

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»

Кафедра аэродинамики, конструкции и прочности
летательных аппаратов
Ефимов В.В.

ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ **АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

ПОСОБИЕ
по изучению дисциплины

для студентов II курса
направления 162300
заочного обучения

Москва – 2013

Рецензент: д.т.н., проф. Ципенко В.Г.

Ефимов В.В.

Динамика и прочность авиационных конструкций: пособие по изучению дисциплины. – М.: МГТУ ГА, 2013. – 16 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Динамика и прочность авиационных конструкций» по Рабочему учебному плану направления 162300 для студентов II курса заочного обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 04.12.2012 г. и методического совета 25.12.2012 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. УЧЕБНЫЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
2.1. Цель преподавания дисциплины.....	4
2.2. Задачи изучения дисциплины.....	4
2.3. Перечень базовых дисциплин.....	5
2.4. Перечень дисциплин, в которых используется данная учебная дисциплина.....	5
3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	6
3.1. Основная учебная литература.....	6
3.2. Дополнительная литература.....	6
3.3. Учебно-методическая литература для выполнения практических заня- тий и лабораторных работ.....	6
3.4. Программное обеспечение и Интернет-ресурсы.....	6
4. СТРУКТУРА КУРСА.....	6
5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУ- ЧЕНИЮ ТЕМ ПРОГРАММЫ.....	7
6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ ТЕМАТИКА И ОБЪЕМ В ЧАСАХ.....	16

1. УЧЕБНЫЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

Общий объем учебных часов на дисциплину	144	ч
Курс	2	
Объем аудиторной нагрузки	12	ч
– лекции	8	ч
– практические занятия	4	ч
– лабораторные работы	–	ч
Объем самостоятельной работы студента	132	ч
– контрольная работа	14	ч
– работа с учебной литературой и подготовка к экзамену	118	ч
Курсовой проект	–	курс
Зачет	–	курс
Экзамен	2	курс

2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Цель преподавания дисциплины

Целью преподавания дисциплины является формирование у обучаемых необходимых знаний и умений, а также привитие практических навыков определения напряженно-деформированного состояния типовых конструкций летательных аппаратов, анализа устойчивости и динамики этих конструкций с целью оценки их работоспособности в части восприятия действующих в эксплуатации нагрузок без разрушения и недопустимых деформаций, т.е. обеспечения прочности и жесткости.

2.2. Задачи изучения дисциплины

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

знать:

- основные положения теории упругости;
- виды типовых расчетных моделей элементов конструкции летательных аппаратов;
- принципы и подходы к выбору расчетных моделей элементов конструкции летательных аппаратов;
- виды силовых факторов, действующих на конструкции летательных аппаратов, а также вызываемые ими напряжения и деформации;

– взаимосвязи между геометрическими параметрами конструкции, свойствами материала и допустимым уровнем ее нагружения;

уметь:

– выбирать адекватные расчетные схемы и модели реальных конструкций для их расчета на прочность и жесткость;

– анализировать напряженно-деформированное состояние конструкций летательных аппаратов;

– анализировать статическую устойчивость элементов конструкций летательных аппаратов;

– анализировать колебания конструкций летательных аппаратов, их динамическую устойчивость;

владеть:

– методами выбора типовых расчетных моделей элементов конструкции летательных аппаратов;

– прикладными методами решения задач теории упругости;

– методами расчета стержневых систем, тонких пластин, оболочек;

– методами определения статической и динамической устойчивости элементов конструкции летательных аппаратов.

2.3. Перечень базовых дисциплин

Курс базируется на таких дисциплинах, как Высшая математика, Информатика и информационные технологии, Физика, Инженерная и компьютерная графика, Теоретическая механика.

2.4. Перечень дисциплин, в которых используется данная учебная дисциплина

Знания по данной дисциплине будут необходимы при изучении дисциплин:

– Техническая диагностика;

– Детали машин;

– Конструкция и прочность самолета;

– Конструкция и прочность вертолета;

– Конструкция и прочность двигателей;

– Техническая эксплуатация ЛА и Д;

– Производство и ремонт ЛА и Д;

– Основы конструкции и прочности ЛА и Д.

