

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
“МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ”

Б.П. Умушкин, Б.А. Чичков

ПОСОБИЕ  
к изучению дисциплины  
"КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЧНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ"  
*для студентов IV курса  
специальности 160901  
заочного обучения*

Москва -2008

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
“МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ”

Б.П. Умушкин, Б.А. Чичков

ПОСОБИЕ  
к изучению дисциплины  
"КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЧНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ"  
*для студентов IV курса  
специальности 160901  
заочного обучения*

Москва -2008

Пособие по дисциплине “Конструкция и прочность авиационных двигателей ” для студентов спец. 160901 заочной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры “Двигатели летательных аппаратов” 2007 г. и методическим советом механического факультета 2007 г.

Научный редактор, рецензент: д.т.н., проф. Чинючин Ю.М.  
(зав. каф. ТЭЛА и АД МГТУ ГА)

# 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ "КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЧНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ" (КиП АД) И ЕЁ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

## 1.1. Роль и назначение дисциплины в системе профессиональной подготовки специалистов

Дисциплина КиП АД имеет цель дать знания в области конструкции и прочности авиационных двигателей в объеме, необходимом для подготовки инженеров-механиков по специальности "Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей".

## 1.2. Значение дисциплины для подготовки специалистов по эксплуатации и ремонту летательных аппаратов

Знание дисциплины КиП АД позволяет грамотно организовывать и проводить техническое обслуживание, эксплуатацию и ремонт авиадвигателей, обеспечивать высокую надежность эксплуатируемой техники и поддерживать на высоком уровне безопасность полетов, производить инженерный анализ причин отказов авиационной техники и разрабатывать меры по их предотвращению.

## 1.3. Целевая установка

В результате изучения дисциплины КиП АД студенты должны:

*знать :*

- основные эксплуатационно-технические и конструктивные параметры ГТД;
- условия работы и нагрузки, действующие на элементы и узлы ГТД;
- компоновочные и силовые схемы ГТД;
- типовые конструкции основных агрегатов, узлов ГТД, условия их работы, ---

- неисправности и способы их предупреждения;
- назначение, состав и работу систем двигателей;
- основные пути и источники накопления повреждений в деталях ГТД;
- главные причины, способные приводить к нарушению работоспособности ГТД.

*уметь:*

- обосновывать основные требования, предъявляемые к ГТД ГА, их узлам, агрегатам и системам;
- анализировать различные конструктивные и схемные решения;
- оценивать статическую и динамическую прочность нагруженных элементов конструкции ГТД;
- выявлять причины возникновения неисправностей и находить правильные решения для их предупреждения и устранения;
- предвидеть последствия влияния различных эксплуатационных факторов на техническое состояние ГТД.

*быть ознакомленными с:*

- новейшими достижениями в авиадвигателестроении;
- перспективами развития авиационных двигателей для применения в ГА;
- эксплуатационной и ремонтной технологичностью двигателей;
- с путями обеспечения и повышения ресурса.

1.4. Перечень дисциплин, усвоение которых необходимо для изучения КиП АД:

- математика (дифференциальное и интегральное исчисление, дифференциальные уравнения, линейная алгебра, аналитическая геометрия, ряды, теория вероятностей);
- инженерная графика ;
- физика (статика, кинематика, динамика);
- теоретическая механика;

- прикладная механика (теория механизмов и машин, детали машин, сопротивление материалов);
- химия и ГСМ;
- материаловедение и технология материалов;
- гидравлика и газодинамика;
- термодинамика;
- теплопередача;
- теория авиационных двигателей.

### 1.5. Специфика изучения курса КиП АД при заочном обучении

Изучение курса начинается с установочной лекции (2 часа), читаемой во время лабораторно-экзаменационной сессии III курса. Основным методом изучения курса является самостоятельная работа студента в течении учебного года.

Лекции (8 часов) и лабораторные занятия (20 часов) проводятся в период сессии IV курса (после самостоятельного изучения) и призваны систематизировать и обобщить полученные знания.

В процессе самостоятельного изучения курса студент выполняет курсовой проект (см. п. 2.2). Эта работа представляется на рецензирование в установленные сроки.

В период лабораторно-экзаменационной сессии IV курса студент:

- слушает обзорные лекции (см. п. 2.3);
- выполняет лабораторные работы (см. п. 2.4);
- получает предусмотренные расписанием консультации;
- сдает зачет по лабораторным работам;
- защищает курсовой проект (см. п. 2.2);
- сдает экзамен по дисциплине в объеме, предусмотренном рабочей программой дисциплины и настоящими указаниями (см. п. 2.1).

