

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(национальный исследовательский университет)» (МАИ)

---

КАФЕДРА 602 «ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОЧНОСТЬ АВИАЦИОННО-РАКЕТНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель Ученого Совета  
Аэрокосмического института

 О.В. Тушавина

Протокол от 22 февраля 2018г. №1

ПРОГРАММА  
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В АСПИРАНТУРУ

ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ **01.06.01** МАТЕМАТИКА И  
МЕХАНИКА

ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ **01.02.06** ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ МАШИН,  
ПРИБОРОВ И АППАРАТУРЫ

## **1. Теория упругости**

Упругое деформирование твердых тел. Основные гипотезы теории упругости. Теория деформаций. Соотношения Коши. Уравнения совместности деформаций.

Теория напряжений. Дифференциальные уравнения равновесия. Статические граничные условия.

Обобщенный закон Гука. Свойства упругих постоянных. Потенциальная и дополнительная потенциальная энергия. Формулы Грина, Кастильяно и Клапейрона. Обобщенный закон Гука для изотропного, ортотропного и трансверсально-изотропного материалов.

Температурные задачи теории упругости. Уравнения термоупругости.

Вариационные принципы и методы теории упругости. Принцип Лагранжа и принцип Кастильяно. Методы Ритца-Тимошенко, Бубнова-Галеркина и Канторовича-Власова.

## **2. Строительная механика**

Механика стержневых упругих систем. Основные понятия и определения. Необходимый признак геометрической неизменяемости. Степень статической неопределимости. Статически определимые стержневые системы: определение внутренних сил в стержнях ферм, об определении внутренних сил в элементах рамно-балочных системах, дополнительная потенциальная энергия (функционал Гиббса) термоупругой стержневой системы, определение перемещений. Статически неопределимые стержневые системы: метод сил, определение перемещений, сущность метода перемещений.

Балочная теория цилиндрических оболочек. Исходные положения. Основные гипотезы. Интегральные внутренние силы и их связь с обобщенными перемещениями. Статические соотношения для интегральных внутренних сил. Определение нормальных напряжений. Определение потоков касательных сил: открытая оболочка, однозамкнутая оболочка, многозамкнутая оболочка. Центр изгиба.

Цилиндрические стрингерные оболочки открытого профиля. Основные допущения. Уравнения равновесия в обобщенных силах и смещениях. Уравнения равновесия в главных координатах. Главная секториальная площадь и главный бимомент инерции. Определение нормальных напряжений и потоков касательных сил. Определение бимоента. Определение положения центра изгиба.

## **3. Теория колебаний.**

Система с одной степенью свободы. Свободные колебания. Вынужденные гармонические колебания. Резонанс. Реакция на действие произвольной возмущающей силы.

Система с конечным числом степеней свободы. Уравнения малых колебаний в обобщенных координатах. Собственные колебания. Условия ортогональности собственных форм. Уравнения в нормальных координатах. Учет демпфирования.

Система с распределенными параметрами. Составление уравнений колебаний. Приведение к системе с конечным числом степеней свободы. Методы сосредоточенных масс, Ритца, конечных элементов.

Поперечные колебания балки. Условия ортогональности собственных форм. Уравнения в нормальных координатах. Учет демпфирования. Применение методов Бубнова–Галеркина и метода Ритца. Учет сдвига и инерции вращения. Применение метода конечных элементов.

Колебания пластин и оболочек. Применение методов Ритца, Бубнова–Галеркина и конечных элементов.

#### **4. Теория пластин и оболочек**

Основы теории изгиба пластин при действии поперечных нагрузок. Гипотезы Кирхгофа. Дифференциальное уравнение изгиба пластины в прямоугольной системе координат. Постановка краевых задач. Термоупругие уравнения изгиба пластин.

Методы расчета прямоугольных в плане пластин: двойных, одинарных тригонометрических рядов, интеграла Фурье. Осесимметричная задача для круглой пластины.

Безмоментная теория оболочек. Осесимметричная задача для безмоментной оболочки вращения: дифференциальные уравнения равновесия, геометрические и физические соотношения. Уравнения Лапласа и зоны для определения напряжений. Определение напряженного состояния сферических, цилиндрических, тороидальных и конических оболочек при постоянном и гидростатическом давлении.

