

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П. А. Соловьева»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке и инновациям  
д-р техн. наук, профессор  
Кожина Т.Д.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине

**ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ АД И ЭУ**

для специальности

01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

<b>Виды занятий</b>	<b>Количество часов</b>	<b>Количество зачетных единиц</b>
Лекции	14	
Практические занятия	16	
Самостоятельная работа	15	
Всего:	45	1,25
Форма контроля	Экзамен	

Рабочую программу составил:

Волков Д. И.

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры РМСИ имени  
С.С. Силина «\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г., протокол № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой,

д.т.н., профессор

Волков Д.И.

Рыбинск 2011

Настоящая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки дипломированного специалиста 652200 Двигатели летательных аппаратов, утвержденного Министерством образования Российской Федерации 14 апреля 2000 года, и на основании учебного плана по указанному направлению, утвержденному ректором РГАТА им. П.А. Соловьева 25.12. 2003г.

## **1. Цели и задачи дисциплины**

### **1.1. Цель преподавания дисциплины.**

Дать необходимые сведения о динамике авиационного двигателя, основах прочностных расчетов элементов конструкции, факторах, влияющих на прочность, надежность и ресурс АД и ЭУ.

### **1.2. Задачи дисциплины**

Ознакомление с вопросами планирования эксперимента, проведения прочностных расчетов, выработка навыков выбора материала элементов АД, ЭУ, расчета коэффициентов запаса прочности, определение ресурса изделия, назначение мероприятий по повышению ресурса.

## **2. Содержание дисциплины**

### **2.1. Лекционные занятия**

#### ***Лекция №1. – 2ч.***

Введении. Установившиеся и переходные режимы ГТД. Математические модели для описания динамики ГТД. Поэлементная имитационная модель. Многорежимная упрощённая модель. Линейная математическая модель. Регрессивная математическая модель. Нестационарная динамическая модель.

Нелинейная динамика. Понятие об установившихся и неустойчивых режимах работы ГТД. Приёмистость и дросселирование.

Влияние атмосферных условий высоты и скорости полета на приёмистость ГТД

Влияние атмосферных условий. Влияние высоты полета. Влияние скорости полёта. Влияние типового состояния ГТД.

#### ***Лекция №2. – 2ч.***

Пути повышения приемистости ГТД. Коэффициент динамичности. Закон подачи топлива в двигатель. Управление геометрией элементов проточной части. Особенности неустойчивых режимов работы двигателя с силовой

турбиной. Особенности неустановившихся режимов работы газотурбинных установок с силовой турбиной. Раскрутка силовой турбины и меры ее контроля. Особенности переходных режимов двухвальных ТРД и ТРДД.

Особенности переходных процессов в двухвальном ТРД. Скольжение роторов. Особенности переходных процессов в двухвальных ТРДД.

Процесс запуска ГТД.

Зависимость процесса запуска от мощности пускового устройства. Влияние параметров системы управления подачей топлива на процесс запуска. Влияние конструктивных параметров на процесс запуска. Влияние теплового состояния на процесс запуска.

### ***Лекция №3. – 2ч.***

Запуск ГТД в полете. Основные отличия высотного и наземного запуска. Пути обеспечения надежного высотного запуска.

Предельные процессы приёмистости и дросселирования.

Понятия предельных процессов. Способы управления режимами приёмистости.

Влияние процессов приёмистости на циклическую повреждаемость узлов ГТД.

Влияние циклических упруго-пластических деформаций. Влияние нестационарного теплообмена. Динамика форсированных режимов.

Сущность и задачи форсированных режимов. Особенности включения форсажного режима на максимальном режиме. Особенности включения форсированного режима на пониженных частотах вращения ротора.

Динамические процессы в ГТД в нештатных ситуациях. Понятие нештатной ситуации и ее разновидности. Влияние нештатных режимов на динамику ГТД.

### ***Лекция №4. – 2ч.***

Виды колебаний лопаток ГТД. Вынужденные и автоколебания. Виды и формы собственных колебаний консольных лопаток. Изгибно-крутильные колебания.

Расчет частот собственных колебаний консольных лопаток. Расчет частоты первой формы собственных колебаний консольных лопаток по методу Релея.

Случай сосредоточенной и распределенной массы.

Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на частоты собственных колебаний лопаток. Влияние геометрических факторов, условия закрепления лопаток в диске, влияние центробежных сил, влияние температуры материала лопаток. Динамическая частота.

### ***Лекция №5. – 2ч.***

Источники возбуждения лопаток. Определение частот возбуждающих сил.

Использование гармонического анализа при определении частот

возбуждающих сил. Практические рекомендации по определению частот возбуждающих сил. Определение резонансных режимов работы ГТД для лопаток. Частотные диаграммы. Рекомендации по расположению резонансных режимов в рабочем диапазоне ГТД. Демпфирование резонансных колебаний. Внутреннее, внешнее, механическое и аэродинамическое демпфирование.

***Лекция №6. – 2ч.***

Автоколебания лопаток ГТД. Физическая природа автоколебаний и их разновидности изгибно-крутильных и срывной флаттер. Меры борьбы с автоколебаниями.

Динамические напряжения и запасы усталостной прочности лопаток ГТД. Понятие цикла нагружения, виды циклов. Диаграмма напряжений. Пути повышения вибропрочности лопаток ГТД.

***Лекция №7. – 2ч.***

Основные принципы измерения вибраций. Измеренные параметры. Применяемые измерительные преобразователи.