Специфика заочного обучения определяет форму построения

настоящих указаний, где предлагается последовательность изучения материала по темам с указанием литературных источников (в скобках после названия темы указаны страницы основного учебника [1]). Далее приводятся изучаемые темы и их базовые вопросы. В скобках приводятся вопросы, на которые рекомендуется обратить внимание в процессе изучения темы.

Во всех темах по конструкции узлов, агрегатов, систем необходимо уметь формулировать:

- назначение рассматриваемого элемента ГТД;
- основные предъявляемые требования, условия работы;
- уметь проиллюстрировать рассматриваемые положения на примере существующих конструкций.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ КиП АД

### 2.1. Темы дисциплины и их содержание

#### Тема 1. Введение в курс (установочная лекция, III курс)

Предмет и задачи курса.

Значение его в подготовке инженера-механика по эксплуатации летательных аппаратов и двигателей.

Структура курса.

Учебники, учебные и учебно-методические пособия.

Методические рекомендации к самостоятельному изучению курса и выполнению контрольной работы и курсового проекта.

Уточнение заданий на курсовое проектирование.

#### Тема 2. Общие сведения о ГТД (4...28)

История создания.

Типы ГТД и области их применения (для ТРД, ТРДД, ТВД, турбовальных ГТД, винтовентиляторных ГТД. 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.).

### Тема 3. Конструктивные и силовые схемы ГТД (28...57)

Конструктивно-компоновочные схемы (ККС) двигателей (типы-см. выше. 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. Передача силы тяги.

### Тема 4. Компрессоры (57...100)

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 элементов ротора.

Рабочие лопатки (назначение, геометрические характеристики, материалы). Рабочая часть лопаток. Хвостовики и полки лопаток. Крепление рабочих лопаток с использованием замков различных конструкций.

Статоры компрессоров (назначение, элементы статоров, направляющие и спрямляющие аппараты, корпуса опор). Рамные и консольные аппараты. Предотвращение заклинения 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).

Особенности конструкции центробежных и комбинированных компрессоров.

Материалы, используемые в конструкциях компрессоров (вкл. особенности использования титановых сплавов - "титановый пожар", повреждаемость из-за попадания посторонних предметов). Шум, создаваемый компрессором, и способы его снижения. Характерные неисправности компрессоров. Способы

повышения эксплуатационной надежности компрессоров (конструктивно-технологические, организационные).

#### Тема 5. Камеры сгорания (100... 120)

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, фронтальные устройства, двухзонные камеры сгорания с последовательным расположением зон, двухъярусные камеры сгорания).

Характерные неисправности камер сгорания.

#### Тема 6. Газовые турбины (120... 156)

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

Особенности центробежных турбин.

Конструктивные компоновки (по форме проточной части (закону профилирования, числу ступеней и каскадов, размещению силовых элементов).

Роторы осевых турбин. 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 корпуса).

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 (см. Тему 4, 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.

## Тема 7. Входные и выходные устройства (157... 172)

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 выходных устройств.

#### Тема 8. Опоры роторов. Соединительные муфты (173... 199)

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.

#### Тема 9. Редукторы авиационных силовых установок и приводы агрегатов (199...220)

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.

Тема 10. Статическая прочность рабочих лопаток компрессоров и турбин (221...264)

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 центробежными силами;
- изгибе л газowymi 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).

Тема 11. Статическая прочность дисков (264...284, [11])

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 прямой и обратной прогонки.

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.

Особенности расчета на прочность барабанно-дисковых конструкций (вкл. влияние барабанного участка на прочность диска и определение оптимального места расположения барабанного участка).

#### Тема 12. Статическая прочность валов (284...290)

Режимы работы для расчета на прочность и действующие нагрузки.

Расчетные схемы и определение напряжений.

Оценка прочности валов.

#### Тема 13. Статическая и динамическая прочность оболочек (296...300 [2, ЛР № 3])

Определение напряжений в оболочках с использованием безмоментной теории оболочек.

Потеря устойчивости оболочками и проверка оболочек на устойчивость.

Собственные формы колебаний оболочек.

Определение собственных частот колебаний оболочки.

Энергия колебаний и особенности частотных диаграмм.