3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

3.1. Основная учебная литература

1. Строительная механика летательных аппаратов: Учебник для авиационных специальностей вузов / И.Ф. Образцов, Л.А. Булычев, В.В. Васильев и др.; Под ред. И.Ф. Образцова. – М.: Машиностроение, 1986. – 536 с., ил.

3.2. Дополнительная литература

2. Страхов Г.И., Чунарева Н.Н. Строительная механика самолета. – М.: МИИГА, 1983. – 96 с.

3.3. Учебно-методическая литература для выполнения практических занятий и лабораторных работ

3. Ефимов В.В. Динамика и прочность авиационных конструкций: Пособие по выполнению практических занятий и лабораторных работ. – М.: МГТУ ГА, 2013. – 26 с.

3.4. Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

4. <http://www.mstuca.ru> – электронные ресурсы Университета – электронные версии пособий, методических разработок по всем видам учебной работы;
5. <http://www.mintrans.ru> – официальный сайт Минтранспорта РФ;
6. <http://минобрнауки.рф> – официальный сайт Министерства образования и науки РФ.

4. СТРУКТУРА КУРСА

РАЗДЕЛ 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ:

Тема 1.1. Теории напряжений и деформаций.

Тема 1.2. Вариационные методы решения задач теории упругости.

Тема 1.3. Прикладные методы решения задач теории упругости.

РАЗДЕЛ 2. РАСЧЕТ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ:

Тема 2.1. Виды стержневых систем и методы их расчета.

Тема 2.2. Матричные методы расчета стержневых систем.

РАЗДЕЛ 3. РАСЧЕТ ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК:

Тема 3.1. Уравнения теории тонких пластин. Плоское напряженное состояние пластин.

Тема 3.2. Изгиб прямоугольных пластин.

Тема 3.3. Расчет оболочек.

Тема 3.4. Расчет подкрепленных тонкостенных конструкций по балочной теории.

Тема 3.5. Расчет тонкостенных пространственных конструкций методом конечных элементов.

РАЗДЕЛ 4. СТАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ:

Тема 4.1. Критерии устойчивости.

Тема 4.2. Прикладные методы расчета на устойчивость.

Тема 4.3. Устойчивость прямоугольных пластин.

РАЗДЕЛ 5. КОЛЕБАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ:

Тема 5.1. Уравнения динамики упругих систем.

Тема 5.2. Колебания систем с одной степенью свободы.

Тема 5.3. Колебания систем с несколькими степенями свободы.

Тема 5.4. Колебания стержней.

Тема 5.5. Колебания пластин и оболочек.

5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ПРОГРАММЫ

РАЗДЕЛ 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

Тема 1.1. Теории напряжений и деформаций

Основные допущения теории упругости. Теория напряжений. Условия равновесия элементарного объема упругого тела. Статические граничные условия. Теория деформаций. Геометрические соотношения Коши. Условия совместности деформаций Сен-Венана. Физические соотношения между напряжениями и деформациями. Методы решения задач теории упругости в перемещениях и в напряжениях. Потенциальная энергия деформации упругой системы.

Методические указания к изучению темы 1.1

Л и т е р а т у р а : [1, с. 5-16].

Центральные вопросы темы: основные допущения теории упругости; условия равновесия элементарного объема упругого тела; статические граничные условия на поверхности упругого тела; геометрические соотношения Коши для упругого тела; связь компонентов вектора деформаций; уравнения обобщенного закона Гука; потенциальная энергия деформаций.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы :

1. Перечислите основные допущения теории упругости.
2. Запишите условия равновесия элементарного объема упругого тела.
3. Запишите статические граничные условия на поверхности упругого тела.
4. Запишите геометрические соотношения Коши для упругого тела.
5. Как описывается связь компонентов вектора деформаций?
6. Запишите уравнения обобщенного закона Гука.
7. Что такое потенциальная энергия деформаций?