Общая моментная теория круговых цилиндрических оболочек. Исходные уравнения: дифференциальные уравнения равновесия, геометрические и физические соотношения. Пути решения исходных уравнений: приведение к системе восьми дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка или к трем дифференциальным уравнениям относительно перемещений. Разрешающее дифференциальное уравнение в частных производных восьмого порядка при действии нормальной, продольной и окружной внешних нагрузок.

#### **5. Теория пластичности и ползучести**

Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести. Упрочнение. Остаточные деформации. Идеальная пластичность. Физические механизмы пластического течения. Понятие о дислокациях. Локализация пластических деформаций.

Идеальное упругопластическое тело. Идеальное жесткопластическое тело. Пространство напряжений. Критерий текучести и поверхность текучести. Критерии Треска и Мизеса. Пространство главных напряжений. Геометрическая интерпретация условий текучести. Условие полной пластичности. Влияние среднего напряжения.

Основные теории ползучести (старения, течения, упрочнения). Ползучесть при сложном напряженном состоянии. Циклическая ползучесть. Линейная и нелинейная вязкоупругость.

#### **6. Механика разрушения**

Физические и микромеханические особенности процессов накопления повреждений и разрушения. Феноменологический и микромеханический подходы механики накопления рассеянных повреждений. Законы суммирования повреждений. Применение механики накопления рассеянных повреждений к расчетам на длительную прочность. Применение механики накопления рассеянных повреждений к определению ресурса деформативности. Применение механики накопления рассеянных повреждений к расчету на малоцикловую усталость.

Критерий квазихрупкого разрушения в теории трещин. Коэффициенты интенсивности напряжений. Трещиностойкость конструкционных материалов. Расчет на прочность элементов конструкций с трещиноподобными дефектами. Уравнение Пэриса. Методы расчета долговечности, основанные на анализе развития трещин.

## **7. Численные методы расчетов динамики и прочности**

Решение систем линейных уравнений. Системы линейных алгебраических уравнений в задачах механики. Метод Гаусса. Выбор ведущего элемента и точность решения. Разложение матриц на треугольные множители. Схема Холецкого. Представление об итерационных методах.

Задачи механики и алгебраическая проблема собственных значений. Степенной метод. Использование сдвига для улучшения сходимости. Метод Якоби.

Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Задача Коши. Метод Эйлера. Методы Рунге-Кутты. Представление о многошаговых методах.

Метод конечных разностей (МКР). Основные положения метода. Формулы конечно-разностных аппроксимаций производных. Применение МКР для решения одномерных краевых задач. Обобщение МКР на многомерный случай. Обсуждение достоинств и недостатков метода.

Конечные элементы сплошной среды (плоские элементы). Плоский треугольный элемент. Плоский прямоугольный элемент. Четырехугольный изопараметрический элемент. Плоские изопараметрические элементы высших порядков.

Конечные элементы сплошной среды (оболочечные и трехмерные). Трехмерные конечные элементы. Тонкостенные конечные элементы.

## **8. Прочность конструкций летательных аппаратов**

Общие сведения о прочности конструкций летательных аппаратов, их типах и конструктивно-силовых схемах, о применяемых конструкционных материалах.

Внешние силы, действующие на летательные аппараты в процессе их эксплуатации. Нагружение конструкций летательных аппаратов в процессе эксплуатации. Внутренние силовые факторы в конструкции и методы их определения. Температурные режимы элементов конструкций летательных аппаратов.

Нормирование нагружения и прочности конструкций летательных аппаратов. Расчет нагружения летательных аппаратов на различных этапах эксплуатации. Прочностные расчеты корпусов летательных аппаратов различных типов. Прочностные расчеты крыльев и органов аэродинамической стабилизации самолетов. Прочностной расчет конструкций шасси самолета.

Экспериментальная проверка прочности конструкции летательных аппаратов.

## 9. Динамика упругих систем

Составление уравнений колебаний конструкций ЛА. Расчетные математические модели. Приведение к системе с конечным числом степеней свободы. Методы Ритца, МКЭ, сосредоточенных масс. Приведение системы к нормальным координатам.

Колебания осесимметричных тонкостенных конструкций типа корпуса ЛА.

