

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего профессионального образования**  
**«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ**  
**УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. Королева (национальный**  
**исследовательский университет)»**  
**(СГАУ)**

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по науке и инновациям  
Прокофьев А.Б.



**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА**

**по научной специальности 05.07.03**  
**«Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»**

Программа вступительного экзамена в аспирантуру по научной специальности 05.07.03 «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» составлена на основе программ учебных дисциплин по основным образовательным программам высшего профессионального образования 150301.65 «Динамика и прочность машин», 160801.65 «Ракетостроение», 160802.65 «Космические летательные аппараты и разгонные блоки», 160201.65 «Самолето- и вертолетостроение».

Составитель программы вступительного экзамена: доктор физико-математических наук, профессор Хромов Александр Игоревич.

Программа вступительного экзамена утверждена на заседании кафедры космического машиностроения, протокол №1 от 31 августа 2012г.

Зам. Заведующий кафедрой  А.Н. Кирилин

## 1. СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ СИСТЕМЫ

1.1 Расчетная схема фермы. Способы образования ферм. Необходимые условия геометрической неизменяемости стержневых систем с шарнирными узлами. Методы исследования геометрической неизменяемости стержневых систем с шарнирными узлами (метод построения, метод разрушения, метод нулевых нагрузок, метод замены связей). Определение усилий в стержнях ферм (метод вырезания узлов, метод замены связей).

1.2 Расчетная схема рамы и комбинированной системы. Определение лишних связей.

## 2. МАТРИЧНЫЙ МЕТОД ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

2.1 Понятие о матрице жесткости упругого тела. Матрица преобразования координат. Матрица жесткости ферменного элемента в местной и общей системах координат. Матрица жесткости фермы. Определение узловых перемещений и усилий в стержнях фермы.

2.2 Представление матрицы жесткости бруса в местной системе координат в блочно-диагональной форме. Определение блоков матрицы, соответствующих растяжению-сжатию, кручению и изгибу бруса. Преобразование матрицы жесткости бруса к общей системе координат. Определение узловых перемещений. Учёт внеузловой нагрузки.

## 3. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

3.1 Гипотезы линейной теории упругости.

3.2 Теория напряжений. Исследование напряженного состояния в точке упругого тела. Тензор напряжений. Главные напряжения. Инварианты тензора напряжений. Дифференциальные уравнения равновесия. Статические граничные условия.

3.3 Теория деформаций. Тензор деформаций. Связь между компонентами деформации и перемещениями (формулы Коши). Условия совместности деформаций.

3.4 Обобщенный закон Гука. Закон Гука в форме Ламе. Матричная формулировка закона Гука.

3.5 Схемы решения задач теории упругости. Решение в перемещениях. Решение в напряжениях.

## 4. ПЛОСКАЯ ЗАДАЧА ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

4.1 Плоская деформация и обобщенное плоское напряженное состояние. Решение плоской задачи теории упругости в напряжениях. Функция напряжений.

4.2 Основные соотношения плоской задачи теории упругости в полярных координатах. Решение плоской задачи теории упругости в тригонометрических рядах. Задача Ламе. Задача о концентрации напряжений в пластине с отверстием при её растяжении.

## 5. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕОРЕМЫ. ВАРИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ

5.1 Работа статически приложенной внешней нагрузки и её вариация. Потенциал внешних сил. Дополнительная работа внешних сил и её вариация. Дополнительный потенциал внешних сил. Потенциальная энергия деформации упругого тела,

дополнительная энергия деформации, их вариации.

5.2 Вариационное уравнение Лагранжа. Принцип минимума полной энергии упругой системы. Теорема Лагранжа. Вариационное уравнение Кастильяно. Принцип минимума полной дополнительной энергии упругой системы. Начало наименьшей работы. Теорема Кастильяно.

5.3 Метод Ритца. Метод Бубнова-Галеркина. Примеры применения обоих методов к расчету балок.

## 6. МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

6.1 Основные допущения метода конечных элементов. Перемещения, деформации и напряжения в конечном элементе. Матрица жесткости конечного элемента, приведение распределенной внешней нагрузки к эквивалентным узловым силам.

6.2 Матрица жесткости упругого тела. Определение узловых перемещений и напряжений.

6.3 Построение матрицы жесткости плоского треугольного конечного элемента. Прямоугольный плоский конечный элемент с билинейным полем перемещений. Прямоугольный плоский конечный элемент с линейным полем напряжений.

6.4 Совместность конечных элементов. Внутренние узлы и подконструкции. Четырёхузловой изопараметрический конечный элемент.

## 7. БАЛОЧНАЯ ТЕОРИЯ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ЕЁ ПРИЛОЖЕНИЯ

7.1 Основные гипотезы. Определение нормальных напряжений при изгибе тонкостенной конструкции. Касательные напряжения в тонкостенной конструкции с открытым контуром сечения. Центр изгиба сечения с открытым контуром. Касательные напряжения в тонкостенной конструкции с однозамкнутым контуром сечения. Упругие перемещения в тонкостенных конструкциях с однозамкнутым контуром.

