

## АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### «Конструкция и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок»

Дисциплина «Конструкция и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок» является частью программы магистратуры «Проектирование и конструкция двигателей и энергетических установок летательных аппаратов» по направлению «24.04.05 Двигатели летательных аппаратов».

#### **Цели и задачи дисциплины**

Цель учебной дисциплины – изучение современных конструктивных схем авиационных двигателей, приобретение умений и навыков разработки конструкций, прочностного анализа, исследования процессов проектирования авиационных двигателей и энергетических установок. В процессе изучения данной дисциплины студент расширяет и углубляет следующие общепрофессиональные и профессиональные компетенции: • способность осуществлять подготовку научно-технических отчётов, обзоров и публикаций по результатам выполненных исследований и разработок; • способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых деталей и узлов машиностроительных конструкций с обоснованием принятых технических решений; • способность разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты сложных изделий с использованием средств автоматизированного проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий; • способность проводить технические расчёты по проектам, технико-экономического и функционально-стоимостного анализа эффективности проектируемых изделий и конструкций; Задачи учебной дисциплины: • изучение конструктивных схем, конструкций, условий работы, методов анализа нагруженности, прочностных расчетов и анализа разработок, принципов взаимодействия основных элементов и узлов авиационных двигателей и энергетических установок; • формирование умения самостоятельно выполнять анализ конструкций, формулировать требования к элементам и узлам, разрабатывать конструктивные схемы, проводить анализ нагруженности основных элементов авиационных двигателей и энергетических установок; • формирование навыков описания принципов действия и устройства, практической разработки, выполнения прочностных расчетов основных элементов и узлов авиационных двигателей и энергетических установок..

#### **Изучаемые объекты дисциплины**

– авиационные двигатели и энергетические установки, их основные узлы и элементы; – типовые и оригинальные конструкторские решения при проектировании авиационных двигателей; – методы разработки конструкций и расчетного анализа прочности элементов ГТД;.

### Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	2
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	71	43	28
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	24	16	8
- лабораторные работы (ЛР)	43	25	18
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	2	2
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	109	65	44
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36		36
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)	36		36
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	216	108	108

