

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



«Утверждаю»
Проректор по УМР

Л.О. Штриплинг

03 2014 год

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине

«Прикладные методы расчета конструкций ракетно-космической техники»

направление подготовки специалистов

24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

Разработана в соответствии с ФГОС ВО и ООП по направлению подготовки
(специальности) 24.05.02 " Проектирование авиационных и ракетных двигателей "
Специализация – «Проектирование жидкостных ракетных двигателей».

Программу составил:
д.т.н., профессор
кафедры «Авиа- и ракетостроение»



Б.А. Калашников

Обсуждена на заседании кафедры «Авиа- и ракетостроение» (протокол № 8 от 27.03.2017 г.).

Зав. кафедрой «Авиа- и ракетостроение»
к.т.н., доцент



А.Б.Яковлев
« 27 » 03 2017 г.

Согласовано:

Руководитель ООП
к.т.н., доцент



А.Б. Яковлев
« 27 » 03 2017 г.

1. Цели и задачи дисциплины.

Дисциплина «**Прикладные методы расчёта конструкций ракетно-космической техники**» является курсом вариативной части Блока 1 профессиональной подготовки инженера по специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей.

Цель изучения дисциплины «**Прикладные методы расчёта конструкций ракетно-космической техники**» – развитие у студентов навыков, опыта и умения в выполнении расчётов по определению напряжённо-деформированного состояния по методу конечных элементов в авиационных и ракетных двигателях при статическом нагружении.

Основные задачи дисциплины:

- усвоение основных понятий и определений метода конечных элементов с непрерывным распределением массы, упругих и диссипативных свойств по объёму авиационных и ракетных двигателей;
- применение основных соотношений метода для решения задач строительной механики авиационных и ракетных двигателей с использованием комплекса Ansys APDL и Ansys WorkBench.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «**Прикладные методы расчёта конструкций ракетно-космической техники**» входит в вариативную часть блока 1 (Б1) и является курсом, дополняющим базовую (фундаментальную) профессиональную подготовку инженера, в том числе для дальнейшего изучения основных дисциплин вариативной части блока Б.1.

Студент, начинающий изучение дисциплины, должен знать базовые математические и общепрофессиональные дисциплины ООП по направлению подготовки специалитета 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей.

Предшествующие дисциплины: «Высшая математика», «Физика», «Прикладная механика», «Введение в ракетно-космическую технику», «Основы автоматизированного проектирования», «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов в ракетно-космической технике», «Прочность конструкции».

Дисциплины, изучаемые одновременно: «Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях», «Основы теории жидкостных ракетных двигателей», «Основы теории полета», «Пневмогидросистемы и автоматика летательных аппаратов», «Проектирование сборочных приспособлений (стапелей)».

Последующие дисциплины: «Теория и элементы систем управления летательных аппаратов», «Общая теория авиационных и ракетных двигателей», «Энергетические машины и установки», «Испытания и обеспечение надежности ракетно-космической техники», «Конструкция и расчет ракетных двигателей твердого топлива», «Автоматика и регулирование ракетных двигателей».

3. Требования к результатам освоения дисциплины

3.1. В результате освоения дисциплины «**Прикладные методы расчёта конструкций ракетно-космической техники**» должны быть сформированы следующие компетенции:

| Шифр направления | Формируемая компетенция |
|------------------|---|
| 24.05.02 | способностью принимать участие в работах по расчету и конструированию отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок ЛА в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования (ПК-1) |
| | способностью составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений (ПК-5) |

3.2. В результате освоения дисциплины студент должен демонстрировать освоение указанными компетенциями по дескрипторам «знания, умения, владения», соответствующие

тематическим модулям дисциплины, и применимые в их последующем обучении и профессиональной деятельности:

знать:

- 3.1. Соотношения метода конечных элементов в задачах статики;
- 3.2. Матричное уравнение равновесия;
- 3.3. Основы расчета на прочность;
- 3.4. Согласованную формулировку матрицы жёсткости;

уметь:

У.1. Рассчитывать перемещения конечно-элементных моделей авиационных и ракетных двигателей в пакете MAPLE и в комплексе ANSYS;

У.2. Обрабатывать и анализировать результаты научно-исследовательской работы по статике, оформлять технические отчеты, готовить к публикации научные статьи, находить элементы новизны в разработке, представлять материалы для оформления патентов на полезные модели;

владеть:

- В.1. Навыками создания 3D-моделей в комплексах ANSYS APDL и ANSYS WorkBench;
- В.2. Навыками выбора типов конечных элементов для решения статических задач;
- В.3. Навыками выбора типа статического расчёта;
- В.4. Способностью руководить и принимать участие в научно-исследовательских работах.

