыков по основам деятельности в системе поддержания летной годности воздушных судов, готовности самостоятельного решения вопросов прочности конструкции авиационных газотурбинных двигателей в объеме, требуемом для успешной работы специалистов, осуществляющих техническое обслуживание и ремонт отечественной и зарубежной авиационной техники в гражданской авиации.

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

## 2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Конструкция и прочность авиационных двигателей» представляет собой дисциплину, относящуюся к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина «Конструкция и прочность авиационных двигателей» базируется на результатах обучения, полученных при изучении дисциплин: «Методы и средства диагностирования», «Методы и средства исследований».

Дисциплина «Конструкция и прочность авиационных двигателей» является обеспечивающей для дисциплин: «Испытание воздушных судов», «Испытание авиационных двигателей».

Дисциплина изучается в 7 семестре.

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс освоения дисциплины «Конструкция и прочность авиационных двигателей» направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции / индикатора	Результат обучения: наименование компетенции; индикаторы компетенции
<b>ПК-8</b>	Способен организовывать и обеспечивать проведение измерений и инструментальный контроль, осуществлять диагностирование, прогнозирование технического состояния воздушных судов и

Код компетенции / индикатора	Результат обучения: наименование компетенции; индикаторы компетенции
	авиационных двигателей
ИД <sub>ПК8</sub> <sup>1</sup>	Организует проведение измерений и инструментального контроля при осуществлении диагностирования и определения технического состояния авиационной техники
ИД <sub>ПК8</sub> <sup>2</sup>	Владеет методами и понимает важность проведения диагностирования, прогнозирования технического состояния воздушных судов и авиационных двигателей

### **Планируемые результаты изучения дисциплины:**

Знать:

- как влияют процессы, протекающие в механизмах, агрегатах, системах и конструктивных элементах воздушных судов на работоспособность авиационных двигателей;

- методы проведения диагностирования, измерений и инструментального контроля, прогнозирования технического состояния авиационных двигателей.

Уметь:

- анализировать процессы авиационных двигателей, систем и конструктивных элементов воздушных судов и авиационных двигателей на уровень надежности;

- применять методы проведения диагностирования, измерений и инструментального контроля, прогнозирования технического состояния авиационных двигателей.

Владеть:

- методами проведения диагностирования, измерений и инструментального контроля, прогнозирования технического состояния авиационных двигателей;

- методами восстановления работоспособности конструктивных элементов авиационных двигателей.

### **4 Объем дисциплины и виды учебной работы**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 академических часа.

Наименование	Всего часов	Семестры
		7
Общая трудоемкость дисциплины	144	144
Контактная работа, всего	58,5	58,5

лекции	28	28
практические занятия	24	24
семинары	-	-
лабораторные работы	0	0
курсовые проекты (работы)	4	4
Самостоятельная работа студента	52	52
Промежуточная аттестация	36	36
Контактная работа	2,5	2,5
Самостоятельная работа по подготовке к экзамену	33,5	33,5

## 5 Содержание дисциплины

### 5.1 Соотнесения тем дисциплины и формируемых компетенций

Темы дисциплины	Количество часов	Компетенции	Образовательные технологии	Оценочные средства
		ПК-8		
Тема 1. Общие сведения о конструкции авиационных газотурбинных двигателей.	3,5	+	ВК, Л, ПЗ, СРС	У, Д,Т
Тема 2. Конструкция одноконтурных ТРД (на примере двигателей АМ-3/РД-3М-500, РД-35-51А, РУ19-300 и др.).	9,5	+	Л, ПЗ, СРС, КУР	У, Д,Т
Тема 3. Конструкция двухконтурных ТРД (ТРДД) с малой степенью двухконтурности (на примере двигателей Д-20П, Д-30, Д-30КП/КУ, НК-8-2У, АИ-25 и др.).	11,5	+	Л, ПЗ, СРС	У, Д,Т
Тема 4. Конструкция двухвальных ТРДД большой степени двухконтурности (на примере двигателей CFM56-5/-7, SaM-146, LEAP-1A, V2500, ПС-90А, ПД-14 и др.).	15,5	+	Л, ПЗ, СРС	У, Д,Т
Тема 5. Конструкция трехвальных ТРДД большой степени двухконтурности (на примере двигателей RB211, Trent-100, Д-36/436, Д-18Т, НК-32 и др.).	6,5	+	Л, ПЗ, СРС,	У, Д,Т

Темы дисциплины	Количество часов	Компетенции	Образовательные технологии	Оценочные средства
		ПК-8		
Тема 6. Конструкция редукторных ТРДД большой степени двухконтурности (на примере двигателей ALF502, TFE731, PW1215/1217 и др.).	2	+	Л, ПЗ, СРС	У, Д, Т
Тема 7. Конструкция турбовинтовых газотурбинных двигателей (на примере двигателей РТ6А, РW100, НК-12МВ, АИ-20/24, ТВ7-117 и др.).	8	+	Л, ПЗ, СРС	У, Д, Т
Тема 8. Конструкция авиационных турбовальных (вертолётных) газотурбинных двигателей (на примере двигателей Д-25В, РТ6Т, Д-136, ТВ2-117, ТВ3-117, ВК2500, ТВ7-117В... и др.).	9	+	Л, ПЗ, СРС	У, Д, Т
Тема 9. Конструкция винтовентиляторных газотурбинных двигателей (на примере двигателей Д-27, НК-93, ... и др.).	2	+	Л, ПЗ, СРС	У, Д, Т
Тема 10. Статические нагрузки, действующие на основные узлы авиационных ГТД.	5,5	+	Л, ПЗ, СРС	У, Д, Т
Тема 11. Основы теории прочности деталей авиационных ГТД.	4	+	Л, ПЗ, СРС	У, Д, Т
Тема 12. Статическая прочность рабочих лопаток авиационных ГТД.	8	+	Л, ПЗ, СРС	У, Д, Т
Тема 13. Статическая прочность дисков и дисковых элементов роторов авиационных ГТД.	6,5	+	Л, ПЗ, СРС	У, Д, Т
Тема 14. Динамическая прочность рабочих лопаток и дисков авиационных ГТД.	8	+	Л, ПЗ, СРС,	У, Д, Т
Тема 15. Критические частоты вращения и балансировка роторов авиационных ГТД.	4	+	Л, ПЗ, СРС	У, Д, Т

Темы дисциплины	Количество часов	Компетенции	Образовательные технологии	Оценочные средства
		ПК-8		
Тема 16. Конструкция и прочность статоров авиационных ГТД.	4,5	+	Л, ПЗ, СРС	У, Д, Т, ЗК
Итого по дисциплине	108			
Промежуточная аттестация	36			
Всего дисциплине	144			

Сокращения: ВК – входной контроль, Л – лекция, ПЗ – практическое занятие, КУР – курсовая работа, СРС – самостоятельная работа студента, У – устный опрос, Д – доклад, Т – тест, ЗК – защита курсовой работы.