7.2 Касательные напряжения в тонкостенных конструкциях с многозамкнутыми сечениями (простой изгиб, свободное кручение). Центр изгиба сечения с многозамкнутым контуром.

7.3 Температурные напряжения в тонкостенных конструкциях.

7.4 Задача о "включении" четырёхпоясной панели в работу.

7.5 Стеснённое кручение тонкостенной конструкции с открытым контуром сечения.

7.6 Расчет нормальных и касательных напряжений при изгибе и кручении крыла самолета.

## 8. ИЗГИБ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛАСТИН

8.1 Закон Гука для ортотропного упругого тела. Основные гипотезы теории изгиба пластин. Перемещения, деформации и напряжения в пластине при её изгибе. Внутренние усилия и моменты в пластине. Дифференциальное уравнение изгиба пластины. Граничные условия. Решение задачи об изгибе свободно опёртой пластины в двойных тригонометрических рядах. Потенциальная энергия изгиба пластины. Метод Ритца и метод Бубнова-Галеркина в задачах изгиба пластин.

8.2 Соотношения теории изгиба пластин в полярных координатах. Расчет круглых

пластин на изгиб в тригонометрических рядах. Осесимметричный изгиб круглых пластин.

8.3 Дифференциальное уравнение продольно-поперечного изгиба прямоугольной пластины. Устойчивость свободно опертой прямоугольной пластины при сжатии в одном направлении. Потеря устойчивости пластиной при сдвиге. Работа подкреплённой пластины после потери устойчивости от сжатия и от сдвига.

8.4 Применение метода конечных элементов к расчету пластин. Прямоугольный конечный элемент пластины, основанный на гипотезе прямых нормалей.

Четырёхугольный конечный элемент пластины с независимой аппроксимацией линейных и угловых перемещений.

8.5 Определение жесткостных характеристик конструктивно ортотропных пластин.

8.6 Гипотезы теории трёхслойных пластин с лёгким заполнителем. Дифференциальное уравнение продольно-поперечного изгиба трёхслойной пластины с лёгким заполнителем. Несимметричная форма потери устойчивости трёхслойных пластин. Симметричная форма потери устойчивости трёхслойной пластины с лёгким заполнителем.

## 9. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ

9.1 Основные соотношения безмоментной теории оболочек вращения при осесимметричном нагружении. Расчет оболочки, замкнутой в вершине, на равномерное внутреннее давление. Перемещения оболочек вращения.

9.2 Моментная теория цилиндрических оболочек при осесимметричном нагружении.

9.3 Устойчивость цилиндрической оболочки вращения при осевом сжатии. Устойчивость цилиндрической оболочки, нагруженной наружным давлением.

## 10. КОЛЕБАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

10.1 Продольные колебания корпуса ЛА.

10.2 Крутильные колебания крыла самолёта.

10.3 Изгибные колебания крыла самолёта.

10.4 Изгибно-крутильные колебания крыла самолёта.

10.5 Расчёт динамического поведения конструкции ЛА с помощью метода конечных элементов. Матричное уравнение движения конструкции. Матрицы масс конечных элементов бруса. Собственные колебания. Ортогональность собственных форм колебаний.

## 11. РАСЧЁТ ПРОЧНОСТИ КОРПУСА ЛА

11.1 Определение внутренних силовых факторов в сечениях корпуса ЛА.

11.2 Расчёт корпуса ЛА в районе большого выреза.

11.3 Расчёт ферменных отсеков корпуса ЛА.

11.4 Расчёт силовых шпангоутов.

11.5 Расчет баковых отсеков корпуса ЛА на прочность и устойчивость.

## 12. НАГРЕВ КОНСТРУКЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

12.1 Определение температур в элементах конструкции.

12.2 Верхние пределы температур для выступающих частей и кромок аппарата при

больших скоростях полета.

12.3 Распределение температуры в цилиндрическом баке, залитом жидкостью.

12.4 Распределение температуры в стрингере подкрепленного корпуса.

12.5 Определение потребной толщины теплозащитного слоя космического аппарата.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Партон, Владимир Залманович. Механика упругопластического разрушения [Текст] : основы механики разрушения : [учеб. пособие для ун-тов и втузов] / В. З. Партон, Е. М. Морозов ; предисл. Ю. Н. Работнова. - Изд. 3-е, испр. - М. : URSS : Изд-во ЛКИ, 2008. - 349 с. - 5 экз.

2. Партон, Владимир Залманович. Механика упругопластического разрушения [Текст] : спец. задачи механики разрушения : [учеб. пособие для ун-тов и втузов] / В. З. Партон, Е. М. Морозов ; предисл. Ю. Н. Работнова. - Изд. 3-е, испр. - М. : URSS : Изд-во ЛКИ, 2008. - 190 с. - 3 экз.

3. Димитриенко Ю.И. Нелинейная механика сплошной среды. – М.: Физматлит, 2009. – 624 с. - 10 экз.