#### Тема 14. Колебания и динамическая прочность элементов рабочих колес (301...347, [2, ЛР № 1,2])

Собственные формы и частоты колебаний:

-рабочих лопаток;

-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.

Тема 15. Общие вибрации двигателей и критические частоты вращения их роторов (347..386, [2, ЛР № 4,5])

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.

Примечание к темам 16-17.

В результате изучения указанных тем необходимо выполнять самостоятельное построение принципиальных гидравлических схем систем в обозначениях соответствующих ГОСТов (номера-см. [4, 21]).

Тема 16. Масляные системы ГТД (387... 418)

Типы маслосистем.

Магистральные маслосистемы.

Агрегаты, узлы и коммуникации систем смазки и суфлирования (назначение, принцип действия, основные

характеристики, обозначение на гидравлической принципиальной схеме).  
Уплотнения.  
Используемые масла, возможные неисправности и контроль систем смазки в эксплуатации.

#### Тема 17. Топливные системы двигателей (418...448)

Устройство топливных систем и их типовые схемы.  
Краткие сведения о системах управления подачей топлива ГТД.  
Понятие о законах регулирования ГТД.  
Основные агрегаты, узлы и коммуникации топливных систем.  
Характерные неисправности систем и способы их предупреждения.

#### Тема 18. Пусковые системы (448... 466, [10])

Типы пусковых систем.  
Этапы запуска.  
Уравнения моментов.  
Определение продолжительности запуска.  
Стартеры (электро- и воздушные).  
Механизмы передачи крутящего момента от стартера к ротору двигателя при его запуске.  
Системы зажигания.  
Причины снижения надежности запуска ГТД, основные неисправности пусковых систем.

Тема 19. Надежность и контроль технического состояния ГТД в эксплуатации (466...476, 482...486, 504...526)

Надежность, безопасность, долговечность.  
Показатели безотказности и долговечности ГТД.  
Влияние условий эксплуатации на показатели безотказности.  
Виды ресурса ГТД и методы их установления.



Задачи диагностики и контроля состояния двигателей.

Диагностика ГТД:

- по термогазодинамическим показателям;
- по контролю состояния масла;
- виброакустическая диагностика,
- методы визуального контроля, дефектоскопия и др.

Понятие об автоматизированных системах диагностирования ГТД.

## 2.2. Курсовой проект

Курсовой проект выполняется в соответствии с методическими указаниями к выполнению курсового проекта по дисциплине КиП АД [4].

Кроме типового задания на проект, объем, содержание и порядок работы над которым изложены в методических указаниях, в отдельных случаях некоторым студентам-заочникам могут быть выданы персональные задания, непосредственно связанные с их практической работой (согласуется во время экзаменационной сессии III курса).

### Индивидуальные задания курсового проектирования

1) Тема, содержание (вкл. исходные данные), объем индивидуального задания и их влияние на основную часть проекта уточняются по согласованию с руководителем проекта.

2) Отдельные задания могут быть выданы группе студентов из 2-4 человек.

3) Возможна и желательна связь индивидуального задания с предполагаемой темой дипломного проекта или работы,

4) При выполнении заданий рекомендуется использовать литературу соответствующей тематики из дополнительного списка литературы (см. ниже).

1. Провести сравнительный анализ профилировки проточной части компрессора (-он). Выполнить профилировку проточной части компрессора ( -ов ) для различных законов профилировки и располагаемых исходных данных.
2. Проанализировать способы соединения секций в роторах компрессоров и их влияние на производственную, эксплуатационную и ремонтную технологичность.
3. Проанализировать способы соединения секций в роторах компрессоров и их влияние на эксплуатационную надежность.
4. Выполнить прочностные расчеты и сравнительный анализ замковых соединений.
5. Предложить мероприятия по повышению эксплуатационной надежности компрессора. Проработать мероприятия по повышению эксплуатационной надежности I ступени компрессора.
6. Предложить мероприятия по повышению эксплуатационной технологичности компрессора. Проработать мероприятия по повышению эксплуатационной технологичности ступени компрессора.
7. Разработать систему повышения эксплуатационных характеристик компрессора.
8. Спроектировать комбинированный компрессор с центробежной ступенью.
9. Предложить конструктивные и технологические мероприятия по повышению эксплуатационной надежности камеры сгорания.
10. Предложить мероприятия по повышению экологичности камеры сгорания.
11. Проанализировать прочность и устойчивость элементов камеры сгорания.
12. Проанализировать прочность и устойчивость элементов корпуса двигателя.
13. Проработать мероприятия по снижению термических напряжений в камере сгорания и элементах, находящихся под ее термическим влиянием (кроме турбины).
20. Провести сравнительный анализ различных компоновок турбин

применительно к располагаемым исходным данным проектирования.