## 5.2 Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

Наименование темы дисциплины	Л	ПЗ	С	ЛР	СРС	КР	Всего часов
Тема 1. Общие сведения о конструкции авиационных газотурбинных двигателей.	1	0,5	–	–	2	–	3,5
Тема 2. Конструкция одноконтурных ТРД (на примере двигателей АМ-3/РД-3М-500, РД-35-51А, РУ19-300 и др.).	2	1,5	–	–	4	2	9,5
Тема 3. Конструкция двухконтурных ТРД (ТРДД) с малой степенью двухконтурности (на примере двигателей Д-20П, Д-30, Д-30КП/КУ, НК-8-2У, АИ-25 и др.).	3	2,5	–	–	6	–	11,5
Тема 4. Конструкция двухвальных ТРДД большой степени двухконтурности (на примере двигателей CFM56-5/-7, SaM-146, LEAP-1A, V2500, ПС-90А, ПД-14 и др.).	4	3,5	–	–	8	–	15,5
Тема 5. Конструкция трехвальных ТРДД большой степени двухконтурности (на примере двигателей	2	1,5	–	–	3	–	6,5

Наименование темы дисциплины	Л	ПЗ	С	ЛР	СРС	КР	Всего часов
RB211, Trent-100, Д-36/436, Д-18Т, НК-32 и др.).							
Тема 6. Конструкция редукторных ТРДД большой степени двухконтурности (на примере двигателей ALF502, TFE731, PW1215/1217 и др.).	0,5	0,5	–	–	1	–	2
Тема 7. Конструкция турбовинтовых газотурбинных двигателей (на примере двигателей PT6A, PW100, НК-12МВ, АИ-20/24, ТВ7-117 и др.).	2	2	–	–	4	–	8
Тема 8. Конструкция авиационных турбовальных (вертолётных) газотурбинных двигателей (на примере двигателей Д-25В, PT6Т, Д-136, ТВ2-117, ТВ3-117, ВК2500, ТВ7-117В... и др.).	2	2	–	–	5	–	9
Тема 9. Конструкция винтовентиляторных газотурбинных двигателей (на примере двигателей Д-27, НК-93, ... и др.).	0,5	0,5	–	–	1	–	2
Тема 10. Статические нагрузки, действующие на основные узлы авиационных ГТД.	2	1,5	–	–	2	–	5,5
Тема 11. Основы теории прочности деталей авиационных ГТД.	1	1	–	–	2	–	4
Тема 12. Статическая прочность рабочих лопаток авиационных ГТД.	2	2	–	–	4	–	8
Тема 13. Статическая прочность дисков и дисковых элементов роторов авиационных ГТД.	2	1,5	–	–	3	–	6,5
Тема 14. Динамическая прочность рабочих лопаток и дисков авиационных ГТД.	2	2	–	–	4	–	8
Тема 15. Критические частоты вращения и балансировка роторов авиационных ГТД.	1	1	–	–	2	–	4
Тема 16. Конструкция и прочность статоров авиационных ГТД.	1	0,5	–	–	1	2	4,5
Всего по дисциплине	28	24	–	–	52	4	108
Промежуточная аттестация							36
Итого по дисциплине							144

Сокращения: Л – лекция, ПЗ – практическое занятие, С – семинар, ЛР –

лабораторная работа, СРС – самостоятельная работа студента, КР – курсовая работа.

### **5.3 Содержание дисциплины**

**Тема 1. Общие сведения о конструкции авиационных газотурбинных двигателей.**

Краткая история и причины создания авиационных ГТД. Российские и зарубежные разработчики и производители этих двигателей. Наиболее удачные двигатели, выпускавшиеся массовыми сериями.

**Тема 2. Конструкция одноконтурных ТРД (на примере двигателей АМ-3/РД-3М-500, РД-35-51А, РУ19-300 и др.).**

Особенности конструкции одноконтурных ТРД. Причины их низкой экономичности. Области рационального применения авиационных одноконтурных ТРД.

**Тема 3. Конструкция двухконтурных ТРД (ТРДД) с малой степенью двухконтурности (на примере двигателей Д-20П, Д-30, Д-30КП/КУ, НК-8-2У, АИ-25 и др.).**

Особенности конструкции двухконтурных ТРД (ТРДД) с малой степенью двухконтурности.

**Тема 4. Конструкция двухвальных ТРДД большой степени двухконтурности (на примере двигателей CFM56-5/-7, SaM-146, LEAP-1A, V2500, ПС-90А, ПД-14 и др.).**

Особенности конструкции двухвальных ТРДД большой степени двухконтурности.

**Тема 5. Конструкция трехвальных ТРДД большой степени двухконтурности (на примере двигателей RB211, Trent-100, Д-36/436, Д-18Т, НК-32 и др.).**

Особенности конструкции трёхвальных ТРДД большой степени двухконтурности.

**Тема 6. Конструкция редукторных ТРДД большой степени двухконтурности (на примере двигателей ALF502, TFE731, PW1215/1217 и др.).**

Особенности конструкции редукторных ТРДД большой степени двухконтурности.

**Тема 7. Конструкция турбовинтовых газотурбинных двигателей (на примере двигателей РТ6А, РW100, НК-12МВ, АИ-20/24, ТВ7-117 и др.).**

Особенности конструкции турбовинтовых газотурбинных двигателей.

**Тема 8. Конструкция авиационных турбовальных (вертолётных) газотурбинных двигателей (на примере двигателей Д-25В, РТ6Т, Д-136, ТВ2-117, ТВ3-117, ВК2500, ТВ7-117В... и др.).**

Особенности конструкции авиационных турбовальных (вертолетных) газотурбинных двигателей.

**Тема 9. Конструкция винтовентиляторных газотурбинных двигателей (на примере двигателей Д-27, НК-93, ... и др.).**

Особенности конструкции винтовентиляторных газотурбинных двигателей.

**Тема 10. Статические нагрузки, действующие на основные узлы авиационных ГТД.**

Оценивание статических нагрузок, действующих на: участок проточного газо-воздушного тракта, входное устройство, осевой компрессор, камеру сгорания, реактивное сопло. Силовое взаимодействие основных узлов ГТД. Гироскопические моменты, действующие на роторы. Формирование тяги в ТРД, ТРДД, ТВД (ТВВД).

**Тема 11. Основы теории прочности деталей авиационных ГТД.**

Основные положения теории прочности. Концепция представления конструкционного материала как твёрдого деформируемого тела. Понятие нормального и касательного напряжений. Закон Роберта Гука. Классическая диаграмма растяжения/сжатия конструкционного материала. Диаграммы растяжения конструкционных материалов, применяемых в авиационном двигателестроении. Пределы кратковременной, длительной и усталостной прочности. Условие и запас прочности. Действующие и допустимые напряжения. Современные методы прочностных расчётов (метод конечных элементов). Особенности применения теории прочности к деталям из композиционных материалов.

**Тема 12. Статическая прочность рабочих лопаток авиационных ГТД.**

Варианты исполнения рабочих лопаток и их крепление к дискам роторов. Лопатки и диски, изготовленные по технологии «Blisk». Статические нагрузки, действующие на рабочие лопатки компрессоров и турбин авиационных ГТД. Расчёт действующих напряжений и распределения коэффициента запаса прочности по высоте рабочей лопатки.

