

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Б.А. Чичков

**КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЧНОСТЬ
ДВИГАТЕЛЕЙ САМОЛЕТОВ**

ПОСОБИЕ

по изучению дисциплины

*для студентов IV курса
направления 25.03.01
всех форм обучения*

Москва-2016

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**Кафедра двигателей летательных аппаратов
Б.А. Чичков**

КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЧНОСТЬ ДВИГАТЕЛЕЙ САМОЛЕТОВ

ПОСОБИЕ
по изучению дисциплины

*для студентов IV курса
направления 25.03.01
всех форм обучения*

Москва-2016

ББК 0551-02

Ч 72

Рецензент д-р техн. наук, профессор В.Н. Котовский

Чичков Б.А.

Ч 72 Конструкция и прочность двигателей самолетов: пособие по изучению дисциплины. – М.: МГТУ ГА, 2016. – 20 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Конструкция и прочность двигателей самолетов» по учебному плану для студентов IV курса направления 25.03.01 всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 13.10.2015 г. и методического совета 10.11.2015 г.

© Московский государственный
технический университет ГА, 2016

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ “КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЧНОСТЬ ДВИГАТЕЛЕЙ” В СТРУКТУРЕ ООП БАКАЛАВРИАТА, ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина относится к вариативной части профессионального цикла (дисциплины по выбору студента, Профиль № 1 «Техническое обслуживание летательных аппаратов и авиационных двигателей», Маршрут № 1 (самолеты с ГТД)).

Целью дисциплины является формирование у студентов знаний в области конструкции и прочности авиационных газотурбинных двигателей самолетов (далее – ГТД) в объеме, необходимом для подготовки специалистов, осуществляющих техническое обслуживание летательных аппаратов и авиационных двигателей (отечественной и зарубежной авиатехники) в ГА.

Данная дисциплина является предшествующей для следующих дисциплин: системы двигателя; техническая эксплуатация ЛА и Д; производство и ремонт ЛА и Д; выпускная квалификационная работа.

2. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование у студентов общекультурных и профессиональных компетенций: способности находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и готовность нести за них ответственность; способности использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования; способности применять знания на практике, в том числе владеть научным инструментарием, применяемым в области авиации; способности проводить измерения и инструментальный контроль при эксплуатации авиационной техники, проводить обработку результатов и оценивать погрешности; способности к решению задач планирования, организации, информационного и аппаратного обеспечения производственных процессов технического обслуживания и ремонта летательных аппаратов, используя базовые профессиональные знания; способности к организации работы малых коллективов исполнителей, подготовки и переподготовки авиаперсонала; способности к выполнению работ по поддержанию летной годности летательных аппаратов; способности к участию в проведении комплекса планово-предупредительных работ по обеспечению исправности, работоспособности и готовности объектов авиационной техники к эффективному использованию по назначению; способности к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; готовности к проведению контроля, диагностирования, прогнозирования технического состояния, регулировочных и доводочных работ, испытаний и проверки работоспособности авиационных систем и изделий.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: методические основы анализа и оценки конструктивного, технологического и экономического совершенства авиадвигателей как объектов эксплуатации; инженерные методы оценки влияния эксплуатационных факторов и условий эксплуатации на надежность конструкции и безопасность полетов; условия работы узлов и деталей газотурбинных двигателей, основы расчета эксплуатационных нагрузок; основы инженерных методов оценки напряженно-деформированного состояния при статическом и динамическом нагружении основных узлов авиадвигателей; основы расчетных и экспериментальных методов оценки прочности и работоспособности газотурбинных двигателей; физическую природу и способы оценки влияния накопленных повреждений на работоспособность деталей и узлов авиадвигателей при функционировании, пути предотвращения возможных отказов при техническом обслуживании и ремонте; экспериментальные методы исследования динамических характеристик лопаток, дисков, роторов, оболочек и критических частот вращения роторов ГТД; конструктивно - компоновочные и силовые схемы ГТД, области рационального применения различных силовых схем; назначения и требования, предъявляемые к входным и выходным устройствам, компрессорам, камерам сгорания, турбинам и способы их реализации; условия работы, состав, конструктивные параметры и схемы основных узлов АД, их сравнительную оценку; конструкцию основных узлов авиадвигателей и инженерные принципы, положенные в основу их создания; влияние конструктивных особенностей основных узлов ГТД и узлов соединения на совместную работу в составе двигателей; конструкцию основных узлов серийных (используемых в ГА) авиадвигателей; принципы создания конструкций повышенной живучести, методы улучшения конструктивно – эксплуатационных свойств авиадвигателей.

