

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 **01.02.04** МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО  
ТЕЛА

## **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.

#### **5. 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.

## **6. Численные методы решения задач механики деформируемого твердого тела**

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.

## **7. Динамика упругих систем**

Составление уравнений колебаний конструкций ЛА. Метод Ритца. Методы конечных элементов, сосредоточенных масс. Метод суперэлементов. Изгибно-крутильные колебания тонкостенных конструкций типа крыла. Расчетные модели. Продольные колебания корпуса. Поперечные колебания корпуса. Колебания упругих баков жидкостью.

Нелинейные уравнения колебания упругих систем. Типы нелинейностей. Конечные деформации. Составление нелинейных уравнений колебаний. Принцип возможных перемещений. Уравнения нелинейных колебаний стержней.

Поперечные колебания стержней при конечных прогибах. Применение метода Ритца и метода конечных элементов (МКЭ) к расчету нелинейных колебаний стержня.

Нелинейные колебания пластин и пологих оболочек. Применение теории пологих оболочек. Вариационная формулировка задачи. Уравнения в смешанной форме. Применение метода Бубнова-Галеркина. Применение метода Ритца и МКЭ.

## Основная литература

1. Демидов С. П. Теория упругости. М.: Высшая школа. 1979, 432 с.
2. Дудченко А.А. Основы теории пластичности. М.: Изд-во МАИ. 1978. 72 с.
3. Мовчан А.А. Механика накопления рассеянных повреждений в элементах конструкций. - М.: МАИ, 1996. 64 с.
4. Морозов В.С. Численные методы решения прикладных задач строительной механики. - М.: МАИ, 1993. - 56с.
5. Образцов И.Ф. и др. Строительная механика летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1986. 536 с.
6. Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. - М.: Высшая школа, 1985. - 392с.
7. Победря Б.Е. Численные методы упругости и пластичности: М.: Изд-во МГУ, 1995. - 366 с.
8. Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука. 1988, 712 с.
9. Рыбаков Л. С. Практикум по строительной механике ЛА. Плоская задача теории упругости. М.: Изд-во МАИ. 1991, 550 с.
10. Рыбаков Л.С. Введение в механику разрушения. - М.: МАИ, 1980. 81 с.
11. Седов Л.И. Механика сплошной среды: В 2-х томах. М.: Наука, 1983, 1984.
12. Тютюнников Н.П. Численные методы строительной механики. - М.: Изд-во МАИ, 2000. - 104 с.
13. Шклярчук Ф.Н. Динамика конструкций летательных аппаратов. - М.: МАИ, 1983. 80 с.
14. 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.
15. Гришанина Т.В., Шклярчук Ф.Н. Колебания упругих систем. М.: Изд-во МАИ, 2013. - 100 с.: 6,15 п.л., тираж 200 экз.
16. Шклярчук Ф.Н., Гришанина Т.В. Нелинейные и параметрические колебания упругих систем. - М.: Изд-во МАИ, 1993 г. 68 с.
17. Гришанина Т.В., Шклярчук Ф.Н. Динамика упругих управляемых конструкций. - М.: Изд-во МАИ, 2007. - 328 с.

## Дополнительная литература

1. Докучаев Л.В. Нелинейная динамика летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1987 г. 232 с.
2. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. М.: Изд-во МГУ, 1990.
3. Керштейн И.М., Ключников В.Д., Ломакин Е.В., Шестериков С.А. Основы экспериментальной механики разрушения. М.: Изд.-во МГУ, 1989.
4. Ключников В.Д. Математическая теория пластичности. М.: Изд-во МГУ, 1979.
5. Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970.
6. Новацкий В. Теория упругости. М.: МИР. 1975, 872 с.
7. Новожилов В. И. Теория упругости. М.: Судпромгиз. 1958, 370 с.
8. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука. 1975, 576 с.
9. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966.
10. Работнов Ю.Н. Введение в механику разрушения. М.: «Наука» 1987.
11. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. – М.: Наука, 1989. – 432 с.

Профессор кафедры 602

Грипанина Т.В.

Заведующий кафедры 602

Туркин И.К.