21. Предложить мероприятия по повышению эксплуатационной технологичности двигателя

22. Предложить мероприятия по повышению эксплуатационной технологичности турбины.

23. Предложить мероприятия по снижению термических напряжений в турбине.

24. Проработать мероприятия по снижению напряжений в рабочих лопатках компрессора (турбины). Провести количественный анализ их эффективности.

25. Спроектировать рабочую лопатку компрессора (турбины). Определить собственную частоту колебаний по 1 изгибной форме. Проанализировать влияние вращения ротора на собственную частоту колебаний.

26. Проанализировать изменение в частотной диаграмме рабочих лопаток при:

а) изменении числа возбудителей (форсунок, силовых стоек, лопаток спрямляющих аппаратов и др.),

б) изменении геометрических характеристик рабочих лопаток,

в) увеличении осевых зазоров в проектируемом двигателе,

27. Используя представления о характере распределения вибрационных напряжений по длине рабочей лопатки при колебаниях по различным формам, описать наиболее опасные эксплуатационные повреждения рабочих лопаток для соответствующих форм. Предложить мероприятия по повышению устойчивости к эксплуатационным повреждениям рабочих лопаток.

28,29. Проанализировать изменение напряжений в корневом сечении рабочей лопатки компрессора (турбины) при различных законах изменения площадей сечений по высоте лопатки и применяемых материалах.

30. Проанализировать влияние бандажной (антивибрационной) полки на напряжения в рабочих лопатках турбины и компрессора. Проанализировать влияние особенностей поля температур на выходе из камеры сгорания на напряжения в рабочих лопатках турбины.

31. Проанализировать напряжения на входной, выходной кромках и центральной части рабочих лопаток турбины на переходных режимах работы двигателя.

32. Проанализировать изменение зазоров в двигателе:

а) в процессе жизненного цикла,

б) на различных режимах работы.

Рассмотреть случай внезапного выключения двигателя.

33. Спроектировать систему активного управления зазорами.

35. Проанализировать изменение напряжений в диске узла при варьировании его геометрических характеристик.

36. Разработать систему диагностирования двигателя.

37. Рассчитать характеристики пусковой системы двигателя.

Спроектировать воздушный стартер.

38. Провести расчет теплового режима роликового подшипника компрессорной опоры.

39. Провести расчет теплового режима шарикового подшипника компрессорной опоры.

### 2.3. Обзорные лекции (ЛК)

ЛК 1. Современное состояние авиадвигателестроения. Этапы жизненного цикла ГТД. Особенности эксплуатации двигателей "по состоянию" и модульных двигателей. Перспективы развития авиадвигателестроения для гражданской авиации, 1 ч.

ЛК 2. Особенности конструкций узлов и расчета на статическую прочность деталей авиационных ГТД, 3 ч.

ЛК 3. Особенности конструкций систем авиационных ГТД, 2 ч.

ЛК 4. Проблемы обеспечения статической и динамической прочности элементов конструкции ГТД, 2 ч.

#### 2.4. Лабораторные работы (ЛР)

В процессе самостоятельной подготовки к ЛР с использованием методических указаний [2] студенты должны подготовить исходные формы отчета по ЛР (или заполнить соответствующие разделы "Журнала лабораторных работ"), которые в обязательном порядке должны включать разделы:

1.Цель работы.

2.Краткие теоретические сведения и основные расчетные формулы.

3.Схема лабораторной установки.

4.Основные исходные данные.

5.Табличные и иные графические- формы для занесения результатов расчета и эксперимента.

6.Выводы по результатам работы.

Перечень выполняемых лабораторных работ и их продолжительность:

ЛР 1. Определение спектров собственных частот и форм колебаний лопатки компрессора, 4 ч.

ЛР 2. Исследование колебаний дисков, 4 ч.

ЛР 3. Анализ критической частоты вращения простейшего ротора, 4 ч.

ЛР 4. Исследование критических частот вращения ротора в системе ротор-корпус, 4 ч.

ЛР 5. Исследование колебаний оболочек, 4 ч.