Уметь: формулировать и обосновывать основные требования, предъявляемые к ГТД ГА, их параметрам и конструкции основных узлов; анализировать и объяснять принятые схемные и конструктивные решения. Обосновывать выбранные материалы с учетом условий эксплуатации ГТД на воздушных судах; рассчитывать статические, динамические и термические нагрузки, действующие на основные элементы и детали ГТД на основных эксплуатационных режимах; рассчитывать напряженно-деформированное состояние и динамические параметры основных элементов и деталей ГТД; оценивать статическую и динамическую прочность и работоспособность основных элементов и деталей ГТД при действии статических и динамических нагрузок, характерных для полетного цикла; выявлять причины возникновения неисправностей и разрабатывать алгоритмы их устранения; анализировать и прогнозировать техническое состояние ГТД в процессе эксплуатации; предвидеть последствия влияния различных эксплуатационных факторов на работу и техническое состояние ГТД; самостоятельно осваивать новые образцы авиационных ГТД.

Владеть: методическими основами анализа конструктивных решений, примененных на двигателе; методами оценки прочности деталей и узлов ГТД,

методами работы с учебной, научной, технической и эксплуатационной документацией, выполнением сборочных и рабочих чертежей деталей и узлов АД; способами выявления типичных неисправностей, возникающих в процессе эксплуатации узлов АД.

3. ТРУДОЕМКОСТЬ, СТРУКТУРА, СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАНЯТИЙ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 216 часов, 6 зачетных единиц. Дисциплина изучается на четвертом курсе.

Аудиторные занятия представлены лекциями, лабораторными работами и практическими занятиями, перечень которых представлен далее. В ходе изучения дисциплины необходимо также выполнить и защитить расчетно-графическую работу (ДО) и курсовой проект, сдать зачет и экзамен. Значительное место в процессе изучения дисциплины (не менее половины от общей трудоемкости) составляет самостоятельная работа студента (СРС).

При преподавании дисциплины используются как классические формы и методы обучения (лекции, практические занятия и лабораторные работы), так и методы обучения, включающие использование IT-обучающих технологий.

Лекции, практические занятия и лабораторные работы по дисциплине проводятся с использованием специализированного оборудования, компьютерного и мультимедийного оборудования Университета и образцов авиационной техники, размещенных на кафедре ДЛА МГТУ ГА.

В целом содержание дисциплины (см. также <http://storage.mstuca.ru/handle/123456789/7955>) образует содержание четырех разделов по конструкции ГТД, статической и динамической прочности ГТД, особенностям конструкции систем ГТД, надежности и технологичности ГТД в эксплуатации и представлено следующими основными разделами и темами.

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, ВСУ). 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 и технологичности, разработке новых схем, развития средств диагностирования и т.д.).

Литература: [1], с.4-28.

(Указанная здесь и далее литература содержит минимально-достаточные сведения по изучаемым вопросам.)

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, и их классификация по физической природе, направлению действия, особенностям уравнивания, скорости изменения и т.п.. Силовые схемы роторов ГТД (двух-, трех-, четырехпорные роторы, особенности размещения подшипников в зависимости от схемы ротора, особенности применения 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).

Литература: [1], с.28-57.

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 и особенности эксплуатации (в плане замены рабочих лопаток, балансировки и добалансировки в процессе эксплуатации). Разборные и неразборные конструкции. Диски и валы. Передача крутящих моментов. Центрирование элементов ротора. Материалы.

Рабочие лопатки (назначение, геометрические характеристики, материалы. Перовая 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). Конструктивные решения по обеспечению эксплуатационной технологичности. Конструктивные и технологические способы борьбы с опасными резонансными колебаниями лопаток. 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. Конструктивные элементы вспомогательных систем и устройств компрессоров (защиты входа в компрессор, системы отбора воздуха, противообледенительных систем, повышения газодинамической устойчивости и регулирования компрессоров, газодинамической разгрузки роторов от осевых усилий, системы контроля и диагностирования состояния компрессоров). Особенности организации отбора воздуха на самолетные и двигательные нужды. Области применения и

особенности конструкции центробежных и комбинированных компрессоров. Материалы, используемые в конструкциях компрессоров и особенности эксплуатации деталей из дюралюминиевых 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). Типичные работы по ТО компрессоров.

