

Содержание дисциплины “КиП Д”

РАЗДЕЛ 1. КОНСТРУКЦИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.

Тема 1.1. Общие сведения о ГТД.

История создания. Типы ГТД и области их применения (для ТРД, ТРДД, ТВД, турбовальных ГТД, винтовентиляторных ГТД. Диаграмма "Высота полета=f(скорость полета)"). Основные параметры (абсолютные и относительные (удельные), порядок значений параметров для ГТД различных типов и поколений, тенденция их изменения). Перспективы развития (в направлениях - интенсификации рабочего процесса, оптимизации конструкции по удельному весу и показателям надежности, разработке новых схем, развития средств диагностирования и т.д.).

Лекция 1. Предмет курса КиП АД. Цели, задачи, требования к уровню освоения дисциплины. Место дисциплины в рамках подготовки бакалавра. Характеристика занятий и контрольных материалов. Литература. История развития авиационных ГТД

Тема 1.2. *Конструктивные и силовые схемы современных ГТД.*

Конструктивно-компоновочные схемы (ККС) двигателей (типы-см. тему 1.1.). Особенности ККС различных типов ГТД. Выполнение требований работоспособности, надежности, эксплуатационной технологичности. Усилия действующие на основные элементы и узлы двигателей. Силовые схемы роторов ГТД (двух-, трех-, четырехопорные роторы, особенности размещения подшипников в зависимости от схемы ротора, применение муфт и т.д.). Силовые схемы корпусов ГТД (с одинарной связью -внутренней и внешней, с двойной - замкнутой и разомкнутой. Особенности размещения силовых элементов в горячей части двигателя). Крепление двигателей на воздушных судах (принципы, основная и вспомогательные плоскости и узлы подвески. Передача силы тяги).

Лекция 2. Типы ГТД ГА, их основные параметры и области применения.

Конструктивно-компоновочные и силовые схемы ГТД. Установка двигателей на ВС.

Тема 1.3. *Конструкция узлов ГТД.*

Тема 1.3.1. Компрессоры ГТД.

Назначение и типы компрессоров (осевые, центробежные, диагональные, комбинированные. Связь типа компрессора с типом ГТД и параметрами его рабочего процесса). Конструктивные компоновки (число ступеней, законы профилирования проточной части- с постоянным наружным средним и внутренним диаметрами, число и расположение опор, особенности, конструктивные типы роторов и статоров основных изучаемых типов ГТД). Роторы компрессоров (барабанные, дисковые и смешанные. Области применения. Разборные и неразборные конструкции. Диски и валы. Передача крутящих моментов. Центрирование элементов ротора. Материалы).

Рабочие лопатки (назначение, геометрические характеристики, материалы. Первая часть рабочих лопаток. Хвостовики и полки лопаток.) Крепление рабочих лопаток с использованием замков различных конструкций). Статоры компрессоров (назначение, элементы статоров направляющие и спрямляющие аппараты, корпусы опор. Рамные и консольные аппараты. Предотвращение заклинивания регулируемых лопаток входных направляющих аппаратов). Уплотнения проточной части компрессоров (легкосрабатываемые покрытия, металлокерамические и сотовые вставки, лабиринтные) и опор (лабиринтные, торцевые и радиально-торцевые контактные). Расход среды через лабиринтное уплотнение. Активное управление радиальными зазорами в последних ступенях компрессоров. Разгрузочные полости компрессоров. Вспомогательные системы и устройства компрессоров (устройства защиты входа в компрессор, системы отбора воздуха, противообледенительные системы, системы повышения газодинамической устойчивости и регулирования компрессоров, системы

газодинамической разгрузки роторов от осевых усилий, устройства системы контроля и диагностирования состояния компрессоров). Отбор воздуха на самолетные и двигательные нужды. Особенности конструкции центробежных и комбинированных компрессоров. Материалы, используемые в конструкциях компрессоров и особенности эксплуатации деталей из дуралюминиевых и титановых сплавов. Шум, создаваемый компрессором, и способы его снижения. Характерные неисправности компрессоров, их предупреждение, обнаружение и устранение. Способы повышения эксплуатационной надежности компрессоров (конструктивно-технологические, организационные).

Лекция 3. Компрессоры авиационных ГТД.

Тема 1.3.2. Камеры сгорания ГТД.