**Тема 13. Статическая прочность дисков и дисковых элементов роторов авиационных ГТД.**

Варианты конструктивного исполнения дисков и дисковых элементов роторов авиационных ГТД. Статические нагрузки, действующие на диски.

Расчет действующих напряжений и коэффициента запаса прочности тонкого диска. Использование метода конечных элементов для расчетов распределения напряжений в реальном диске, в том числе и с учетом его пластических деформаций. Конструктивные и эксплуатационные мероприятия, направленные на обеспечение статической прочности дисков и дисковых элементов авиационных ГТД.

**Тема 14. Динамическая прочность рабочих лопаток и дисков авиацион-ных ГТД.**

Причины возникновения колебаний рабочих лопаток и дисков. Основы теории колебаний. Собственные колебания простейшей системы без трения. Собственные колебания простейшей системы с силой трения, пропорциональной скорости колебаний. Вынужденные колебания простейшей системы с трением. Коэффициент динамичности. Явление резонанса. Собственные частоты и формы колебаний реальных лопаток и дисков. Частотные диаграммы.

**Тема 15. Критические частоты вращения и балансировка роторов авиационных ГТД.**

Понятие о критической частоте вращения роторов. Определение критической частоты вращения простейшего однодискового ротора. Гибкие и жесткие роторы. Многодисковые роторы. Упругие и упруго-демпферные опоры роторов. Статическая и динамическая балансировка роторов. Многороторные авиационные ГТД как сложные колебательные системы, вибрации элементов ГТД. Конструктивные и эксплуатационные методы снижения вибраций, обусловленных дисбалансами роторов.

**Тема 16. Конструкция и прочность статоров авиационных ГТД.**

Типы силовых корпусов, конструктивные особенности элементов статоров. Нагрузки, действующие на элементы статоров. Статическая и динамическая прочность статоров. Конструктивные мероприятия, направленные на обеспечение прочности статоров.

**5.4 Практические занятия**

Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий	Трудо-емкость (часы)
1	Практическое занятие 1. Общие сведения о конструкции авиационных газотурбинных двигателей.	2

Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (часы)
2	Практическое занятие 2. Конструкция одноконтурных ТРД (на примере двигателей АМ-3/РД-3М-500, РД-35-51А, РУ19-300 и др.).	2
3	Практическое занятие 3. Конструкция двухконтурных ТРД (ТРДД) с малой степенью двухконтурности (на примере двигателей Д-20П, Д-30, Д-30КП/КУ, НК-8-2У, АИ-25 и др.).	2
4	Практическое занятие 4. Конструкция двухвальных ТРДД большой степени двухконтурности (на примере двигателей CFM56-5/-7, SaM-146, LEAP-1A, V2500, ПС-90А, ПД-14 и др.).	2
5	Практическое занятие 5. Конструкция трехвальных ТРДД большой степени двухконтурности (на примере двигателей RB211, Trent-100, Д-36/436, Д-18Т, НК-32 и др.).	2
6	Практические занятия 6. Конструкция редукторных ТРДД большой степени двухконтурности (на примере двигателей ALF502, TFE731, PW1215/1217 и др.).	2
7, 8, 9	Практическое занятие 7. Тема 7. Конструкция турбовинтовых газотурбинных двигателей (на примере двигателей РТ6А, РW100, НК-12МВ, АИ-20/24, ТВ7-117 и др.). Тема 8. Конструкция авиационных турбовальных (вертолётных) газотурбинных двигателей (на примере двигателей Д-25В, РТ6Т, Д-136, ТВ2-117, ТВ3-117, ВК2500, ТВ7-117В... и др.). Тема 9. Конструкция винтовентиляторных газотурбинных двигателей (на примере двигателей Д-27, НК-93, ... и др.).	2
10, 11	Практическое занятие 8. Тема 10. Статические нагрузки, действующие на основные узлы авиационных ГТД. Тема 11. Основы теории прочности деталей авиационных ГТД.	2
12, 13	Практическое занятие 9. Тема 12. Статическая прочность рабочих лопаток авиационных ГТД. Тема 13. Статическая прочность дисков и	2

Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий	Трудо-емкость (часы)
	дисковых элементов роторов авиационных ГТД.	
14	Практическое занятие 10. Тема 14. Динамическая прочность рабочих лопаток и дисков авиационных ГТД.	2
15	Практическое занятие 11. Тема 15. Критические частоты вращения и балансировка роторов авиационных ГТД.	2
16	Практические занятия 12. Тема 16. Конструкция и прочность статоров авиационных ГТД.	2
Итого по дисциплине		24

### 5.5 Лабораторный практикум

Лабораторный практикум учебным планом не предусмотрен.

### 5.6 Самостоятельная работа

Номер темы дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (часы)
1	Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме. [1, 2, 6, 7-18] Подготовка к устному опросу.	2
2	Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме. [1, 4, 5, 7-18] Подготовка к устному опросу. Анализ задания по курсовой работе	4
3	Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме. [1, 5, 7-18] Подготовка к устному опросу. Подготовка к тесту.	6

Номер темы дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (ЧАСЫ)
	Подготовка доклада. Выполнение и оформление курсовой работы.	
4	Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме. [1, 2, 3, 7-18] Подготовка к устному опросу. Выполнение и оформление курсовой работы.	8
5	Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме. [1, 2, 3, 7-18] Подготовка к устному опросу. Подготовка к тесту. Подготовка доклада. Выполнение и оформление курсовой работы.	3
6	Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме. [1, 4, 5, 7-18] Подготовка к устному опросу. Выполнение курсовой работы.	1
7	Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме. [1, 4, 5, 6, 7-18] Подготовка к устному опросу. Подготовка к тесту. Подготовка доклада. Выполнение курсовой работы.	4
8	Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме. [1, 2, 6, 7-18] Подготовка к устному опросу. Выполнение курсовой работы.	5
9	Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме.	1

Номер темы дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (ЧАСЫ)
	[1, 4, 5, 7-18] Подготовка к устному опросу. Выполнение курсовой работы.	
10	Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме. [1, 5, 7-18] Подготовка к устному опросу. Подготовка к тесту. Подготовка доклада. Выполнение курсовой работы.	2
11	Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме. [1, 2, 3, 7-18] Подготовка к устному опросу. Выполнение курсовой работы.	2
12	Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме. [1, 2, 3, 7-18] Подготовка к устному опросу. Подготовка к тесту. Подготовка доклада. Выполнение курсовой работы.	4
13	Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме. [1, 4, 5, 7-18] Подготовка к устному опросу. Выполнение курсовой работы.	3
14	Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме. [1, 4, 5, 6, 7-18] Подготовка к устному опросу. Подготовка к тесту. Подготовка доклада. Выполнение курсовой работы.	4

Номер темы дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (часы)
15	1. Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме. [1, 4, 5, 7-18] Подготовка к устному опросу. Выполнение и оформление курсовой работы	2
16	Самостоятельный поиск, анализ информации, проработка учебного материала, конспектирование материала по теме. [1, 4, 5, 6, 7-18] Подготовка к устному опросу. Подготовка к Подготовка к тесту. Подготовка доклада. Подготовка к защите курсовой работы	1
Итого по дисциплине		52