Литература: [1], с.57-100.

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). Назначение, конструкция и работа 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. Конструктивные и технологические способы борьбы с опасными резонансными колебаниями камер сгорания. Меры борьбы с эмиссией вредных веществ (компоненты продуктов сгорания. Многогорелочные фронтальные устройства, двухъярусные камеры сгорания с последовательным расположением зон, двухъярусные камеры сгорания). Обеспечение пожарной безопасности ГТД. Характерные неисправности камер сгорания, их предупреждение, обнаружение и устранение. Типичные работы по ТО камер сгорания.

Литература: [1], с.100-120.

Тема 1.3.3. Турбины ГТД.

Назначение и типы газовых турбин, классификация (по направлению движения потока, числу каскадов, способа 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 (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 и их обеспечение. Уплотнения проточной части и опор. Изменение радиального зазора в турбине и системы активного управления радиальными зазорами. Охлаждение турбин (способы охлаждения: теплопередачей, конвективный, конвективно-заградительный, их эффективность, конструктивная реализация, влияние системы охлаждения турбины на характеристики двигателя в целом). Характерные неисправности турбин, их предупреждение, обнаружение и устранение. Типичные работы по ТО турбин.

Литература: [1], с.120-156.

Тема 1.3.4. Входные и выходные устройства ГТД .

Назначение, требования, классификация и состав входных и выходных устройств. Особенности входных устройств ТРДД. Нерегулируемые и регулируемые сопла. Особенности выходных устройств ТВД. Типичные “опасные” зоны в районах входных и выходных устройств работающих двигателей и их зависимость от режима работы. Реверсирование тяги (назначение, коэффициент реверсирования, устройства створчатого и решетчатого типа, усилия на элементы устройства, основные элементы воздушных и гидрогазовых систем привода, особенности реверсирования тяги двигателей с большой степенью двухконтурности). “Горячие” и “холодные” реверсивные устройства. Конструктивные элементы механических частей реверсивных устройств (силовые балки, тяги, створки, замки, обтекатели, противопожарные перегородки, синхронизаторы). Шум, создаваемый реактивной струей, и способы его снижения. Особенности эксплуатации реверсивных устройств при пробеге. Характерные неисправности входных и выходных устройств, их предупреждение, обнаружение и устранение. Меры безопасности при проведении технического обслуживания входных и ресерсивных устройств. Типичные работы по ТО входных и выходных устройств.

Литература: [1], с.157-172.

Тема 1.3.5. Опоры роторов. Соединительные муфты.

Назначение опор, требования. 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. Передаваемые усилия и особенности конструкции. Применяемые материалы. Характерные неисправности опор и соединительных муфт, их предупреждение, обнаружение и устранение.

Литература: [1], с.173-179.

Тема 1.3.6. Конструктивные схемы приводов и редукторов авиационных ГТД.

Редукторы двигателей (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. Приводы постоянных оборотов: назначение, особенности конструктивных схем и работа. Характерные неисправности редукторов, приводов агрегатов и приводов постоянных оборотов в эксплуатации. Обеспечение контролепригодности редукторов и приводов в эксплуатации. Типичные работы по ТО приводов и редукторов.

Литература: [1], с.199-220.

РАЗДЕЛ 2. СТАТИЧЕСКАЯ И ДИНАМИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ГТД.

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

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

Тема 2.2. Статическая прочность рабочих лопаток турбокомпрессоров.

Условия работы рабочих лопаток, нагрузки, действующие на них. Определение напряжений в рабочих лопатках.

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). Конструктивные и технологические способы обеспечения статической прочности лопаток. Повреждаемость (от механического, термического и коррозионного воздействия) лопаток в процессе эксплуатации и ее влияние на статическую прочность. Зоны лопаток с позиций устранения повреждений в процессе эксплуатации и их связь с оценками прочности лопаток.

Литература: [1], с. 221...264.