Назначение камер сгорания. Организация рабочего процесса в камерах сгорания (коэффициент избытка воздуха, зоны камеры сгорания, первичный и вторичный воздух). Типы камер сгорания (прямоточные: трубчато-кольцевые, кольцевые, противоточные). Конструкция элементов камер сгорания (диффузоры, фронтальные устройства, смесительные устройства, устройства охлаждения, элементы подвески жаровых труб и обеспечение свободы температурных расширений, форсунки (типы-одноконтурные, двухконтурные, испарительного типа) и их расходные характеристики, воспламенители, дренажные устройства). Материалы, используемые в конструкциях камер сгорания. Определение основных геометрических характеристик камер сгорания. Меры борьбы с эмиссией вредных веществ (компоненты продуктов сгорания. Многогорелочные фронтальные устройства, двухзонные камеры сгорания с последовательным расположением зон, двухъярусные камеры сгорания). Обеспечение пожарной безопасности ГТД. Характерные неисправности камер сгорания, их предупреждение, обнаружение и устранение.

Лекция 4. Камеры сгорания авиационных ГТД.

Тема 1.3.3. Турбины ГТД.

Назначение и типы газовых турбин, классификация (по направлению движения потока, числу каскадов, способа срабатывания теплоперепада и др.).

Особенности центростремительных турбин. Конструктивные компоновки (по форме проточной части (закону профилирования, числу ступеней и каскадов, размещению силовых элементов). Роторы осевых турбин (дисковая и барабанно-дисковая схемы, основные элементы роторов). Рабочие лопатки газовых турбин (особенности геометрических характеристик профилей лопаток турбин по сравнению с лопатками компрессоров, охлаждение рабочих лопаток). Крепление рабочих лопаток (радиальная и осевая фиксации, бандажирование рабочих лопаток турбин). Диски турбин (особенности профилирования дисков турбин с учетом их нагружения. Дефлекторы дисков). Валы турбин (вкл. особенности соединений дисков и валов). Статоры турбин (основные элементы, влияние минимальной площади проходного сечения соплового аппарата первой ступени на расход газа через двигатель в целом, способы опирания и передачи нагрузок с лопаток сопловых аппаратов на корпусы). Особенности конструкции и охлаждения лопаток сопловых аппаратов. Корпусы сопловых аппаратов (особенности разъемов, центрирование частей корпуса, изменение размеров в процессе эксплуатации и конструктивные мероприятия, обеспечивающие предотвращение усадки и коробления). Корпусы опор, тепловая защита опор. Материалы, используемые для деталей турбин. Понятие жаростойкости и жаропрочности. Уплотнения проточной части и опор. Изменение радиального зазора в турбине и системы активного управления радиальными зазорами. Охлаждение турбин (способы охлаждения, их эффективность, влияние системы охлаждения турбины на характеристики двигателя в целом). Характерные неисправности турбин, их предупреждение, обнаружение и устранение.

Лекция 5. Турбины авиационных ГТД.

Тема 1.3.4. Входные и выходные устройства ГТД.

Особенности входных устройств ГТД. Нерегулируемые и регулируемые сопла. Особенности выходных устройств ТВД. Реверсирование тяги (назначение, коэффициент, реверсирование, устройства створчатого и решетчатого типа, усилия на элементы устройства, основные элементы воздушных и гидрогазовых систем привода, особенности реверсирования тяги двигателей с большой степенью двухконтурности). Шум, создаваемый реактивной струей, и способы его снижения. Характерные неисправности входных и выходных устройств, их предупреждение, обнаружение и устранение.

Лекция 6. Входные и выходные устройства авиационных ГТД.

Тема 1.3.5. Опоры роторов. Соединительные муфты.

Назначение опор. Типы подшипников, применяемых в опорах авиационных ГТД. Выбор подшипников. Особенности центрирования сепараторов и понятие самобалансировки. Конструкция элементов крепления подшипников в опорах. Упругодемпферные устройства. Подвод масла к подшипникам и упругодемпферным устройствам. Уплотнения опор (см. темы по соответствующим узлам). Соединительные муфты. Материалы. Характерные неисправности опор и соединительных муфт, их предупреждение, обнаружение и устранение.

Лекция 7. Опоры роторов. Соединительные муфты.

Тема 1.3.6. Конструктивные схемы приводов и редукторов авиационных ГТД.

