

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора

по науке – Председатель научно-методического совета по аспирантуре

ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова»,

д.т.н., с.н.с.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_А.И. Ланшин

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В АСПИРАНТУРУ**

**по специальности 2.5.14 «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»**

**Рассмотрена и одобрена на заседании**

**научно-методического совета по аспирантуре**

**Протокол № 19 от 14 сентября 2021 г.**

Москва, 2022

**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 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 бимомента. 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. Трещинностойкость конструкционных материалов. Расчет на прочность элементов конструкций с трещиноподобными дефектами. 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. 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-Кутта. 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 материалов.

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 депланаций 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. Вариационных методы расчета колебаний жидкости в баках. Поперечные колебания жидкости в подвижной недеформируемой полости вращения. Учет сжимаемости жидкости.

**10. Механика композитов**.

Структура полимерных волокнистых композитов. Свойства полимерных композитных материалов. Физическая модель однонаправленного материала.

Физическая модель многослойного композита. Многослойный композит с общей анизотропией свойств, ортотропный композит. Нитяная модель материала. Особенности и виды разрушения волокнистых композитов. Критерии прочности композиционных материалов.

**Основная литература**

1. Анизотропные панели – плоская задача / А.А.Дудченко, А.Н. Елпатьевский, С.А. Лурье, В.В. Фирсанов.– М.: Изд-во МАИ, 1991. – 96 с.

2. Авдонин А.С., Фигуровский В.И. Расчет на прочность летательных аппаратов. Учебник для вузов. - М.: Машиностроение. 1985. 440 с.

3. Волчков О.Д. Прочность ракет-носителей. Часть I. – М.: Изд-во МАИ, 2007, 752 с.

4. Волчков О.Д. Прочность ракет-носителей. Часть 2. М.: Изд-во МАИ- ПРИНТ, 2010. 680 с.

5. Демидов С. П. Теория упругости. М.: Высшая школа. 1979, 432 с.

6. Дудченко А.А. Основы теории пластичности. М.: Изд-во МАИ. 1978. 72 с.

7. Дудченко А.А. Основы теории ползучести. М.: Изд-во МАИ, 1985. 36 с.

8. Мовчан А.А. Механика накопления рассеянных повреждений в элементах конструкций. -М.: МАИ, 1996. 64 с.

9. Морозов В.С. Численные методы решения прикладных задач строительной механики. – М.: МАИ, 1993. – 56с.

10. Образцов И.Ф. и др. Строительная механика летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1986. 536 с.

11. Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. – М.: Высшая школа, 1985. – 392с.

12. Победря Б.Е. Численные методы упругости и пластичности: М.: Изд-во МГУ, 1995. – 366 с.

13. Рыбаков Л. С. Практикум по строительной механике ЛА. Плоская задача теории упругости. М.: Изд-во МАИ. 1991, 550 с.

14. Рыбаков Л.С. Введение в механику разрушения. - М.: МАИ, 1980. 81 с.

15. Тютюнников Н.П. Численные методы строительной механики. – М.: Изд-во МАИ, 2000. - 104 с.

16. Гришанина Т.В., Шклярчук Ф.Н. Колебания упругих систем. М.: Изд-во МАИ, 2013. – 100 с.

17. Шклярчук Ф.Н. Динамика конструкций летательных аппаратов. - М.: Изд-во МАИ, 1983 г. 80 с.

**Дополнительная литература**

1. Дудченко А.А. Расчёт напряженно-деформированного состояния элементов авиационных, ракетных и машиностроительных конструкций из композиционных материалов. М.: НПУ «Федеративная информационная система», 2013. 232 с.

2. Новожилов В. И. Теория упругости. М.: Судпромгиз. 1958, 370 с.

3. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука. 1975, 576 с.

4. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966. 5. Работнов Ю.Н. Введение в механику разрушения. М.: «Наука» 1987.

Начальник сектора 8000-03 «Аспирантура» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Е.В. Джамай