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 в эксплуатации. Основные уравнения напряжен-

ного состояния дисков. Граничные условия. Общие свойства напряженного состояния дисков. Определение напряжений в диске от действия отдельных силовых факторов (центробежной силы от собственной массы диска, рабочих лопаток, термических нагрузок). Особенности распределения напряжений в дисках с отверстием и без. Эпюры напряжений в диске от раздельного действия силовых факторов и суммарные напряжения. 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. Конструктивные и технологические способы обеспечения эксплуатационной надежности дисков.

Литература: [1], с. 264-284, [16].

Тема 2.4. Статическая прочность элементов роторов и корпусов ГТД. Динамическая прочность оболочек.

Режимы работы для расчета на прочность и действующие нагрузки. Расчетные схемы и определение напряжений. Оценка прочности валов. Определение напряжений в оболочках при различных видах нагружения (растяжении и сжатии, кручении, внутреннем и внешнем давлении). Потеря устойчивости оболочками и проверка оболочек на устойчивость. Собственные формы колебаний оболочек. Определение собственных частот колебаний оболочки. Конструктивные и технологические способы обеспечения эксплуатационной надежности оболочек и валов ГТД.

Литература: [1], с. 284-290, 296-300.

Тема 2.5. Колебания и динамическая прочность рабочих колес и их элементов.

Собственные формы и частоты колебаний рабочих лопаток и дисков. Особенности спектров собственных колебаний рабочих колес в целом. Источники возбуждения колебаний лопаток и дисков. Понятие формы колебаний. Формы колебаний рабочих лопаток и дисков. Понятие узловых линий при колебаниях. Колебания лопаток и дисков с позиций энергетической теории. Автоколебания рабочих лопаток и способы их предупреждения. Резонансные диаграммы. Понятие опасных резонансных режимов и критерии опасности. Понятие вперед и назад бегущей волны при колебаниях дисков. Экспериментальные способы оценки форм колебаний лопаток и дисков. Резонансный метод. Формы колебаний лопаток и дисков, представляющих наибольшую опасность в эксплуатации и способы их недопущения. Влияние геометрических характеристик и других факторов на собственные частоты колебаний рабочих лопаток и дисков. Запасы динамической прочности. Пути борьбы с опасными резонансными колебаниями при конструировании и в эксплуатации. Оценка динамической прочности рабочих лопаток и дисков ГТД – расчетная и экспериментальная.

Литература: [1], с. 301-347.

Тема 2.6. Критические частоты вращения роторов двигателей. Вибрации ГТД.

Динамика простейшего (однодискового) ротора. Поперечные колебания роторов и их связь с критическими частотами вращения. Понятие критической частоты вращения ротора и ее связь с устойчивостью. Критическая частота вращения роторов в системе ГТД. Метод динамических жесткостей. Критическая частота вращения многодискового ротора. Критические частоты вращения роторов и их связь с вибрациями двигателей. Статическая и динамическая балансировка роторов. Балансировка и “добалансировка” роторов в процессе производства и эксплуатации (после замены рабочих лопаток). Пути борьбы с опасными вибрациями двигателей. Нормирование и контроль вибраций двигателей в эксплуатации.

Литература: [1], с. 347-386.

Следует еще раз обратить внимание на то, что при изучении тем вопросы статической и динамической прочности должны быть увязаны с основными эксплуатационными факторами, действующими на детали, узлы авиационных ГТД в процессе эксплуатации. Особое внимание также должно быть уделено 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 учебном плане подготовки бакалавров по профилю “Техническое обслуживание летательных аппаратов и авиационных двигателей” (2011 г.) особо следует отметить неразрывную связь содержания дисциплины, излагаемой в рамках настоящего пособия, с дисциплиной “Системы самолета и двигателя”, изучаемой в 8 семестре. (Ранее конструкция узлов и систем двигателя изучалась в рамках одной дисциплины – “Конструкция и прочность авиационных двигателей”). С учетом этого, в рамках настоящей дисциплины рассматриваются лишь минимальные сведения по конструкции систем ГТД, 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.

Тема 3.1. Масляные системы ГТД.

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

Литература: [1], с.387-418.

Тема 3.2. Топливные системы ГТД.

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

Литература: [1], с.418-448.

Тема 3.3. Пусковые системы ГТД.

Типы пусковых систем. Этапы запуска. Уравнения моментов. Агрегаты пусковых систем. График опробования ГТД.

Литература: [1], с.448-466.