### 5.7 Курсовая работа

В таблице приведена структура курсовой работы

Наименование этапа выполнения курсовой работы	Трудоемкость (часы)
Этап 1. Выдача задания на курсовой проект «Анализ прочности рабочей лопатки первой ступени турбины ГТД». Консультация преподавателя.	2
Этап 2. Выполнение раздела «Расчет прочности рабочей лопатки первой ступени турбины при действии статических нагрузок на взлетном режиме работы двигателя в условиях, соответствующих исходным данным. Определение наиболее слабого, с точки зрения прочности, сечения детали».	СРС
Этап 3. Выполнение раздела «Расчет динамической прочности рабочей лопатки первой ступени турбины в рабочем диапазоне режимов работы двигателя в условиях, соответствующих исходным данным. Построение частотной диаграммы	
Этап 4. Оформление курсовой работы	
Защита курсовой работы	2
Итого по курсовой работе:	4

## **6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Дорошко С.М., Глазков А.С. Газотурбинные двигатели гражданской авиации: Учебное пособие / С.М. Дорошко, А.С. Глазков. – Санкт-Петербург: СПбГУ ГА, 2019. – 219 с.
2. Котельников В.Р. Двигатели гражданских самолётов России / В.Р. Котельников, О.В. Хробыстова, В.А. Зрелов, В.А. Пономарев. – Рыбинск: Медиарост, 2020. – 564 с.
3. Зрелов В.А. Двигатели вертолетов России / В.А. Зрелов, Д.П. Изотов, В.Р. Котельников. – 2020. – 332 с.
4. Григорьев В.А. Вертолетные газотурбинные двигатели / В.А. Григорьев, В.А. Зрелов, Ю.М. Игнаткин, В.С. Кузьмичев, Б.А. Пономарев. – М.: Машиностроение, 2007. – 491 с.
5. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели / А.А. Иноземцев, В.Л. Сандрацкий. – Пермь: ОАО «Авиадвигатель», 2006. – 1195 с.
6. Уланов А.М. Расчет прочности авиационных двигателей: Электронное учебное пособие / А.М. Уланов. – Самара: Издательство Самарского университета, 2017. – 177 с.
7. Старцев Н.И. Конструкция и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: Электронное учебное пособие / Н.И. Старцев, А.С. Виноградов, Д.К. Новиков. – Самара: СГАУ им. С.П. Королева (Национальный исследовательский университет), 2013. – 82 с.
8. Старцев Н.И. Конструкция основных узлов авиационных двигателей и энергетических установок: Электронное учебное пособие / Н.И. Старцев, Д.К. Новиков, С.В. Фалалеев. – Самара: СГАУ им. С.П. Королева (Национальный исследовательский университет), 2010. – 177 с.
9. Лозицкий Л.П., Авдошко М.Д., Березлев В.Ф. Авиационные двухконтурные двигатели Д-30КУ и Д-30КП (конструкция, надежность и опыт эксплуатации) / Л.П. Лозицкий, М.Д. Авдошко, В.Ф. Березлев, И.И. Гвоздецкий, А.А. Иваненко, М.А. Молочков, Л.П. Ступников, М.И. Худько. – М.: Машиностроение, 1988. – 228 с.
10. Конструкция и прочность авиационных двигателей: Метод . указ. по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы и курсового проекта Для студентов ФАИТОП очной и заочной формы обучения Специальности 25.05.05 специализации «Организация технического обслуживания и ремонта воздушных судов» / Глазков «Эксплуатация воздушных судов и организация воздушного движения» А.С., сост. - СПб. : ГУГА, 2022. – 42 с. ISBN – отсутствует. Количество экземпляров 50.

б) дополнительная литература:

11. Августинович В.Г. Битва за скорость. Великая война авиамоторов / В.Г. Августинович. - М.: Яуза. Эксмо. – 318 с.

в) перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

12. **Министерство транспорта Российской Федерации. Официальный сайт** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/>, свободный (дата обращения: 20.01.2025).

г) программное обеспечение (лицензионное), базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

13. **Электронная библиотека научных публикаций «eLIBRARY.RU»** [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>. - свободный (дата обращения 20.01.2025).

14. **Электронно-библиотечная система издательства «Лань»** [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/> – свободный (дата обращения 20.01.2025).

15. **Информационно-правовой портал** [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.garant.ru/> – свободный (дата обращения 20.01.2025).

16. **Правовой информационный ресурс** [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.consultant.ru/> – свободный (дата обращения 20.01.2025).

17. Parkan. Хроника империи. Принятие решений для выживаемости человека в условиях полной неопределенности и свободы действий. [Электронный ресурс]: сб. игр ФАРГУС на русском языке. – М., [2007]. – Режим доступа: <http://window.edu.ru> – свободный (дата обращения 20.01.2025).

18. RailroadTycoon. Принятие решений железнодорожным магнатом. Русская версия. [Электронный ресурс]: сб. игр ФАРГУС на русском языке. – М., [2005]. – Режим доступа: <http://www.cfin.ru> – свободный (дата обращения 20.01.2025).

## 7 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обеспечения учебного процесса материально-техническими ресурсами используется оборудование, приведённое в таблице:

Наименование дисциплины	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
Конструкция и прочность авиационных двигателей	Аудитория 360	Комплект учебной мебели - 30 шт. Чертёж (разрез)	Adobe Acrobat Reader DC (freeware) Kaspersky Endpoint Security 10