### Краткое содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
1-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Конструкция основных узлов ГТД.	12	14	0	35
<p>Тема 4. Конструкция компрессоров ГТД. Основные требования к конструкции компрессоров и проблемы, решаемые при их проектировании. Конструктивные схемы и классификация компрессоров ГТД. Роторы осевого компрессора, назначение, требования, условия работы. Расположение роторов относительно опор. Основные типы роторов компрессоров. Сравнительный анализ. Соединения дисков с валом и дисков с дисками в роторах, центрирование элементов, передача крутящего момента. Сварные роторы. Роторы одноступенчатых вентиляторов. Рабочие лопатки осевых компрессоров, условия работы, действующие нагрузки, основные требования. Основные элементы лопаток, их функциональное назначение. Способы крепления рабочих лопаток в дисках (барабанах), фиксация от осевых перемещений. Бандажирование рабочих лопаток. Особенности конструкции крупногабаритных лопаток вентиляторов. Способы обеспечения жесткости полнотелых и полых лопаток. Перспективные технологии в изготовлении элементов роторов осевых компрессоров. Материалы, применяемые для изготовления основных элементов роторов компрессоров: дисков, лопаток, валов. Корпусы осевых компрессоров, назначение, условия работы и нагружения, основные требования к ним. Конструкция корпусов, способы изготовления. Силовые пояса, корпусы опор роторов, способы передачи усилий, возникающих в опорах. Особенности конструкции корпусов одноступенчатых вентиляторов. Противообледенительные и противопомпажные устройства в осевых компрессорах. Конструкции направляющих аппаратов осевых компрессоров. Их крепление к корпусу. Нагрузки, действующие на направляющие лопатки. Особенности конструкции входных направляющих аппаратов и спрямляющих аппаратов последних ступеней. Материалы, применяемые для элементов</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>конструкции корпусов и направляющих аппаратов. Перспективные материалы и технологии в изготовлении корпусов</p> <p>Тема 5. Конструкция турбин ГТД.</p> <p>Основные требования к конструкции турбин и проблемы, решаемые при их проектировании. Конструктивные схемы и классификация газовых турбин.</p> <p>Роторы осевых газовых турбин, назначение, требования, условия работы и нагружения. Основные типы роторов, расположение роторов относительно опор. Основные способы соединения дисков с валом и дисков с дисками в роторах турбин. Диски рабочих колес турбин, основные элементы, их функциональное назначение, конструктивное исполнение.</p> <p>Рабочие лопатки газовых турбин: условия работы и действующие нагрузки, основные требования. Основные элементы рабочих лопаток и их функциональное назначение.</p> <p>Способы крепления рабочих лопаток к дискам, фиксация от осевых перемещений.</p> <p>Бандажирование рабочих лопаток, назначение, конструктивное исполнение бандажных полок.</p> <p>Корпуса турбин, назначение, условия работы, действующие нагрузки. Основные требования к корпусам. Конструкция корпусов. Соединение основных частей корпуса между собой и с другими элементами конструкции. Силовые пояса в турбинах, корпуса опор роторов и способы передачи усилий, возникающих в опорах. Сопловые аппараты турбин, их крепление к корпусам. Условия работы и нагружения сопловых лопаток. Конструкция сопловых лопаток первых и последних ступеней турбины.</p> <p>Тепловое состояние элементов турбин. Температурное поле в поперечном сечении высокотемпературных охлаждаемых лопаток. Поля температур в лопатках и дисках на стационарных и нестационарных режимах работы двигателя. Охлаждение элементов турбин. Принципы организации систем охлаждения турбин. Требования к охлаждающему воздуху. Расход охлаждающего воздуха, его оптимизация.</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>Подвод охлаждающего воздуха к элементам ротора и статора турбины. Основные способы охлаждения лопаток. Способы интенсификации охлаждения лопаток. Способы формирования внутренних полостей и каналов в лопатках. Вывод охлаждающего воздуха в проточную часть. Теплозащитные покрытия лопаток. Охлаждение дисков турбин.</p> <p>Материалы, применяемые для изготовления основных элементов осевых газовых турбин.</p> <p>Тема 6. Конструкция камер сгорания ГТД. Основные требования к конструкции основных камер сгорания ГТД и проблемы, решаемые при их проектировании. Классификация камер сгорания по конструкции, направлению движения газа, способу подачи топлива, числу зон горения. Особенности рабочего процесса в основных камерах сгорания ГТД, обуславливающие ее конструкцию. Основные элементы конструкции камер сгорания, условия их работы и характер нагружения. Основные направления развития конструкций камер сгорания. Пути снижения выброса вредных веществ.</p> <p>Основные элементы камер сгорания: диффузоры, фронтальные устройства, жаровые трубы, корпуса. Топливные форсунки, Системы розжига камер сгорания. Материалы, применяемые для изготовления основных элементов камер сгорания. Перспективные жаростойкие материалы для жаровых труб.</p> <p>Охлаждение элементов камер сгорания. Обеспечение свободы теплового расширения элементов. Основные дефекты камер сгорания, обусловленные недостатками конструкции.