РАЗДЕЛ 4. НАДЕЖНОСТЬ И КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГТД В ЭКСПЛУАТАЦИИ. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ГТД.

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 ГТД. Понятие об автоматизированных системах диагностирования ГТД. Надежность АД и конструктивные способы ее обеспечения. Контроль состояния АД в эксплуатации. Эксплуатационная технологичность конструкций АД. Перспективы развития АД.

Литература: [1], с. 466-476.

В целом при изучении указанных выше тем конструкция ГТД должна всегда 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. Также необходимо, в общем случае, уметь формулировать: назначение рассматриваемого элемента ГТД; основные требования, предъявляемые к нему, критерии классификации и выполнять собственно классификацию конструкций; условия работы и особенности нагружения в процессе эксплуатации; описывать конструктивные элементы; уметь проиллюстрировать рассматриваемые положения на примере существующих конструкций; формулировать меры по предупреждению, обнаружению и устранению типичных неисправностей в процессе эксплуатации.

ПЕРЕЧЕНЬ И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ предусматривает изучение особенностей конструкции узлов конкретных типов авиационных двигателей и работ по их техническому обслуживанию с приобретением навыков по работе с нормативно-технической документацией и выполнением практических работ по техническому обслуживанию на образцах авиационной техники (замена деталей, агрегатов, восстановление поврежденных рабочих лопаток и т.п.). Также в рамках практических занятий должны быть изучены типичные неисправности узлов авиационных ГТД-их виды, поиск, обнаружение, устранение, предупреждение (на образцах авиационной техники), закреплены навыки работы с нормативно-технической документацией. Содержание практических занятий предусматривает заполнение журналов практических занятий по образцам конкретной авиационной техники (типовых или, инициативно, са-

мостоятельно разрабатываемых студентом, с соблюдением структуры типового журнала).

Типовая РГР, предусматривает рассмотрение особенностей конструктивно-компоновочных схем, проведение вариативных оценок геометрических характеристик узлов ГТД с обоснованием выбора оптимальной компоновки.

ТЕМАТИКА типового КП – проектирование ГТД на базе двигателей-прототипов. Содержание проекта, в отдельных случаях, может быть персонафицировано с учетом предполагаемой тематики дипломного проектирования. Подробнее – см. [15].

ПЕРЕЧЕНЬ И СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ предусматривает изучение особенностей конструкции и прочности узлов и агрегатов авиационных ГТД. Содержание лабораторных работ, как и практических занятий, предусматривает индивидуальную подготовку отчетов, презентаций, заполнение журналов лабораторных работ в рамках СРС.

В общем случае план отчета (презентации) по работам номер 2-11, подаваемый в ходе СРС должен быть представлен пунктами: назначение (узла, системы); требования; основные характеристики; классификация; особенности статического и динамического нагружения (узла, системы в целом) в условиях эксплуатации; состав; особенности условий работы и нагружения отдельных элементов, расчетные схемы и отношения; конструкция элементов и ее особенности; применяемые материалы и технологические особенности; влияние особенностей конструкции и применяемых технологических решений на эксплуатационную надежность и технологичность, экологичность; основные типичные неисправности, их характеристики и проявление, предупреждение, обнаружение, устранение; типичные работы и основные меры техники безопасности при проведении работ по техническому обслуживанию.

(Примечание: ниже даны сокращенные названия работ. Замечания по рекомендуемым литературным источникам в НТБ МГТУ ГА и электронном хранилище, если особо не оговорено, – см. пп. “Г” раздела 7 настоящих указаний.)

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 (<http://storage.mstuca.ru/handle/123456789/7649>).

13. Исследование спектра частот и форм собственных колебаний дисков.
14. Исследование спектра частот и форм собственных колебаний оболочек (<http://storage.mstuca.ru/handle/123456789/7649>).
15. Исследование критических частот вращения роторов (<http://storage.mstuca.ru/handle/123456789/8063>).
16. Исследование критических частот вращения ротора в системе “ротор-корпус” (<http://storage.mstuca.ru/handle/123456789/8063>).

4. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Текущий контроль успеваемости студентов по дисциплине включает отчеты по практическим работам, защиту лабораторных работ, выполнение и защиту РГР и КП, оценку выступлений студента и собеседований, прочие виды промежуточного (“рубежного”) контроля.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины осуществляется в виде зачета, а итоговая – в виде экзамена.