	<p>авиадвигателя АШ-62ИР ЭкранProjectaPro- Star 183×240 смMatteWhiteСна штативе Доска двойная Проектор AcerX1261 P (1024×768, 3700:1, + / - 4 0 28DbLamp:4000H RS Ноутбук HP 15- rb070ru 15.6 AMD (черный).</p>	<p>(лицензия№0AFE- 180731-132011-783- 1390) MicrosoftOffice Профессиональный плюс 2007 (лицензия № 43471843 от 07 февраля 2008 года) Opera (freeware) Google Chrome (freeware) DAEMON Tools Lite (freeware) WinRAR 3.9 (лицензиянаSpb State University of Civil Aviation) Windows 7 (лицензия № 46231032 от 4 декабря 2009 года) Драйвера и ихкомпоненты. Adobe Acrobat Reader DC (freeware) Adobe Flash Player (freeware) Kaspersky Endpoint Security 10 (лицензия № 0 A F E - 1 8 0 7 3 1 - 132011-783-1390) K-Lite Mega Codec Pack (freeware) MicrosoftOffice Профессиональный плюс 2007 (лицензия № 43471843 от 07 февраля 2008 года) Mozilla Firefox (MPL/GPL/LGPL) Ultra-Defrag 7.0.2 (GNU GPL 2) Unchecky (freeware) DAEMON Tools Lite (freeware) Opera (freeware) WinRAR 3.9 (лицензиянаSpb State University of Civil Aviation)</p>
Аудитория 360	<p>Комплект учеб- ной мебели - 30 шт. Авиадвигатель АИ-25 (учебный разрез) Авиадвигатель АШ-62ИР Чертежи (разрезы) авиадвигателей ПС-90А, SaM-146 и АИ-25 ЭкранProjectaPro- Star 183×240 смMatteWhiteСна штативе Доска двойная Проектор AcerX1261 P (1024×768, 3700:1, + / - 4 0 28DbLamp:4000H RS Ноутбук HP 15- rb070ru 15.6 AMD (черный). Ноутбук HP 15- rb070ru 15.6 AMD (черный).</p>	<p>Windows 7 (лицензия № 46231032 от 4 декабря 2009 года) Драйвера и ихкомпоненты. Adobe Acrobat Reader DC (freeware) Adobe Flash Player (freeware) Kaspersky Endpoint Security 10 (лицензия № 0 A F E - 1 8 0 7 3 1 - 132011-783-1390) K-Lite Mega Codec Pack (freeware) MicrosoftOffice Профессиональный плюс 2007 (лицензия № 43471843 от 07 февраля 2008 года) Mozilla Firefox (MPL/GPL/LGPL) Ultra-Defrag 7.0.2 (GNU GPL 2) Unchecky (freeware) DAEMON Tools Lite (freeware) Opera (freeware) WinRAR 3.9 (лицензиянаSpb State University of Civil Aviation)</p>
Аудитория 364	<p>Комплект учеб- ной мебели – 20 шт. Доска двойная</p>	<p>Windows 7 (лицензия</p>

		Макет авиадвигателя ТВ2-117 Нервюры крыла Ноутбук HP 15-rb070ru 15.6 AMD (черный)	№ 46231032 от 4 декабря 2009 года) Adobe Acrobat Reader XI (freeware) Adobe Flash Player (freeware)
	МИС (Моторно-испытательная станция) Учебно-производственные мастерские: 196210, СПб, Пилотов, 44 корпус 1, литера Д	Авиадвигатель Н К - 8 - 2 У (учебный разрез) Авиадвигатель Д-36 (учебный разрез) Авиадвигатель АИ-25 Вспомогательная силовая установка АИ-9 Вертолетный двигатель ТВ2-117 Редуктор для стенда 2 штуки; Макет учебный авиадвигателя ТВ2-117 (в разрезе) Проектор BENQ - 2 шт. Принтер HPHEWLETT PAC KARD 11311 Сканер Epson Доска - 3 шт. Экран Dinon - 2 шт. Стол для преподавателя - 2 шт. Парты со скамьей - 47 шт. Стулья - 4 шт. Ноутбук HP 15-rb070ru 15.6 AMD (черный) Ноутбук HP 15-rb070ru 15.6 AMD (черный)	Kaspersky Endpoint Security 10 (лицензия № 0 A F E - 1 8 0 7 3 1 - 132011-783-1390) K-Lite Mega Codec Pack (freeware) Microsoft Office Профессиональный плюс 2007 (лицензия № 43471843 от 07 февраля 2008 года) ABBYY FineReader 10 Corporate Edition (лицензия № AF10 3S1V00 102 от 23 декабря 2010 года) WinRAR 3.9 (лицензия на Spb State University of Civil Aviation) WindowsXP (лицензия № 43471843 от 07 февраля 2008 года)

## 8 Образовательные и информационные технологии

В рамках изучения дисциплины предполагается использовать следующие образовательные технологии: входной контроль, лекции, практические занятия, курсовая работа, самостоятельная работа студентов.

Входной контроль проводится преподавателем с целью коррекции процесса усвоения студентами дидактических единиц. Он осуществляется в форме устного опроса по вопросам дисциплины «Системы воздушных судов и авиационных двигателей».

Лекция составляет основу теоретического обучения в рамках дисциплины и направлена на систематизированное изложение накопленных и актуальных научных знаний. На лекции концентрируется внимание обучающихся на наиболее сложных и узловых вопросах, стимулируется их активная познавательная деятельность.

Ведущим методом в лекции выступает устное изложение учебного материала, который сопровождается одновременной демонстрацией слайдов, созданных в среде PowerPoint, при необходимости привлекаются открытые Интернет-ресурсы, а также демонстрационные и наглядно-иллюстрационные материалы, видеоматериалы.

Практическое занятие выполняется в целях практического закрепления теоретического материала, излагаемого на лекции, отработки навыков использования пройденного материала. Практическое занятие предполагает анализ ситуаций и примеров, а также исследование актуальных проблем по темам дисциплины. Главной целью практического занятия является индивидуальная, практическая работа каждого обучающегося, направленная на формирование у него компетенций, определенных в рамках дисциплины.

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

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

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, умений и навыков во время лекций и практических занятий, самостоятельная работа с литературой и периодическими изданиями, в том числе находящимися в глобальных компьютерных сетях.

Самостоятельная работа подразумевает самостоятельный поиск, анализ информации, проработку учебного материала, конспектирование материала, подготовку докладов, подготовку к тестам, устным опросам.

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

Уровень и качество знаний обучающихся оцениваются по результатам текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Текущий контроль успеваемости включает устные опросы, тесты, доклады по темам дисциплины.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в виде экзамена в 7 семестре. К моменту сдачи экзамена должны быть пройдены предыдущие формы текущего контроля. Экзамен позволяет оценить уровень освоения компетенций за весь период изучения дисциплины.

### *Устный опрос*

Устный опрос проводится на практических занятиях с целью контроля усвоения теоретического материала, излагаемого на лекции. Устный опрос проводится, как правило, в течение 10 минут. Перечень вопросов определяется уровнем подготовки учебной группы, а также индивидуальными особенностями обучающихся.

При оценке опросов анализу подлежит точность формулировок, связность изложения материала, обоснованность суждений, опора на учебную литературу и т.д.

Также анализируется понимание обучающимся конкретной ситуации, способность обоснования выбранной точки зрения, глубина проработки практического материала.

### *Тестирование*

Тестирование проводится, как правило, в течение 10 минут по темам в соответствии с данной программой и предназначено для проверки обучающихся на предмет освоения пройденного материала.

### *Доклад*

Доклад – один из видов самостоятельной работы студентов, который представляется в печатной или рукописной форме, также обучающемуся необходимо сделать устный доклад продолжительностью 7–10 минут. Доклад предназначен для развития способности к восприятию, анализу, критическому осмыслению, систематизации информации и отработки навыков грамотного и логичного изложения материала.

*Защита курсовой работы* – конечный продукт, который позволяет оценить умения и навыки обучающегося, самостоятельное применение знаний и

ориентирования в информационном пространстве, а также уровень сформированности навыков практического и творческого мышления.

### *Экзамен*

Экзамен позволяет оценить уровень освоения компетенций за весь период изучения дисциплины. Проведение экзамена состоит из ответов на вопросы билета. Экзамен предполагает ответ на теоретические вопросы из перечня вопросов, вынесенных на экзамен и решение практической задачи. К моменту сдачи экзамена должны быть пройдены предыдущие формы текущего контроля.