</p> <p>Тема 7. Конструкция форсажных камер ГТД. Назначение форсажных камер сгорания. Основные типы форсажных камер. Основные требования к конструкции форсажных камер. Условия работы и нагружения основных элементов. Основные элементы форсажных камер: диффузоры, корпуса, системы стабилизации фронта пламени, системы подачи топлива в форсажную камеру. Охлаждение элементов</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>форсажных камер. Перспективы развития конструкции форсажных камер, Материалы для основных элементов форсажных камер.</p> <p>Тема 8. Конструкция выходных устройств ГТД. Назначение выходных устройств ГТД. Типы реактивных сопел: дозвуковые и сверхзвуковые, регулируемые и не регулируемые. Конструкция нерегулируемых дозвуковых реактивных сопел. Конструкция и крепление обтекателей. Конструкция и крепление смесителей. Конструкция регулируемых сверхзвуковых сопел. Материалы, применяемые для изготовления основных элементов сопел. Перспективы применения композитных материалов для сопел. Устройства для создания реверса тяги. Назначение и требования, предъявляемые к ним. Основные типы реверсивных устройств. Конструкция реверсивных устройств, расположенных перед и за реактивным соплом. Реверсивные устройства двухконтурных двигателей высокой степени двухконтурности. Условия работы и нагружения основных элементов. Механизмы управления подвижными элементами реверсивных устройств.</p> <p>Тема 9. Опоры роторов ГТД. Системы смазки. Назначение опор роторов. Основные требования к опорам. Классификация опор ГТД. Основные элементы опор. Условия работы подшипников. Требования, предъявляемые к ним. Основные типы подшипников, применяемые в ГТД. Радиально-упорные шариковые подшипники. Конструктивное исполнение. Радиальные роликовые подшипники. Конструктивное исполнение. Специальные подшипники ГТД. Сепараторы подшипников качения. Обеспечение соосности сепаратора. Посадка подшипника на вал и корпус. Смазка и охлаждение подшипников. Понятие о расчете теплового режима подшипников. Оценка потребного циркуляционного расхода масла. Системы смазки ГТД. Требования. Типы систем смазки. Основные элементы систем</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
смазки, их назначение.				
Основные требования, параметры, области применения, классификация ГТД. Конструктивные схемы ГТД	4	11	0	30
<p>Введение.</p> <p>Роль и место дисциплины в системе подготовки специалиста по авиационным двигателям и энергетическим установкам. Основные этапы развития авиационных и наземных ГТД. ГТД как тепловая машина. Авиационные газотурбинные двигатели, наземные газотурбинные установки, энергетические установки. Основные представления о ГТД, ВРД, ТВД, ТВаД, ПВРД, ПУВРД.</p> <p>Тема 1. Требования к ГТД и основные параметры.</p> <p>Основные требования к газотурбинным двигателям: функциональные требования, требования минимальной стоимости жизненного цикла, требования безопасности, экологические требования. Основные направления достижения и обеспечения требований. Основные характеристики и параметры ГТД: технические характеристики, экономические характеристики, характеристики надежности и безопасности.</p> <p>Основные направления достижения и обеспечения характеристик ГТД. Достигнутые мировые значения основных технических характеристик ГТД. Основы современных технологий разработки конструкций ГТД.</p> <p>Тема 2. Области применения ГТД.</p> <p>Классификация двигателей.</p> <p>Газотурбинные двигатели авиационного назначения. Газотурбинные двигатели в промышленности, энергетике, трубопроводном транспорте, наземном транспорте.</p> <p>Газотурбинные двигатели морского применения. Турбореактивные двигатели (ТРД), турбореактивные двухконтурные двигатели (ТРДД), турбовинтовые двигатели (ТВД), форсажные турбореактивные двигатели (ТРДФ и ТРДДФ), подъемные и подъемно-маршевые ГТД, вертолетные турбовальные двигатели (ТВаД), наземные ТВаД, ТВД и ТВаД морского применения.</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>Тема 3. Конструктивные схемы ГТД. Конструктивные схемы ТРД с осевым, центробежным и осецентрированным компрессором. Конструктивные схемы двухвалных ТРД. Двухконтурные турбореактивные двигатели. Классификация. Конструктивные схемы ТРДД. 1, 2, 3-х вальные ТРДД. ТРДД со смещением и без смещения потоков. Основные способы форсирования тяги. Конструктивные схемы форсажных двигателей ТРДФ и ТРДДФ. Конструктивные схемы турбовинтовых двигателей. Конструктивные схемы авиационных турбовальных двигателей. Силовые установки самолетов вертикального и укороченного взлета и посадки. Конструктивные схемы подъемных и подъемно-маршевых двигателей. Особенности конструктивных схем вспомогательных ГТД. Классификация наземных ГТД. Конструктивные схемы двигателей наземного применения. Газотурбинные силовые установки морских судов.</p>				
ИТОГО по 1-му семестру	16	25	0	65
2-й семестр				
Колебания и динамическая прочность ГТД.	4	9	0	24
<p>Тема 12. Колебания и многоцикловая усталость лопаток и дисков компрессоров и турбин ГТД. Проблема обеспечения динамической прочности лопаток при проектировании и доводке авиационных ГТД. Собственные и вынужденные колебания лопаток. Собственные формы колебаний лопаток. Частоты собственных колебаний лопаток. Определение низшей частоты собственных колебаний энергетическим методом (методом Релея). Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на частоты собственных колебаний. Источники возбуждения колебаний лопаток. Частоты и амплитуды вынуждающих сил, факторы, влияющие на них. Вращающийся срыв, как источник возбуждения колебаний. Резонансные колебания рабочих лопаток, резонансные диаграммы. Отстройка от резонансных режимов лопаток.</p>				



Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>Демпфирование колебаний лопаток. Способы уменьшения вибрационных напряжений в лопатках. Аэроупругость элементов ГТД. Автоколебания лопаток.</p> <p>Экспериментальное исследование колебаний лопаток.</p> <p>Сопротивление разрушению от многоциклового усталости лопаток, запас усталостной прочности.</p> <p>Колебания дисков. Собственные формы колебаний и собственные частоты колебаний дисков. Влияние эксплуатационных и конструктивных факторов на собственные частоты и формы колебаний дисков. Стоячая и бегущая волна. Резонансная диаграмма диска. Тема 13. Динамика роторов. Вибрации ГТД. Критическая частота вращения ротора. Уравнение динамики одномассового ротора. Поступательные и угловые перемещения. Виды прецессии. Особенности несимметричных роторов. Влияние гироскопического момента. Демпфирование колебаний ротора. Влияние податливости опор на критические частоты вращения ротора. Конструкция и принцип действия упруго-демпферных опор. Ротор с распределенными параметрами. Особенности колебаний системы ротор-корпус. Источники возмущающих сил и спектр вибрации.</p> <p>Параметры вибрации и единицы измерения. Статистические характеристики вибрации. Измерение и нормирование вибрации. Изменение вибрации под воздействием внешних и внутренних факторов. Мониторинг вибрации двигателя. Вибродиагностика</p>				
Статическая прочность элементов ГТД.	4	9	0	20
<p>Тема 10. Статическая прочность рабочих лопаток компрессоров и турбин ГТД.</p> <p>Расчетные схемы лопаток. Нагрузки, действующие на рабочие лопатки, условия работы. Модели поведения материала. Модели напряженного состояния.</p> <p>Расчет рабочей лопатки на статическую прочность на основе стержневой модели.</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>Основные допущения. Напряжения растяжения от центробежных сил. Факторы, влияющие на напряжения растяжения. Изгибающие моменты и напряжения изгиба от газодинамических сил, их распределение по сечению лопатки и по радиусу. Факторы, влияющие на напряжения изгиба от газодинамических сил. Компенсация изгибающих моментов от газодинамических сил изгибающими моментами от центробежных сил. Изгибающие моменты и напряжения изгиба от центробежных сил, их распределение по сечению лопатки и по радиусу. Изгибающие моменты, создаваемые центробежными силами, действующими на бандажную полку.</p> <p>Суммарные напряжения от растяжения и изгиба, их изменение в зависимости от режима работы двигателя. Предельные напряжения. Запас статической прочности лопаток. Основы методики оценки циклической долговечности лопаток.</p> <p>Особенности расчета неравномерно нагретых по сечению лопаток с учетом температурных напряжений. Особенности расчета лопаток вентиляторов.</p> <p>Тема 11. Статическая прочность дисков компрессоров и турбин ГТД.</p> <p>Расчетные схемы дисков, нагрузки и условия работы. Модели поведения материала. Модели напряженного состояния.</p> <p>Система дифференциальных уравнений, описывающих плоско-напряженное состояние диска. Граничные условия. Решения в перемещениях и напряжениях, применение метода конечных разностей. Характер распределения компонент напряжений по радиусу диска. Влияние центрального отверстия на распределение напряжений.</p> <p>Понятие о расчете дисков, находящихся в упруго-пластическом состоянии. Влияние пластических деформаций на напряженное состояние диска. Автофретирование дисков. Запас прочности по напряжениям. Запас прочности дисков по разрушающей частоте вращения (по несущей способности). Расчет дисков по разрушающей частоте вращения (по несущей способности). Запас прочности диска по циклической долговечности.</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Понятие о расчете дисков методом конечных элементов. Постановка и пути решения задачи оптимального проектирования дисков.				
ИТОГО по 2-му семестру	8	18	0	44
ИТОГО по дисциплине	24	43	0	109