Редукторы двигателей (ГТД со свободной турбиной (вертолетов), ТВД, редукторы вентиляторов; кинематические схемы (определение передаточных чисел, балансы крутящих моментов). Конструкция основных элементов редукторов. Материалы. Измерители крутящего момента (электромеханические и гидромеханические: рычажные и торсионные). Приводы агрегатов. Привод постоянных оборотов. Характерные неисправности редукторов, приводов агрегатов в эксплуатации.

В целом конструкция ГТД должна рассматриваться с позиций эксплуатационной надежности, технологичности, эффективности эксплуатации, экологичности. Особое внимание также должно быть уделено вопросам модульности конструкции и особенностям конструкции, определяющим объемы работ, проводимых на ГТД в процессе эксплуатации. Необходимо рассмотреть особенности применения материалов в конструкции ГТД в аспекте особенностей условий эксплуатации и эксплуатационной повреждаемости.

РАЗДЕЛ 2. СТАТИЧЕСКАЯ И ДИНАМИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ГТД.

Тема 2.1. Расчет на прочность элементов конструкций ГТД (статическую): расчетные схемы, допущения, общий порядок. Расчет осевых сил, действующих на каскады двигателей.

Лекция 8. Цели и задачи расчета прочности и динамики АД. Усилия, действующие в ГТД. Общий порядок расчета на статическую прочность элементов конструкций ГТД.

Тема 2.2. Статическая прочность рабочих лопаток турбокомпрессоров.

Условия работы рабочих лопаток, нагрузки, действующие на них. Определение напряжений в рабочих лопатках (классификация напряжений от действующих нагрузок).

Расчетная схема и основные расчетные соотношения для напряженного состояния лопатки при: растяжении рабочих лопаток центробежными силами; изгибе лопаток газовыми силами; изгибе лопаток центробежными силами; совместном действии нагрузок.

Напряжения от действия центробежных сил при различных законах изменения площади сечения вдоль радиуса. Учет температурных напряжений в лопатках турбин). Разгрузка лопаток от напряжения изгиба (выносом центра тяжести сечений, шарнирное крепление и др., коэффициенты компенсации и их изменение в зависимости от условий эксплуатации). Критерии и запасы статической прочности лопаток. Учет

многорежимности нагружения рабочих лопаток в процессе эксплуатации. Прочность хвостовиков лопаток (нагрузки, расчетные схемы уравнения состояния и определение напряжений).

Лекция 9-10. Статическая прочность рабочих лопаток турбокомпрессоров.

Тема 2.3. Статическая прочность дисков турбокомпрессоров.

Условия работы дисков компрессоров и турбин и их нагружение.

Основные эксплуатационные режимы расчета дисков на прочность и учет многорежимности нагружения. Основные уравнения напряженного состояния дисков. Граничные условия. Общие свойства напряженного состояния дисков.

Метод конечных разностей. Методика расчетного определения напряжений, действующих в дисках. Критерии и запасы прочности дисков. Особенности определения напряжений в диске с учетом неупругих деформаций. Метод переменных параметров упругости. Особенности расчета на прочность колес центробежных компрессоров и радиальных турбин.

Лекция 11-12. Статическая прочность дисков турбокомпрессоров.

Тема 2.4. Статическая прочность элементов роторов и корпусов ГТД.

Режимы работы для расчета на прочность и действующие нагрузки. Расчетные схемы и определение напряжений. Оценка прочности валов.

Определение напряжений в оболочках. Потеря устойчивости оболочками и проверка оболочек на устойчивость. Собственные формы колебаний оболочек. Определение собственных частот колебаний оболочки.

Лекция 13. Статическая прочность элементов роторов и корпусов ГТД.

Тема 2.5. Колебания и динамическая прочность рабочих колес.

Собственные формы и частоты колебаний рабочих лопаток и дисков. Особенности спектров собственных колебаний рабочих колес в целом. Источники возбуждения колебаний лопаток и дисков. Резонансные диаграммы. Влияние геометрических характеристик и других факторов на собственные частоты колебаний. Запасы динамической прочности. Пути борьбы с опасными резонансными колебаниями.

Лекция 14. Колебания рабочих лопаток.

Лекция 15. Колебания дисков.

Лекция 16. Оценка динамической прочности рабочих лопаток и дисков ГТД.

Тема 2.6. Поперечные вибрации двигателей и критические частоты вращения их роторов.