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

Балльно-рейтинговая оценка 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**

### **Шкалы оценивания**

#### *Устный опрос*

«Отлично»: обучающийся четко и ясно, по существу дает ответ на поставленный вопрос.

«Хорошо»: обучающийся дает ответ на поставленный вопрос по существу и правильно отвечает на уточняющие вопросы.

«Удовлетворительно»: обучающийся не сразу дал верный ответ, но смог дать его правильно при помощи ответов на наводящие вопросы.

«Неудовлетворительно»: обучающийся отказывается отвечать на поставленный вопрос, либо отвечает на него неверно и при формулировании дополнительных (вспомогательных) вопросов.

#### *Тестирование*

«Отлично»: правильные ответы даны на не менее чем 85 % вопросов.

«Хорошо»: правильные ответы даны на не менее чем 75 % вопросов.

«Удовлетворительно»: правильные ответы даны на не менее чем 60% вопросов.

«Неудовлетворительно»: правильные ответы даны на 59% вопросов и менее.

#### *Доклад*

Доклад, соответствующий требованиям, оценивается на «отлично».

Доклад, не соответствующий требованиям, оценивается на «неудовлетворительно».

Доклад, соответствующий требованиям не полностью, может быть оценен на «хорошо» или на «удовлетворительно».

Основаниями для выставления оценки «отлично» являются:

- ~ грамотное, связное и непротиворечивое изложение сути вопроса;
- ~ актуальность используемых в докладе сведений;
- ~ высокое качество изложения материала докладчиком;
- ~ способность обучающегося сделать обоснованные выводы или рекомендации;

- ~ уверенные ответы на заданные в ходе обсуждения вопросы;
- ~ отсутствие у преподавателя обоснованных сомнений в самостоятельности выполнения задания обучающимся.

Основаниями для выставления оценки «хорошо» являются:

- ~ грамотное, связное и непротиворечивое изложение сути вопроса;
- ~ актуальность используемых в докладе сведений;
- ~ удовлетворительное качество изложения материала докладчиком;
- ~ способность обучающегося сделать обоснованные выводы или рекомендации;

- ~ уверенные ответы на большую часть заданных в ходе обсуждения вопросов;

- ~ отсутствие у преподавателя обоснованных сомнений в самостоятельности выполнения задания обучающимся.

Основаниями для выставления оценки «удовлетворительно» являются:

- ~ отсутствие грамотного, связного и непротиворечивого изложения сути вопроса;

- ~ использование в докладе устаревших сведений.

Основаниями для выставления оценки «неудовлетворительно» являются:

- ~ неудовлетворительное качество изложения материала докладчиком;
- ~ неспособность обучающегося сделать обоснованные выводы или рекомендации;

- ~ неспособность ответить на большую часть заданных в ходе обсуждения вопросов;

- ~ обоснованные сомнения в самостоятельности выполнения задания обучающимся.

За активное участие в обсуждении докладов и вопросов обучающиеся могут быть поощрены дополнительным баллом.

## Экзамен

«Отлично» выставляется обучающемуся, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания по рассматриваемой компетенции и умение уверенно применять их на практике при решении задач, свободное и

правильное обоснование принятых решений. Отвечая на вопрос, может быстро и безошибочно проиллюстрировать ответ собственными примерами. Обучающийся самостоятельно правильно решает задачу, дает обоснованную оценку итогам решения.

«Хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и, по существу, излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задачи некоторые неточности, хорошо владеет всем содержанием, видит взаимосвязи, но не всегда делает это самостоятельно без помощи преподавателя. Обучающийся решает задачу верно, но при помощи преподавателя.

«Удовлетворительно» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы в рамках заданной компетенции, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации. Отвечает только на конкретный вопрос, соединяет знания из разных разделов курса только при наводящих вопросах преподавателя. Ситуационная задача решена не полностью, или содержатся незначительные ошибки в расчетах.

«Неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины в рамках компетенций, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач. Не раскрыты глубина и полнота при ответах. Задача не решена даже при помощи преподавателя.

### **9.3 Тема курсовой работы по дисциплине**

**Тема курсовой работы:** «Анализ прочности рабочей лопатки первой ступени турбины ГТД».

Исходные данные для расчетов по курсовой работе определяются исходя из номера зачетной книжки студента или порядкового номера студента по правилам, изложенным в методических указаниях по выполнению курсовой работы [10].

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

«Методы и средства диагностирования»

1. Диагностирование по изменению рабочих параметров.
2. Диагностирование по изменению физико-механических параметров.
3. Вибродиагностика.

«Методы и средства исследования»

1. Повреждаемость авиационных конструкций.

2. Диагностические параметры

3. Классификационные методы распознавания состояний

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

#### Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования

Компетенции	Показатели оценивания (индикаторы достижения) компетенций	Критерии оценивания
I этап		
ПК-8	ИД <sub>ПК8</sub> <sup>1</sup> ИД <sub>ПК8</sub> <sup>2</sup>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- как влияют процессы, протекающие в механизмах, агрегатах, системах и конструктивных элементах воздушных судов на работоспособность авиационных двигателей;</li><li>- методы проведения диагностирования, измерений и инструментального контроля, прогнозирования технического состояния авиационных двигателей.</li></ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- анализировать процессы авиационных двигателей, систем и конструктивных элементов воздушных судов и авиационных двигателей на уровень надежности.</li></ul>
II этап		
ПК-8	ИД <sub>ПК8</sub> <sup>1</sup> ИД <sub>ПК8</sub> <sup>2</sup>	<p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- применять методы проведения диагностирования, измерений и инструментального контроля, прогнозирования технического состояния авиационных двигателей.</li></ul>

Компетенции	Показатели оценивания (индикаторы достижения) компетенций	Критерии оценивания
		<p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами проведения диагностирования, измерений и инструментального контроля, прогнозирования технического состояния авиационных двигателей;</li> <li>- методами восстановления работоспособности конструктивных элементов авиационных двигателей.</li> </ul>

## **9.6 Типовые контрольные задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам обучения по дисциплине**

### **Типовые контрольные задания для проведения текущего контроля успеваемости**

*Вопросы устного опроса:*

1. Перечислите основные типы авиационных ГТД, используемых в гражданской авиации.
2. В чем состоит основной недостаток одноконтурных ТРД?
3. Какой тип ГТД является наиболее экономичным для самолетов на малых дозвуковых скоростях полета?
4. В чем состоят недостатки ТВД по сравнению с ТРДД?
5. В чем состоят преимущества ТРДД перед ТРД и ТВД?
8. Назовите основные особенности ТРДД со сверхвысокой степенью двухконтурности.
9. Какие типы ГТД используются во вспомогательных силовых установках воздушных судов?