#### Примерный перечень вопросов для самоконтроля

1.Какие виды деформаций испытывает рабочая лопатка под действием:

-газовых сил;

-центробежных сил;

- термических сил на неустановившихся режимах?
2. Перечислите типы роторов компрессоров и способы передачи крутящего момента от вала турбины к рабочим лопаткам компрессора.
  3. Могут ли напряжения растяжения достигать максимального значения не в корневом, а других сечениях рабочей лопатки?
  4. Как меняется момент от газовых сил по длине рабочей лопатки, если интенсивность газовой нагрузки постоянна?
  5. При каком законе профилирования проточной части лопаточного узла высота рабочих лопаток его последней ступени будет максимальной?
  6. Как меняются напряжения в центре диска при появлении центрального отверстия?
  7. Объясните причину возникновения напряжений сжатия на ободу диска.
  8. Как зависят температурные напряжения в диске :
    - от модуля упругости материала;
    - от коэффициента линейного расширения?
  9. Перечислите способы фиксации рабочих лопаток в осевом направлении.
  10. Растягивающие или сжимающие напряжения действуют на границах отверстия диска, через которые проходит охлаждающий воздух?
  11. Как изменится частота собственных колебаний диска при уменьшении модуля упругости материала в  $n$  раз?
  12. Как меняется частота изгибных колебаний рабочей лопатки при изменении :
    - длины лопатки;
    - толщины профиля;
    - трапецевидности лопатки;
    - клиновидности?
  13. Меняется ли частота собственных колебаний диска при его равномерном нагреве?

14. Перечислите основные элементы типичной охлаждаемой рабочей лопатки турбины.
15. Связана ли частота собственных колебаний диска с частотой его вращения?
16. С какой угловой скоростью относительно неподвижного наблюдателя вращаются узловые диаметры при работе диска на критических оборотах?
17. В маслосистемах какого типа все масло возвращается в масляный бак?
18. Как повлияет повышение упругости одной из двух опор ротора на его критические обороты?
19. Перечислите все типичные агрегаты короткозамкнутой маслосистемы ТРДД.
20. Как влияет сила тяги двигателя на критические обороты ротора?
21. В двигателях какого типа не применяются электротепловые противообледенительные системы?
22. Какое свойство корпусов авиационных ГТД приводит к расслоению критических частот вращения роторов?
23. Как влияют зазоры в подшипнике на критические обороты ротора?
24. Перечислите формы колебаний оболочек и охарактеризуйте их принципиальные отличия
25. Поясните, чем различаются статическая и динамическая балансировка ротора?
26. Как влияет толщина стенок оболочки на собственные частоты колебаний?
27. В чем состоит принципиальное различие в балансировке жестких и гибких роторов?
28. Как связана частота поперечных колебаний ротора с его критической частотой вращения?

29. Поясните влияние гироскопического момента на критическую скорость вращения ротора
30. Перечислите все типы насосов, используемых в топливной системе.
31. Запишите выражение, позволяющее определить критические обороты ротора с шестью дисками.
32. Поясните понятие самоцентрирования ротора.
33. В чем состоит принципиальное отличие центробежного суфлера от центробежного воздухоотделителя?
34. Топливо какого давления используется в пусковой топливной системе?
35. Проиллюстрируйте определение критической частоты вращения ротора по частотной диаграмме.
36. Чему равна динамическая жесткость системы "ротор-корпус" при равенстве частоты вращения ротора критической?

### 3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

#### 3.1. Основная литература

1. Лозицкий Л.П. и др. Конструкция и прочность авиационных газотурбинных двигателей. М.: Воздушный транспорт, 1992.
2. Умушкин Б.П. Прочность и динамика узлов авиационных газотурбинных двигателей. Конспект лекций. М.: МГТУ ГА, 2007.
3. Умушкин Б.П., Иванов В.П., Чичков Б.А. Учебно-методическое пособие к выполнению курсового проекта по дисциплине "Конструкция и прочность авиационных двигателей" для студентов IV и V курсов спец. 13.03 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 1998. (переизд. 2008)
4. Москаленко Л.В., Умушкин Б.П. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине "Конструкция и прочность"



авиационных двигателей" для студентов для студентов 3 и 4 курсов специальности 160901 по направлению 160900 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 2006.

### 3.2. Дополнительная литература

5. Москаленко Л.В., Умушкин Б.П. Конструкция и прочность авиационных двигателей. Пособие к лабораторным занятиям на технике по теме "Компрессоры газотурбинных двигателей" для студентов 3 и 4 курсов специальности 160900 по направлению 552000 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 2007.