Примерные вопросы для подготовки и самооценки к зачету (7 семестр дневной формы обучения) размещены на сайте МГТУ ГА по адресу (адрес публикации на сайте МГТУ ГА в разделе “Электронные ресурсы/Электронное хранилище полнотекстовых документов”): <http://storage.mstuca.ru/handle/123456789/4339>; к экзамену (все формы обучения): <http://storage.mstuca.ru/handle/123456789/7946>; а так же имеется более 400 заданий в тестовой форме в кафедральном фонде (их характеристику см. в приложении), которые используются для текущего контроля и входного контроля при проведении зачета/экзамена.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине способствует более глубокому усвоению изучаемого курса и проводится в следующих видах: проработка лекционного материала; подготовка к выполнению и защите лабораторных работ; подготовка к практическим работам; выполнение РГР и КП; подготовку трех эссе следующей тематики: 1) надежность (узла, системы ГТД) и конструктивно-технологические и эксплуатационные способы ее обеспечения, 2) эксплуатационная технологичность ГТД и способы ее обеспечения, 3) способы обеспечения динамической прочности элементов ГТД; подготовка к зачету и экзамену.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, АДРЕСА ПУБЛИКАЦИИ НА САЙТЕ МГТУ ГА

а) основная литература:

1. Лозицкий Л.П. и др. Конструкция и прочность авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Воздушный транспорт, 1992. (библиотечный шифр: 0551.41 К65).

2. Евдокимов А.И. и др. Конструкция и прочность авиадвигателей. Учебник для авиационных ВУЗов. М.: ВВА, 2012. (библиотечный шифр: 0551.41 К47).

б) дополнительная литература:

3. Вьюнов С.А. и др. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1989.

4. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. – ОАО “Авиадвигатель”. – Пермь, 2006.

5. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей / Под редакцией Д.В. Хромина. – М.: Машиностроение, 1989.

6. Скубачевский Г.С. Авиационные газотурбинные двигатели. Конструкция и расчет деталей. – М.: Машиностроение, 1981.

7. Умушкин Б.П. Конспект лекций по дисциплине КП ГТД. М.: МГТУ ГА, 2004.

8. Чичков Б.А. Рабочие лопатки авиационных ГТД. Эксплуатационная повреждаемость рабочих лопаток. – М.: МГТУ ГА, 2002. (<http://storage.mstuca.ru/handle/123456789/5047>).

9. Чичков Б.А. Рабочие лопатки авиационных ГТД. Контроль работоспособности рабочих лопаток. Ремонт и замена рабочих лопаток в эксплуатации. – М.: МГТУ ГА, 2002.

10. Двигатели газотурбинные авиационные. Термины и определения. ГОСТ 23851-79. – М.: Изд-во стандартов.

11. Справочники, ГОСТы по машиностроительному черчению (любые актуальные).

в) учебно-методическая литература по проведению практических занятий

12. Лозицкий Л.П. и др. Авиационные двухконтурные двигатели Д-30КУ и Д-30КП. – М.: Машиностроение, 1988. (библиотечный шифр: 0551.411 А202).

13. Иноземцев А.А. и др. Авиационный двигатель ПС-90А. – М.: Либра-К, 2007.

14. РТЭ двигателей – в локальной сети МГТУ ГА на сервере “\\uni044” и прочие доступные РТЭ и технические описания.

Примечание. Журнал практических занятий студенты получают на кафедре (в бумажном или электронном виде).

г) учебно-методическая литература для выполнения лабораторных работ:

ряд пособий к проведению лабораторных работ (в т.ч. журналы занятий и работ) студентам выдается в бумажном или электронном виде (распечатываются самостоятельно), остальные пособия издания МГТУ ГА могут быть получены в НТБ МГТУ ГА или забраны в электронном виде в электронном хранилище полнотекстовых документов (подбор можно выполнить по фамилиям преподавателей и тематике лекций, лабораторных работ и практических занятий; электронное хранилище содержит и новые пособия, не упомянутые здесь и вышедшие после издания настоящего пособия).

Номера основных методических разработок в НТБ МГТУ ГА (ограниченный объем настоящих указаний, к сожалению, не позволяет перечислить здесь их полные выходные данные): 610, 1248, 1250, 1503, 1551-1561, 1564, 1584.