Тема 1.2. Вариационные методы решения задач теории упругости

Вариационные методы решения задач теории упругости в перемещениях. Полная энергия упругой системы. Вариационный принцип Лагранжа для упругой системы. Вариационные методы решения задач теории упругости в напряжениях. Дополнительная потенциальная энергия. Вариационный принцип Кастильяно. Принцип наименьшей работы. Теорема Кастильяно.

Методические указания к изучению темы 1.2

Л и т е р а т у р а : [1, с. 17-29].

Ц е н т р а л ь н ы е в о п р о с ы т е м ы : полная энергия упругой системы; вариационный принцип Лагранжа; дополнительная потенциальная энергия деформаций; вариационный принцип Кастильяно; принцип наименьшей работы; теорема Кастильяно.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы :

1. Что такое полная энергия упругой системы?
2. Сформулируйте вариационный принцип Лагранжа.
3. Что такое дополнительная потенциальная энергия деформаций?
4. Сформулируйте вариационный принцип Кастильяно.
5. Сформулируйте принцип наименьшей работы.
6. Сформулируйте теорему Кастильяно.

Тема 1.3. Прикладные методы решения задач теории упругости

Метод Ритца–Тимошенко. Метод Бубнова–Галеркина. Метод конечных разностей.

Методические указания к изучению темы 1.3

Л и т е р а т у р а : [1, с. 34-39, 42-46].

Ц е н т р а л ь н ы е в о п р о с ы т е м ы : метод Ритца–Тимошенко; метод Бубнова–Галеркина; метод конечных разностей.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы :

1. Изложите суть метода Ритца–Тимошенко.
2. Изложите суть метода Бубнова–Галеркина.
3. Изложите суть метода конечных разностей.

РАЗДЕЛ 2. РАСЧЕТ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

Тема 2.1. Виды стержневых систем и методы их расчета

Ферменные, рамные и комбинированные системы: определения, расчетные схемы. Кинематический анализ стержневых систем. Обзор методов расчета статически определимых и статически неопределимых стержневых систем.

Методические указания к изучению темы 2.1

Л и т е р а т у р а : [1, с. 53-66].

Центральные вопросы темы: стержни и стержневые системы; кинематический анализ стержневых систем; методы расчета статически определимых и статически неопределимых стержневых систем.

Контрольные вопросы:

1. Что такое стержень? Какие виды стержней и стержневых систем вы знаете?
2. Какова задача кинематического анализа стержневых систем?
3. Что является необходимым условием геометрической неизменяемости стержневой системы?
4. Изложите основные положения метода вырезания узлов.
5. В чем суть метода моментных точек?
6. Как определить перемещения узлов статически определимой фермы с помощью теоремы Кастильяно?
7. Изложите порядок расчета статически неопределимых ферм по методу сил.
8. Как определить перемещения узлов статически неопределимой фермы?

Тема 2.2. Матричные методы расчета стержневых систем

Место матричного метода среди других методов расчета стержневых систем. Порядок расчета стержневых систем матричным методом. Структурная матрица стержневой системы. Матрица жесткости стержневой системы.

Методические указания к изучению темы 2.2

Литература: [1, с. 78-98].

Центральные вопросы темы: место матричного метода среди других методов расчета стержневых систем; порядок расчета стержневых систем матричным методом; структурная матрица стержневой системы; «выметающая» матрица; матрица жесткости стержневой системы.

Контрольные вопросы:

1. В каком случае выгоден матричный метод расчета стержневых систем?
2. Можно ли применять матричный метод для расчета статически неопределимых стержневых систем?
3. Как составляется структурная матрица?
4. Как составляется «выметающая» матрица?
5. Как раскрывается статическая неопределимость стержневой системы в матричном методе?
6. Как соотносятся матрица жесткости и матрица гибкости стержневой системы?

РАЗДЕЛ 3. РАСЧЕТ ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК

Тема 3.1. Уравнения теории тонких пластин. Плоское напряженное состояние пластин

Расчетная схема пластины. Гипотезы Кирхгофа. Вывод уравнений теории тонких пластин. Исходные соотношения для плоского напряженного состояния пластин. Однородное плоское напряженное состояние пластин. Концентрация напряжений в пластине с отверстием.

Методические указания к изучению темы 3.1

Л и т е р а т у р а : [1, с. 99-113].