Динамика простейшего ротора. Критическая частота вращения роторов в системе ГТД. Метод динамических жесткостей. Критическая частота вращения многодискового ротора. Пути борьбы с опасными вибрациями двигателей. Нормирование и контроль вибраций двигателей в эксплуатации.

Лекция 17. Критические частоты вращения однодискового ротора.

Лекция 18. Критические частоты вращения многодискового ротора.

Вопросы статической и динамической прочности должны быть увязаны с основными эксплуатационными факторами, действующими на детали, узлы авиационных ГТД в процессе эксплуатации. Особое внимание должно быть уделено также многорежимности нагружения ГТД в полетном цикле и накоплению эксплуатационных повреждений, которые определяют эксплуатационную надежность ГТД.

РАЗДЕЛ 3. СИСТЕМЫ ГТД.

Замечание.

С учетом принятого деления дисциплин в новом учебном плане подготовки бакалавров (2011 г.) особо следует отметить неразрывную связь дисциплины, излагаемой в рамках настоящей программы, с дисциплиной Б.3.П1.М2.28–“Системы двигателя”, изучаемой в 8 семестре.

С учетом этого в рамках настоящей программы излагаются лишь минимальные сведения по конструкции систем авиационных двигателей, необходимые для построения принципиальных гидравлических схем систем в рамках выполнения КП по настоящей дисциплине.

Вопросы отбора воздуха на самолетные и двигательные нужды рассматриваются при изучении соответствующих узлов.

Конечно же, говорить о подготовке бакалавров по профилю “Техническое обслуживание летательных аппаратов и авиационных двигателей” в части авиационных двигателей можно говорить только по результатам изучения двух указанных дисциплин (Б.3.П1.М1.31 и Б.3.П1.М2.28).

Тема 3.1. Масляные системы ГТД.

Типы маслосистем. Магистральные маслосистемы. Агрегаты, узлы и коммуникации систем смазки и суфлирования.

Тема 3.2. Топливные системы ГТД.

Устройство топливных систем и их типовые схемы. Основные агрегаты, узлы и коммуникации топливных систем.

Тема 3.3. Пусковые системы ГТД.

Типы пусковых систем. Этапы запуска. Уравнение моментов. Агрегаты пусковых систем.

Лекция 19. Состав систем АД и принципы конструирования систем двигателей.

РАЗДЕЛ 4. НАДЕЖНОСТЬ И КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГТД В ЭКСПЛУАТАЦИИ. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ АД. (Тема 4)

Надежность, безопасность, долговечность. Показатели безотказности и долговечности ГТД. Влияние конструкции АД и условий эксплуатации на показатели безотказности. Виды ресурса ГТД и методы их установления. Задачи диагностики и контроля состояния двигателей. Конструктивные способы обеспечения контролепригодности. Понятие об автоматизированных системах диагностирования ГТД.

Лекция 20. Надежность АД и конструктивные способы ее обеспечения. Контроль состояния АД в эксплуатации. Эксплуатационная технологичность конструкций АД. Перспективы развития АД.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Тема
1.	Узлы авиационных двигателей – работы по техническому обслуживанию: работа с нормативно-технической документацией, выполнение практических работ по техническому обслуживанию на образцах авиационной техники.
2.	Типичные неисправности узлов авиационных ГТД- виды, поиск, обнаружение, устранение, предупреждение: работа с нормативно-технической документацией, работа на образцах авиационной техники (обнаружение и оценка повреждений элементов ГТД и т.п.). Деловая игра

ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

№ п/п	Тема
1.	Основные типы ГТД ГА, их основные параметры и области применения.
2.	Конструктивно-компоновочные и силовые схемы ГТД. Установка двигателей на ВС.
3.	Компрессоры ГТД.
4.	Валы, опоры, приводы авиационных ГТД.
5.	Камеры сгорания ГТД.
6.	Турбины ГТД.
7.	Входные и выходные устройства ГТД.
8.	Редукторы авиационных ГТД.
9.	Масляные системы ГТД.
10.	Топливные системы ГТД.
11.	Пусковые системы ГТД.
12.	Исследование спектра частот и форм собственных колебаний рабочих лопаток ГТД
13.	Исследование спектра частот и форм собственных колебаний дисков
14.	Исследование спектра частот и форм собственных колебаний оболочек
15.	Исследование критических частот вращения роторов .
16.	Исследование критических частот вращения ротора в системе “ротор-корпус” .