Журнал для лабораторных работ размещен по адресу: <http://storage.mstuca.ru/handle/123456789/7933>.

Пособия для выполнения КП:

15. Чичков Б.А. Пособие к выполнению курсового проекта по дисциплине КиП Д. – М.: МГТУ ГА, 2015. (<http://storage.mstuca.ru/handle/123456789/8062>).

16. Чичков Б.А. Расчет на прочность дисков турбомашин с использованием численных методов. Пособие для студентов специальности 13.03 всех форм обучения. – М.: МГТУ ГА, 1998. (<http://storage.mstuca.ru/handle/123456789/4354>; лист с формой для внесения исходных данных размещен по адресу: <http://storage.mstuca.ru/handle/123456789/4346>).

17. Чичков Б.А. Основы конструкции и прочности ЛА и АД. Системы самолета и двигателя. Пособие по выполнению контрольного домашнего задания для студентов IV курса направлений 162300, 25.03.01 всех форм обучения. – М.: МГТУ ГА, 2014. (<http://storage.mstuca.ru/handle/123456789/7932>).

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ В ТЕСТОВОЙ ФОРМЕ

Примеры фрагментов заданий в тестовой форме по некоторым типам - см. рис. П1-П5.

Среди предложенных нет правильных

клапаны перепуска воздуха

регулируемые направляющие аппараты

стаканы отбора воздуха на двигательные нужды

стаканы отбора воздуха на самолетные нужды

не знаю

воспламенители

ДОПОЛНИТЕ:
"Номером "22" на рисунке обозначена _____ ступень компрессора"

Ответ: _____

Рис. П1. Пример вопроса с выбором верного ответа, содержащего текстовую и графическую часть

ДОПОЛНИТЕ:
"Номером "22" на рисунке обозначена _____ ступень компрессора"

Ответ: _____

Рис. П2. Пример вопроса в открытой форме (на дополнение), содержащего текстовую и графическую часть

Выделите щелчком мыши элемент в правом столбце, удерживая кнопку нажатой, перетащите элемент из правого столбца в пустую ячейку среднего столбца и отпустите кнопку мыши. Пока не нажата кнопка "Ответить" можно переставлять элементы внутри второго и третьего столбца.

с двойной замкнутой с

с тройной связью

Рис. П3. Пример вопроса на установление соответствия, содержащего текстовую и графическую часть

РАСПОЛОЖИТЕ УПЛОТНЕНИЯ В ПОРЯДКЕ СНИЖЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

1

2

3

Выделив щелчком мыши элемент в правом столбце, удерживая кнопку нажатой, перетащите элемент из правого столбца в пустую ячейку среднего столбца и отпустите кнопку мыши. Пока не нажата кнопка "Ответить" можно переставлять элементы внутри первого и второго столбца.

Рис. П4. Пример вопроса на упорядочение, содержащего текстовую и графическую часть

ВЫПОЛНИТЕ КЛАССИФИКАЦИЮ ДЕТАЛЕЙ ПО ПРИЗНАКУ ВХОЖДЕНИЯ УЗЕЛ КОНСТРУКЦИИ

УЗЕЛ - КОМПРЕССОР

УЗЕЛ - ТУРБИНА

Выделив щелчком мыши элемент в правом столбце, удерживая кнопку нажатой, перетащите элемент из правого столбца в пустую ячейку среднего столбца и отпустите кнопку мыши. Пока не нажата кнопка "Ответить" можно переставлять элементы внутри первого и второго столбца.

Рис. П5. Пример вопроса на классификацию, содержащего текстовую и графическую часть

СОДЕРЖАНИЕ

1. Место дисциплины “Конструкция и прочность двигателей” в структуре ООП бакалавриата, цель освоения дисциплины.....	3
2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины.....	3
3. Трудоемкость, структура, содержание дисциплины, особенности организации занятий.....	5
4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.....	14
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины, адреса публикации на сайте МГТУ ГА.....	14
Приложение. Примеры заданий в тестовой форме.....	17

Подписано в печать 10.11.2016 г.

Печать офсетная
1,16 усл.печ.л.

Формат 60x84/16
Заказ № 112

0,87 уч.-изд. л.
Тираж 80 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20
Редакционно-издательские услуги ООО «Имидж-студия Арина»
127051 Москва, М. Сухаревская пл., д. 2/4 стр.1