Центральные вопросы темы: гипотезы Кирхгофа; уравнения теории тонких пластин; плоское напряженное состояние пластин; концентрация напряжений в пластине с отверстием.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы :

1. Что такое пластина?
2. Что такое срединная поверхность пластины?
3. Что называется прогибом пластины?
4. Изложите гипотезы Кирхгофа.
5. Запишите уравнения равновесия элемента срединной поверхности пластины.
6. Приведите соотношения, описывающие плоское напряженное состояние пластины.
7. Что такое концентрация напряжений?
8. Как решается задача определения теоретического коэффициента концентрации напряжений в пластине с круглым отверстием.

Тема 3.2. Изгиб прямоугольных пластин

Уравнения теории изгиба пластин. Граничные условия. Методы расчета прямоугольных пластин.

Методические указания к изучению темы 3.2

Л и т е р а т у р а : [1, с. 113-133].

Центральные вопросы темы: общие соотношения теории изгиба пластин, допущения; уравнение Софи Жермен–Лагранжа; граничные условия; методы расчета пластин на изгиб.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы :

1. Какие допущения принимаются при выводе уравнений теории изгиба пластин?
2. Запишите граничные условия для жестко защемленного, шарнирно опертого и свободного краев пластины.
3. Запишите выражение для полной энергии изгибаемой пластины.
4. Какие методы расчета пластин на изгиб вы знаете?

Тема 3.3. Расчет оболочек

Основные определения. Безмоментная теория оболочек вращения. Геометрия оболочки вращения. Основные соотношения для безмоментной оболочки вращения. Безмоментное напряженное состояние.

Методические указания к изучению темы 3.3

Л и т е р а т у р а : [1, с. 137-157].

Центральные вопросы темы: геометрические параметры оболочек; уравнения безмоментной теории оболочек; осесимметричная деформация; безмоментное напряженное состояние.

Контрольные вопросы:

1. Что такое срединная поверхность и нормальный элемент оболочки?
2. Что такое главные направления срединной поверхности?
3. Что такое линии главных кривизн?
4. Что такое меридианы и параллели в безмоментной теории оболочек вращения?
5. Что такое первый и второй главные радиусы кривизны поверхности вращения?
6. Запишите уравнения равновесия бесконечно малого элемента оболочки вращения.
7. Запишите основную систему уравнений безмоментной теории оболочек для случая осесимметричной деформации.

Тема 3.4. Расчет подкрепленных тонкостенных конструкций по балочной теории

Основные определения и гипотезы. Редуцирование сечения по материалу. Определение нормальных напряжений в подкрепленных тонкостенных конструкциях. Определение касательных напряжений в подкрепленных тонкостенных конструкциях. Вывод формулы для потока касательных сил. Определение потока касательных сил в оболочках с открытым контуром поперечного сечения. Центр изгиба. Определение потока касательных сил при изгибе и кручении оболочки с однозамкнутым контуром поперечного сечения. Определение потока касательных сил при изгибе и кручении оболочки с многозамкнутым контуром поперечного сечения.

Методические указания к изучению темы 3.4

Литература: [1, с. 189-215].

Центральные вопросы темы: основные определения и гипотезы балочной теории оболочек; редуцирование сечения по материалу; определение нормальных и касательных напряжений в подкрепленных тонкостенных конструкциях.

Контрольные вопросы:

1. Что называется контуром поперечного сечения тонкостенной балки (оболочки)?
2. Перечислите основные допущения балочной теории оболочек.
3. Как производится редуцирование сечения балки по материалу?
4. Запишите общую формулу для определения нормальных напряжений в сечении тонкостенной балки в случае сложного нагружения.

5. Запишите общую формулу для определения касательных напряжений в сечении тонкостенной балки в случае сложного нагружения.

6. Что такое поток касательных сил?

7. Как определяется поток касательных сил в оболочках с открытым контуром?

8. Как определяется поток касательных сил в оболочках с однозамкнутым контуром?

9. Как определяется поток касательных сил в оболочках с многозамкнутым контуром?