6. Москаленко Л.В., Умушкин Б.П. Конструкция и прочность авиационных двигателей. Пособие к лабораторным занятиям на технике по теме "Камеры сгорания газотурбинных двигателей" для студентов 3 и 4 курсов специальности 160900 по направлению 552000 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 2007.

7. Москаленко Л.В., Умушкин Б.П. Конструкция и прочность авиационных двигателей. Пособие к лабораторным занятиям на технике по теме "Системы запуска газотурбинных двигателей" для студентов 3 и 4 курсов специальности 160900 по направлению 552000 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 2007.

8. Москаленко Л.В., Умушкин Б.П., Чичков Б.А. Конструкция и прочность авиационных двигателей. Пособие к лабораторным занятиям на технике по теме "Противопожарная и антиобледенительная системы ГТД" для студентов 3 и 4 курсов специальности 160900 по направлению 552000 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 2007.

9. Москаленко Л.В., Умушкин Б.П., Чичков Б.А. Конструкция и прочность авиационных двигателей. Пособие к лабораторным занятиям на технике по теме "Топливные системы авиационных ГТД" для студентов 3 и 4 курсов специальности 160900 по направлению 552000 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 2007.

10. Москаленко Л.В., Умушкин Б.П., Чичков Б.А. Конструкция и прочность авиационных двигателей. Пособие к лабораторным занятиям на технике по теме “Турбины газотурбинных двигателей” для студентов 3 и 4 курсов специальности 160900 по направлению 552000 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 2007.
11. Москаленко Л.В., Умушкин Б.П., Чичков Б.А. Конструкция и прочность авиационных двигателей. Пособие к лабораторным занятиям по теме “Масляные системы авиационных ГТД ” для студентов 3 и 4 курсов специальности 160901 по направлению 160900 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 2007.
12. Скубачевский ГС. Авиационные газотурбинные двигатели Конструкция и расчет деталей . М.: Машиностроение, 1981.
13. Вьюнов С.А. и др. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение 1989.
14. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей/ Под редакцией Д.В. Хромина. М.: Машиностроение, 1989.
15. Чичков Б.А. Расчет на прочность дисков турбомашин с использованием численных методов. Пособие по дисциплине "Конструкция и прочность авиационных двигателей", для НИРС и дипломного проектирования для студентов специальности 13.03 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 1998.
16. Чичков Б.А. Конструкция и эксплуатация масляной системы ТРДД Д-30КУ(КП). Учебное пособие для студентов 5 и 4 курсов специальности 130300 всех форм обучения.- М.: МГТУ ГА, 1999.- 156 с.
17. Лозицкий Л.П. и др. Оценка технического состояния авиационных ГТД. М.: Транспорт, 1982.
18. Технические описания, сборочные чертежи авиационных ГТД и их агрегатов, в т. ч.:
- 18.1. Авиационные двухконтурные двигатели Д-30КУ и Д-30КП

(конструкция, надежность и опыт эксплуатации) / Л.П.Лозицкий, М.Д.Авдошко, В.Ф.Березлев и др. М.: Машиностроение, 1988.

18.2. Авиационный двухконтурный турбореактивный двигатель Д-30 2 серии. Техническое описание. М.: Машиностроение, 1973.

18.3. Трофимов И.Е., Торчук Ф.В. Конструкция и летная эксплуатация двигателя АИ-25: Учебное пособие. М.: Машиностроение, 1981 .

18.4. Хаустов И.Г., Фельдман Е.Л. Авиационный двухконтурный двигатель НК-8-2. М.: Машиностроение, 1974.

18.5. Фельдман Е.Л., Черкасов Л.А. Авиационный двухконтурный двигатель НК-86. - М.: Машиностроение, 1981.

18.6. Авиационный турбовинтовой двигатель ТВ2-117 и редуктор ВР-8А. М.: Машиностроение, 1977.

18.6. Пивоваров В.А. Авиационный двигатель ПС-90А (особенности конструкции, работа, эксплуатация). Учебное пособие. - М.: МИИГА, 1989.

18.7. Акуленко В.С., Иноземцев А.А., Соловьев Б.А. Авиационный газотурбинный двигатель ПС-90А. Учебное пособие.- Л.: ОЛАГА, 1990.

19. Справочники по машиностроительному черчению; методические указания по выполнению чертежей и пояснительных записок курсовых и дипломных проектов МГТУ ГА.