### **Пример теста**

1. Назовите основные особенности рабочего процесса в газотурбинном двигателе

1	2	3	4
периодичность действия	непрерывность действия	большие скорости потока рабочего тела	наличие насосных ходов

## 2. Каковы особенности активной проточной части газотурбинного двигателя

1	2	3	4
преобразование энергии потока газа происходит как в направляющем аппарате, так и в каналах рабочих лопаток	преобразование энергии потока газа происходит только в направляющем аппарате	преобразование энергии потока газа происходит вне двигателя	преобразования энергии потока газа не происходит

## 3. В чем заключаются основные преимущества ГТД прямооточного типа

1	2	3	4
высокий КПД (относительно других видов ГТД)	хорошие массо-габаритные показатели	большие значения удельных мощностей	возможность работы на тяжелых топливах

## 4. В чем заключаются основные преимущества ГТД непрямоточного типа

1	2	3	4
высокий КПД (относительно других видов ГТД)	хорошие массо-габаритные показатели	большие значения удельных мощностей	возможность работы на тяжелых топливах

## 5. Ступенью газовой турбины называют

1	2	3	4
объем между валом ротора и статором с расположенными в нем рабочими и направляющими лопатками	совокупность ряда рабочих лопаток и следующего за ним ряда направляющих лопаток	совокупность ряда направляющих лопаток и следующего за ним ряда рабочих лопаток	совокупность ряда рабочих лопаток и объема, в котором происходят процессы расширения газов

## 6. Назовите основные преимущества центробежных компрессоров

1	2	3	4
высокий КПД на расчетных режимах	широкий диапазон устойчивой работы	высокие подачи воздуха	высокие степени сжатия в одной ступени

	работы		ступени
--	--------	--	---------

7. Назовите основные преимущества осевых компрессоров

1	2	3	4
высокий КПД на расчетных режимах	широкий диапазон устойчивой работы	высокие подачи воздуха	высокие степени сжатия в одной ступени

8. В чем смысл использования входного направляющего аппарата в компрессоре

1	2	3	4
направляющий аппарат используется только в турбинах	формирование потока воздуха с целью оптимального входа его на рабочие лопатки первой ступени	придание потоку воздуха требуемого направления движения	повышение давления воздуха за счет его торможения

9. В чем смысл использования диффузора в компрессоре

1	2	3	4
диффузор используется только в турбинах	формирование потока воздуха с целью оптимального входа его на рабочие лопатки первой ступени	придание потоку воздуха требуемого направления движения	повышение давления воздуха за счет его торможения

10. Какова ориентировочно доля вырабатываемой турбиной энергии, затрачиваемая на привод компрессора в ГТД

1	2	3	4
до 30%	до 60%	до 90%	компрессор обычно имеет внешний привод

ОТВЕТЫ К ТЕСТУ

Вопрос 1	2,3
----------	-----

Вопрос 2	2
Вопрос 3	2,3
Вопрос 4	1,4
Вопрос 5	3
Вопрос 6	2,4
Вопрос 7	1,3
Вопрос 8	2
Вопрос 9	4
Вопрос 10	2

### **Темы докладов**

1. Общие сведения о конструкции авиационных газотурбинных двигателей.
2. Конструкция одноконтурных ТРД.
3. Конструкция двухконтурных ТРД (ТРДД) с малой степенью двухконтурности.
4. Конструкция двухвальных ТРДД большой степени двухконтурности.
5. Конструкция трехвальных ТРДД большой степени двухконтурности.
6. Конструкция редукторных ТРДД большой степени двухконтурности.
7. Конструкция турбовинтовых газотурбинных двигателей.
8. Конструкция авиационных турбовальных (вертолётных) газотурбинных двигателей.
9. Конструкция винтовентиляторных газотурбинных двигателей.
10. Статические нагрузки, действующие на основные узлы авиационных ГТД.
11. Основы теории прочности деталей авиационных ГТД.
12. Статическая прочность рабочих лопаток авиационных ГТД.
13. Статическая прочность дисков и дисковых элементов роторов авиационных ГТД.
14. Динамическая прочность рабочих лопаток и дисков авиационных ГТД.
15. Критические частоты вращения и балансировка роторов авиационных ГТД.
16. Конструкция и прочность статоров авиационных ГТД.

### **Примерные вопросы для проведения промежуточной аттестации**

1 Краткая история и причины создания авиационных ГТД. Российские и зарубежные разработчики двигателей. Наиболее удачные двигатели, выпускавшиеся массовыми сериями.

2 Типовые конструктивно-компоновочные и силовые схемы авиационных ГТД различных типов: ТРД, ТРДД, ТВД, ТВВД, ТВаД, ГТД вспомогательных силовых установок.

3 Принцип модульности конструкции двигателей. Примеры удачных конструктивно-компоновочных решений, их влияние на трудоемкость технического обслуживания в процессе эксплуатации. С

4 Современные тенденции совершенствования конструктивного облика и улучшения характеристик авиационных ГТД.

5 Оценивание статических нагрузок, действующих на: участок проточного газоздушного тракта, входное устройство, осевой компрессор, камеру сгорания, реактивное сопло.

6 Силовое взаимодействие основных узлов ГТД.

7 Гироскопические моменты, действующие на роторы. Формирование тяги в ТРД, ТРДД, ТВД (ТВВД).

8 Основные положения теории прочности. Концепция представления конструкционного материала как сплошной среды.

9 Понятие нормального и касательного напряжений. Закон Роберта Гука в одно-, двух- и трёхмерном случае.

10 Диаграммы растяжения для конструкционных материалов, применяемых в авиационном двигателестроении.

11 Предел статической длительной прочности конструкционного материала. Действующие и допустимые напряжения.

12 Условие и запас прочности.

13 Особенности применения теории прочности к деталям из композиционных материалов.

14 Варианты конструктивного исполнения рабочих лопаток и их крепления к дискам роторов.

8 семестр

1 Статические нагрузки, действующие на рабочие лопатки компрессоров и турбин авиационных ГТД.

2 Расчет действующих напряжений и распределения коэффициента запаса прочности по высоте рабочей лопатки.

3 Конструктивные мероприятия, направленные на повышение прочности рабочих лопаток.

4 Основные правила летной и технической эксплуатации, способствующие сохранению статической прочности рабочих лопаток.

5 Варианты конструктивного исполнения дисков и дисковых элементов роторов авиационных ГТД.

6 Статические нагрузки, действующие на диски.

- 7 Расчет действующих напряжений и коэффициента запаса прочности тонкого диска.
- 8 Использование метода конечных элементов для расчетов распределения напряжений в реальном диске, в том числе и с учетом его пластических деформаций.
- 9 Конструктивные и эксплуатационные мероприятия, направленные на обеспечение статической прочности дисков и дисковых элементов авиационных ГТД.
- 10 Причины возникновения колебаний рабочих лопаток и дисков.
- 11 Основы теории колебаний. Собственные колебания простейшей системы без трения.
- 12 Собственные колебания простейшей системы с силой трения, пропорциональной скорости колебаний.
- 13 Вынужденные колебания простейшей системы с трением. Коэффициент динамичности. Явление резонанса.
- 14 Собственные частоты и формы колебаний реальных лопаток и дисков. Частотные диаграммы.
- 15 Понятие о критической частоте вращения роторов.
- 16 Определение критической частоты вращения простейшего однодискового ротора.
- 17 Гибкие и жесткие роторы. Многодисковые роторы.
- 18 Упругие и упруго-демпферные опоры роторов.
- 19 Статическая и динамическая балансировка роторов.
- 20 Многороторные авиационные ГТД как сложные колебательные системы, вибрации элементов ГТД.
- 21 Конструктивные и эксплуатационные методы снижения вибраций, обусловленных дисбалансами роторов.
- 22 Типы силовых корпусов, конструктивные особенности элементов статоров. Нагрузки, действующие на элементы статоров. Статическая и динамическая прочность статоров.
- 23 Конструктивные мероприятия, направленные на обеспечение прочности статоров.
- 24 Классификация и конструктивные особенности реверсивных устройств различных типов.
- 25 Характеристики реверсивных устройств. Области рационального применения реверсивных устройств ковшового и решетчатого типов.
- 26 Нагрузки, действующие на элементы реверсивных устройств, требования к их прочности.
- 27 Типовые неисправности реверсивных устройств, обусловленные потерей прочности их элементов.

**Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

*Примерные теоретические вопросы, выносимые на экзамен:*

1. В чем достоинства и недостатки двухвальных схем одноконтурных ТРД перед одновальными?
2. В чем достоинства и недостатки схем ТРДД без смешения потоков и со смешением?
3. Почему ТРДД одновальной схемы не получили широкого применения?
4. Для чего предназначены подпорные ступени в ТРДД?
5. В чем основной недостаток трехвальных ТРДД? В чем достоинства?
6. Почему в двигателях с высокой степенью двухконтурности может оказаться выгодным редукторный привод вентилятора?
7. Как и для чего может изменяться в зависимости от режима полета степень двухконтурности ТРДД?
8. В чем состоит основной недостаток одновальной схемы ТВД?
9. Что представляет собой схема двухвального ТВД со «связанным» КНД?
10. В чем особенности конструктивных схем вертолетных ГТД, выпускаемых заводом Климова?
11. В чем состоят особенности схем вертолетных ГТД, выпускавшихся фирмой «Турбомека» (в настоящее время – «Safran», Франция).
12. Почему одна из опор ротора ГТД выполняется на шариковом подшипнике, а остальные – на роликовых?
13. Для чего применяются упруго-демпферные опоры роторов ГТД?
14. Каким образом обеспечивается температурный режим работы подшипников?
15. В чем достоинства и недостатки центробежного компрессора по сравнению с осевым?
16. Какие достоинства и недостатки осецентрированных компрессоров определяют область их использования – малоразмерные ТВД и ТРД?
17. Что представляет собой рабочее колесо типа «блиск»?
18. Какие конструкционные материалы применяются для изготовления рабочих лопаток компрессоров?
19. В чем достоинства и недостатки кольцевых камер сгорания по сравнению с трубчатыми и трубчато-кольцевыми?
20. В чем преимущества и недостатки одноступенчатых турбин высокого давления перед двухступенчатыми?
21. Для чего предназначены бандажные полки на рабочих лопатках турбины?
22. В каких случаях в лопатках турбин могут возникать трещины многоциклового усталости, и какие мероприятия применяются для их исключения?
23. В чем состоит наиболее распространенный метод активного управления радиальными зазорами в турбинах.

24. В каких случаях нерегулируемое сопло ГТД выполняется сужающимся, а в каких оно должно быть сужающееся-расширяющимся?

25. От какого ротора производится отбор мощности на привод агрегатов двухвальных ГТД?

*Примерные практические задачи, выносимые на экзамен:*

1. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя АМ-3/РД-3М-500.
2. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя РД-35-51А.
3. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя РУ19-300.
4. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя Д-20П.
5. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя Д-30КП/КУ.
6. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя НК-8-2У.
7. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя АИ-25.
8. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя CFM56-5/-7.
9. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя SaM-146.
10. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя LEAP-1А.
11. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя V2500.
12. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя ПС-90А.
13. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя ПД-14.
14. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя RB211.
15. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя Trent-1000.
16. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя Д-36/436.
17. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя Д-18Т.
18. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя РТ6А.
19. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя РW100.
20. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя НК-12МВ.
21. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя АИ-20/24.
22. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя ТВ7-117.
23. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя Д-25В.
24. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя РТ6Т.
25. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя Д-136.
26. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя ТВ2-117.
27. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя ТВ3-117.
28. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя ВК2500.
29. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя ТВ7-117В.
30. Прокомментируйте конструктивную схему двигателя Д-27.

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

Изучение дисциплины «Конструкция и прочность авиационных двигателей» обучающимися организуется в виде лекций, практических занятий и самостоятельной работы. Продолжительность изучения дисциплины – 7 семестр. Уровень и качество знаний обучающихся оцениваются по результатам текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины в виде экзамена.

Основными видами аудиторной работы студентов являются лекции и практические занятия (п. 5.2, 5.3, 5.4). В ходе лекции преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия, а также соответствующие теоретические и практические проблемы, дает задания и рекомендации для практических занятий, а также указания по выполнению обучающимся самостоятельной работы.

Задачами лекций являются:

- ознакомление обучающихся с целями, задачами и структурой дисциплины, ее местом в системе наук и связями с другими дисциплинами;
- краткое, но, по существу, изложение комплекса основных научных понятий, подходов, методов, принципов данной дисциплины;
- краткое изложение наиболее существенных положений, раскрытие особенно сложных, актуальных вопросов, освещение дискуссионных проблем;
- определение перспективных направлений дальнейшего развития научного знания в данной области.

Значимым фактором полноценной и плодотворной работы обучающегося на лекции является культура ведения конспекта. Слушая лекцию, необходимо научиться выделять и фиксировать ее ключевые моменты, записывая их более четко и выделяя каким-либо способом из общего текста.

Качественно сделанный конспект лекций поможет обучающемуся в процессе самостоятельной работы и при подготовке к сдаче экзамена.

Практические занятия по дисциплине проводятся в соответствии с п. 5.4. Цели практических занятий: закрепить теоретические знания, полученные студентом на лекциях и в результате самостоятельного изучения соответствующих разделов рекомендуемой литературы; приобрести начальные практические умения и навыки.

Темы практических занятий (п. 5.4) 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 цели и задачи занятия, обращая их внимание на наиболее сложные вопросы по изучаемой теме. В рамках практического занятия могут быть проведены: устный опрос, тестирование, доклады и т. п. (п. 9.6).

Современное обучение предполагает, что существенную часть времени при освоении учебной дисциплины обучающийся проводит самостоятельно.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей.

Программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры №24 «Авиационной техники и диагностики» « 4 » 11 2023 года, протокол № 4.

Разработчик:

к.т.н., доцент

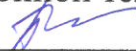


Иванов Д.А.

*(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы разработчика)*

Заведующий кафедрой № 24 «Авиационной техники и диагностики»

к.т.н., доцент



Петрова Т.В.

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

Программа согласована:

Руководитель ОПОП

к.т.н., доцент



Петрова Т.В.

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

Программа рассмотрена и согласована на заседании Учебно-методического совета Университета « 22 » 11 20 23 года, протокол № 3.