Тема 3.5. Расчет тонкостенных пространственных конструкций методом конечных элементов

Характеристика метода конечных элементов. Конечно-элементная модель конструкции. Составление уравнений метода конечных элементов в перемещениях. Конечные элементы. Оценка точности метода конечных элементов.

Методические указания к изучению темы 3.5

Л и т е р а т у р а : [1, с. 280-310].

Центральные вопросы темы: основная идея метода конечных элементов; процедура дискретизации конструкции в методе конечных элементов; составление уравнений метода конечных элементов в перемещениях; виды конечных элементов; оценка точности метода конечных элементов.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы :

1. Какова основная идея метода конечных элементов?

2. В чем состоит процедура дискретизации конструкции в методе конечных элементов?

3. Что принимается в качестве неизвестных при составлении уравнений метода конечных элементов в перемещениях?

4. Какой принцип используется для составления уравнений статики в перемещениях при использовании метода конечных элементов?

5. Какие виды конечных элементов вы знаете?

6. Какие источники погрешностей метода конечных элементов вы знаете?

РАЗДЕЛ 4. СТАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Тема 4.1. Критерии устойчивости

Основные понятия. Статический критерий устойчивости. Энергетический критерий устойчивости.

Методические указания к изучению темы 4.1

Л и т е р а т у р а : [1, с. 327-332].

Центральные вопросы темы: понятия статической устойчивости, потери устойчивости, критической нагрузки; статический критерий устойчивости; энергетический критерий устойчивости.

Контрольные вопросы:

1. Что такое статическая устойчивость упругой системы?
2. Чем характеризуется потеря устойчивости упругой системы?
3. Что такое критическая нагрузка?
4. Сформулируйте статический критерий устойчивости упругой системы Л. Эйлера.
5. Сформулируйте энергетический критерий устойчивости упругой системы.

Тема 4.2. Прикладные методы расчета на устойчивость

Устойчивость стержней. Применение прикладных методов решения задач исследования устойчивости стержней.

Методические указания к изучению темы 4.2

Литература: [1, с. 332-340].

Центральные вопросы темы: вывод формулы для критической нагрузки потери устойчивости шарнирно опертого стержня методом Эйлера; вывод формулы для критической нагрузки потери устойчивости шарнирно опертого стержня энергетическим методом.

Контрольные вопросы:

1. Опишите подход к решению задачи Эйлера об устойчивости стержней.
2. Опишите энергетический подход к решению задачи об устойчивости стержней.
3. По какой формуле определяется критическая нагрузка для шарнирно опертого стержня?

Тема 4.3. Устойчивость прямоугольных пластин

Основные соотношения. Устойчивость прямоугольной пластины, сжатой по одной оси. Устойчивость пластин при сдвиге. Устойчивость пластин при комбинированном нагружении.

Методические указания к изучению темы 4.3

Литература: [1, с. 340-353].

Центральные вопросы темы: потенциальная энергия деформации пластины и работа внешних сил; устойчивость прямоугольной пластины, сжатой по одной оси; устойчивость пластин при сдвиге; устойчивость пластин при комбинированном нагружении.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите дополнительные допущения, принимаемые при решении задач о потере устойчивости пластин.

2. Запишите формулы для потенциальной энергии деформации пластины и работы внешних сил в общем случае нагружения на сжатие и сдвиг.

3. Как определяются критические напряжения потери устойчивости прямоугольной пластины, сжатой по одной оси?

4. Как определяются критические напряжения потери устойчивости прямоугольной пластины при сдвиге?

5. Как определяются критические напряжения потери устойчивости прямоугольной пластины при комбинированном нагружении?

6. От чего зависят критические напряжения потери устойчивости прямоугольной пластины?

РАЗДЕЛ 5. КОЛЕБАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Тема 5.1. Уравнения динамики упругих систем

Классификация колебательных процессов. Расчетные схемы элементов авиационных конструкций. Принцип Даламбера–Лагранжа. Уравнения Лагранжа в обобщенных координатах. Уравнения малых колебаний системы с конечным числом степеней свободы. Дифференциальные уравнения колебаний упругих систем с непрерывно распределенными параметрами. Уравнения колебаний систем с сосредоточенными массами.