Продольные колебания корпуса. Приведение к эквивалентному стержню. Применение метода отсеков. Отсеки в виде безмоментной и моментной оболочек вращения. Поперечные колебания корпуса. Влияние сдвига и инерции вращения. Отсеки в виде оболочек вращения при изгибе-сдвиге. Уравнения колебаний корпуса как системы отсеков оболочек. Условия сопряжения отсека со шпангоутом.

Изгибно-крутильные колебания тонкостенных конструкций типа крыла и фюзеляжа.

Расчетные модели. Метод Ритца. Метод отсеков с учетом деформаций и искривлений контура поперечных сечений. Колебания крыла малого удлинения как составной тонкостенной конструкции.

Колебания упругих баков жидкостью. Формулировка задачи. Вариационные принципы. Собственные колебания. Уравнения в обобщенных координатах. Баки в форме оболочек вращения. Вариационные методы расчета колебаний жидкости в баках. Поперечные колебания жидкости в подвижной недеформируемой полости вращения. Учет сжимаемости жидкости.

## Основная литература

1. Авдонин А.С., Фигуровский В.И. Расчет на прочность летательных аппаратов. Учебник для вузов. - М.: Машиностроение. 1985. 440 с.
2. Волчков О.Д. Прочность ракет-носителей. Часть I. – М.: Изд-во МАИ, 2007, 752 с.
3. Волчков О.Д. Прочность ракет-носителей. Часть 2. М.: Изд-во МАИ- ПРИНТ, 2010. 680 с.
4. Демидов С. П. Теория упругости. М.: Высшая школа. 1979, 432 с.
5. Дудченко А.А. Основы теории пластичности. М.: Изд-во МАИ. 1978. 72 с.
6. Мовчан А.А. Механика накопления рассеянных повреждений в элементах конструкций. -М.: МАИ, 1996. 64 с.
7. Образцов И.Ф. и др. Строительная механика летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1986. 536 с.
8. Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. – М.: Высшая школа, 1985. – 392с.
9. Победря Б.Е. Численные методы упругости и пластичности: М.: Изд-во МГУ, 1995. – 366 с.
10. Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука. 1988, 712 с.
11. Рыбаков Л. С. Практикум по строительной механике ЛА. Плоская задача теории упругости. М.: Изд-во МАИ. 1991, 550 с.
12. Рыбаков Л.С. Введение в механику разрушения. - М.: МАИ, 1980. 81 с.
13. Седов Л.И. Механика сплошной среды: В 2-х томах. М.: Наука, 1983, 1984.

14. Тютюнников Н.П. Численные методы строительной механики. – М.: Изд-во МАИ, 2000. – 104 с.
15. Гришанина Т.В., Тютюнников Н.П., Шклярчук Ф.Н. Метод отсеков в расчетах колебаний конструкций летательных аппаратов. Изд-во МАИ- ПРИНТ, 2010. 180 с., Тираж 500 экз.
16. Гришанина Т.В., Шклярчук Ф.Н. Колебания упругих систем. М.: Изд-во МАИ, 2013. – 100 с.: 6,15 п.л., тираж 200 экз.
17. Гришанина Т.В., Шклярчук Ф.Н. Динамика упругих управляемых конструкций. – М.: Изд-во МАИ, 2007. – 328 с.
18. Шклярчук Ф.Н. Динамика конструкций летательных аппаратов. - М.: Изд-во МАИ, 1983 г. 80 с.

#### Дополнительная литература

1. Докучаев Л.В. Нелинейная динамика летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1987 г. 232 с.
2. Керштейн И.М., Ключников В.Д., Ломакин Е.В., Шестериков С.А. Основы экспериментальной механики разрушения. М.: Изд-во МГУ, 1989.
3. Ключников В.Д. Математическая теория пластичности. М.: Изд-во МГУ, 1979.
4. Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970.
5. Новожилов В. И. Теория упругости. М.: Судпромгиз. 1958, 370 с.
6. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука. 1975, 576 с.
7. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966.
8. Работнов Ю.Н. Введение в механику разрушения. М.: «Наука» 1987.
9. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. – М.: Наука, 1989. – 432 с.

Профессор кафедры 602

Гришанина Т.В.

Заведующий кафедры 602

Туркин И.К.