Спектральный анализ вибросигналов. Понятие вибраций. Построение спектра вибраций. Методы обработки спектров с целью получения диагностических оценок. Колебания дисков ГТД. Формы колебаний дисков ГТД. Расчет частоты колебаний дисков. Колебания тонкостенных оболочек. Осесимметричные колебания оболочек. Изгибные колебания оболочек. Расчет круговой частоты изгибных колебаний оболочек.

## **2.2. Практические занятия**

На практических занятиях студенты осваивают методики различных видов расчетов и решают предложенные задачи по темам:

1. Исследование колебания лопаток и дисков в ГТД 4ч
2. Колебания оболочек 4ч
3. Исследование изгибных колебаний модели ротора ГТД 4ч
4. Экспериментальное исследование динамики и прочности элементов ГТД 4ч

### **3. Рекомендуемая литература**

#### **3.1 .Основная литература.**

1. Надежность, диагностика, контроль авиационных двигателей. Под редакцией Шепеля В.Т. - Рыбинск, Изд-во РГАТА, 2001. - 450 с.
2. Кузменко М.Л., Михайлов А.Л. Повышение надежности ГТД средствами технической диагностики. - Рыбинск, 2002. - 125 с.
3. Статическая прочность рабочих лопаток и дисков компрессоров и турбин ГТД./ М.Л. Кузменко, В.С. Чигрин, С.Е. Белова. Рыбинск, Изд-во РГАТА. 56с.
4. Конструкция компрессоров и турбин ГТД./ М.Л. Кузменко, В.С. Чигрин, С.Е. Белова. Рыбинск, Изд-во РГАТА. 2005. 76с.

#### **3.2. Дополнительная литература.**

1. Солохин Э.Л. Испытание авиационных ВРД. - М.: Машиностроение, 1975. -350 с.
2. Акимов В.М. Основы надежности ГТД. М.: Машиностроение, 1981.-207 с.

### **4. Методические рекомендации по изучению дисциплины**

Курс «Динамика и прочность АД и ЭУ» основывается на знаниях, полученных студентами при изучении таких дисциплин, как «Механика жидкости и газа», «Термодинамика», «Основы проектирования и конструирования АД и ЭУ», «Сопротивление материалов», «Теория, расчет и проектирование АД и ЭУ», «Расчет и проектирование газовых турбин», «Расчет и проектирование камер сгорания», «Расчет и проектирование осевых компрессоров», «Основы сборки ГТД».

В связи с небольшим количеством лекционных занятий по курсу учебный материал, излагаемый на лекциях, носит сжатый характер, и поэтому необходимо использовать основную и дополнительную литературу, приведенную выше.

Серьезное внимание следует уделить усвоению материала, рассматриваемого в ходе практических работ. Целесообразно применять для расчета ЭВМ и программы, применяемые на НПО «Сатурн».

## **5. Итоговый контроль**

В конце курса проводится экзамен.

Билет состоит из двух вопросов.

## **6. Список экзаменационных вопросов**

1. Понятие об установившихся и неуставившихся режимах работы ГТД. Приемистость и дросселирование.
2. Влияние различных факторов на приемистость ГТД.
3. Пути повышения приемистости ГТД.
4. Особенности неуставившихся режимов работы двигателя с СТ.
5. Особенности переходных режимов двухвальных ТРД и ТРДД.
6. Процесс запуска ГТД.
7. Запуск ГТД в полёте.
8. Предельные процессы приемистости и дросселирования.
9. Влияние процессов приемистости на циклическую повреждаемость узлов ГТД.
10. Динамика форсированных режимов.
11. Динамические процессы в ГТД в нештатных ситуациях.
12. Особенности неуставившихся режимов работы ГТУ с СТ.
13. Виды и формы колебаний лопаток ГТД.
14. Расчёт частот собственных колебаний консольных лопаток (случай сосредоточенной массы)
15. Расчёт частот собственных колебаний консольных лопаток ГТД (случай распределенной массы)
16. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на частоту собственных колебаний лопаток. Динамическая частота.
17. Источники возбуждения лопаток ГТД. Определение частот возбуждающей силы.
18. Определение резонансных для лопаток режимов работы ГТД.
19. Демпфирование резонансных колебаний.
20. Автоколебание лопаток ГТД.
21. Динамические напряжения и запасы усталостной прочности лопаток ГТД.
22. Пути повышения вибропрочности лопаток ГТД.
23. Колебания дисков ГТД.
24. Колебания тонкостенных оболочек.

## **7. Контрольные вопросы для самопроверки.**

1. Что понимается под колебаниями и вибрацией?
2. Каков физический механизм образования изгибно-крутильных колебаний лопаток?
3. В чем отличие собственной и динамической частот колебаний лопаток?
4. Почему не всякий резонанс опасен для лопаток ГТД?
5. Можно ли применить к реальным лопаткам метод расчета частоты колебаний балки?
6. Какие методы используются для расчета частоты колебаний лопаток сложной формы?
7. Какие виды приемистости существуют?
8. Какие виды дросселирования существуют?
9. В чем состоят отличия наземного и высотного запуска ГТД.
10. Что такое цикл нагружения, какие циклы существуют?
11. В чем состоит главное отличие автоколебаний от резонансных колебаний.
12. Объясните механизмы аэродинамического демпфирования.
13. Что такое скольжение роторов, как оно влияет на переходные процессы?
14. Как можно управлять процессом приемистости?