Методические указания к изучению темы 5.1

Л и т е р а т у р а : [1, с. 374-385].

Ц е н т р а л ь н ы е в о п р о с ы т е м ы : расчетные схемы элементов авиационных конструкций; уравнения малых колебаний системы с конечным числом степеней свободы; дифференциальные уравнения колебаний упругих систем с непрерывно распределенными параметрами; уравнения колебаний систем с сосредоточенными массами.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы :

1. Какие виды колебательных процессов вы знаете?

2. Какие расчетные схемы элементов авиационных конструкций вы знаете?

3. Изложите принцип Даламбера–Лагранжа применительно к динамике идеальной упругой системы.

4. Запишите матричное уравнение колебаний системы с конечным числом степеней свободы.

5. Запишите дифференциальное уравнение поперечных колебаний пластины.

6. Что такое коэффициент влияния?

Тема 5.2. Колебания систем с одной степенью свободы

Уравнения колебаний. Свободные колебания. Вынужденные колебания. Автоколебания.

Методические указания к изучению темы 5.2

Литература: [1, с. 388-394].

Центральные вопросы темы: свободные колебания; вынужденные колебания; автоколебания.

Контрольные вопросы:

1. Запишите уравнение колебаний системы с одной степенью свободы с учетом демпфирования.
2. Чем отличаются свободные колебания системы?
3. Как называются колебания при наличии возмущающей силы?
4. Что такое автоколебания?

Тема 5.3. Колебания систем с несколькими степенями свободы

Свободные колебания. Условия ортогональности собственных форм колебаний. Формула Рэлея.

Методические указания к изучению темы 5.3

Литература: [1, с. 394-400].

Центральные вопросы темы: свободные колебания; условия ортогональности собственных форм колебаний; формула Рэлея.

Контрольные вопросы:

1. Запишите матричное уравнение свободных колебаний системы с конечным числом степеней свободы.
2. В чем заключаются условия ортогональности собственных форм колебаний и какова их физическая интерпретация?
3. В каком случае формула Рэлея дает точное значение квадрата собственной частоты колебаний?

Тема 5.4. Колебания стержней

Уравнения поперечных колебаний. Свободные колебания стержней. Вынужденные колебания стержней.

Методические указания к изучению темы 5.4

Литература: [1, с. 402-418].

Центральные вопросы темы: уравнения поперечных колебаний; свободные колебания стержней; вынужденные колебания стержней.

Контрольные вопросы:

1. Запишите дифференциальное уравнение поперечных колебаний стержней переменного сечения.
2. Что является искомой функцией в задачах о поперечных колебаниях стержней?
3. Запишите граничные условия для шарнирно опертого стержня.

4. Изложите известные вам подходы к решению задачи о вынужденных колебаниях стержней.

Тема 5.5. Колебания пластин

Основные уравнения. Прикладные методы решения задач о колебаниях пластин.

Методические указания к изучению темы 5.5

Литература: [1, с. 418-425].

Центральные вопросы темы: основные уравнения поперечных колебаний пластин; прикладные методы решения задач о колебаниях пластин.

Контрольные вопросы:

1. Запишите в общем виде уравнение поперечных колебаний прямоугольной пластины.
2. Изложите основные положения метода Рэля–Ритца применительно к решению задачи о поперечных колебаниях тонкой пластины.
3. Изложите особенности применения метода конечных элементов к расчету поперечных колебаний пластин.

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ ТЕМАТИКА И ОБЪЕМ В ЧАСАХ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1. Определение коэффициента концентрации напряжений в пластине с круглым отверстием (тема 3.1) – 2 часа.

На практическом занятии решается задача по определению теоретического коэффициента концентрации нормальных напряжений в пластине с отверстием. По результатам расчетов строятся эпюры нормальных напряжений в наиболее ослабленном сечении пластины.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2. Определение критических напряжений потери устойчивости пластин (тема 4.3) – 2 часа.

На практическом занятии решаются задачи по определению критических напряжений потери устойчивости пластин при различных видах нагружения и опирания.