3.3. Проектируемые результаты и признаки формирования компетенций

Компетентностная модель дисциплины

| Индекс компетенции | Проектируемые результаты освоения дисциплины « Прикладные методы расчёта конструкций ракетно-космической техники » и индикаторы формирования компетенций | | | Средства технологии оценки | Технологии формирования компетенции |
|--------------------|---|------------|------------|---|-------------------------------------|
| | Знания (З) | Умения (У) | Навыки (В) | | |
| ПК-1 | 3.1 – 3.4 | У.1, У.2 | В.1 – В.4 | Отчеты по лабораторным работам, отчеты по практическим занятиям, устный опрос, РГР, зачет | 1, 2, 3, 4, 5 |
| ПК-5 | 3.1 – 3.4 | У.1, У.2 | В.1 – В.4 | | |

Технологии формирования компетенции:

- 1 – лекционно-семинарский метод
- 2 – самостоятельное изучение литературы
- 3 – применение информационных технологий
- 4 – использование электронных средств информации
- 5 – анализ конкретных производственных ситуаций

4. Объем дисциплины и виды учебной работы в часах и зачетных единицах

Очная форма обучения

| Вид занятий | Всего (час. / зач. ед.) | семестры | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------|----------|---|---|---|---|---|-------|---|---|----|----|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| Всего аудиторных занятий: | 72 | | | | | | | 72 | | | | | |
| Лекции | 18 | | | | | | | 18 | | | | | |
| Практические занятия | 18 | | | | | | | 18 | | | | | |
| Лабораторные работы | 36 | | | | | | | 36 | | | | | |
| Самостоятельная работа: | 72 | | | | | | | 72 | | | | | |
| Самостоятельное изучение материала дисциплины и подготовка к зачетам | 52 | | | | | | | 52 | | | | | |
| Курсовая работа (проект) | | | | | | | | | | | | | |
| Расчетно-графическая работа | 20 | | | | | | | 20 | | | | | |
| Домашнее задание | | | | | | | | | | | | | |
| Количество часов на экзамен | | | | | | | | | | | | | |
| Всего по дисциплине | 144 / 5 | | | | | | | 144 | | | | | |
| Вид аттестации за семестр (зачет, дифференцированный зачет, экзамен) | зачет | | | | | | | зачет | | | | | |

5. Содержание дисциплины по модулям и видам учебных занятий

5.1 Содержание дисциплины по модулям

1. Развитие матричного метода перемещений для стержневых систем и переход к методу конечных элементов.
2. Теоретические основы МКЭ для расчёта непрерывных тел и сложных конструкций.

| Раздел | Лекции | Содержание | Форма обучения | |
|--------|---|--|------------------------|-------|
| | | | Очная | |
| 1 | 2 | 3 | Кол-во часов (лек/СРС) | |
| 1 | Модуль 1. Развитие матричного метода перемещений для стержневых систем и переход к методу конечных элементов | | | 2 / 6 |
| | 1 | Матричный метод перемещений для стержневых систем. Матрица податливости, развитие понятия о матрице жёсткости, связь между силами и перемещениями. Общее определение элементов матрицы жёсткости. Глобальная и локальные системы координат. Влияние числа видов нагружения на вид ЛСК. Нумерация сил и перемещений. Введение понятия узла, его степеней свободы, понятия элемента, понятия жёсткого и шарнирного присоединения стержня к узлу. Влияние симметрии конструкции и нагружения на поле перемещений. | | |
| | 2 | Связь матриц жёсткости для стержневых элементов в локальной и глобальной системах координат. Матрица направляющих косинусов. Общее представление о её зависимости от способа перечисления компонент векторов сил и перемещений. Трактовка механического смысла элементов матриц. | | |
| | 3 | Матрица жёсткости ферменной конструкции. Равновесие произвольного узла. Правила формирования матрицы жёсткости конструкции по матрицам жёсткости конечных элементов в ГСК. | 2 / 6 | |

| | | | |
|---|---|---|--------|
| | 4 | Вычисление узловых перемещений. Разделение векторов сил и перемещений на известные и подлежащие определению. Краткие сведения о методах решения систем линейных алгебраических уравнений и основных командах пакетов linalg и LinearAlgebra MAPLE. | |
| | 5 | Пример расчёта по МКЭ статически неопределимой плоской ферменной конструкции. Приведение внеузловой нагрузки, действующей по четырём видам нагружения на балочный элемент, к эквивалентной узловой нагрузке методами сопротивления материалов. | |
| | 6 | Общие сведения о матрице жёсткости балочного элемента в локальной системе координат. Её структура при перечислении компонент векторов перемещений и сил по видам нагружения. Структура матрицы направляющих косинусов. Матрица жёсткости балочного элемента в локальной системе координат при изгибе в локальной плоскости \bar{xOy} : интегрирование ОДУ прогиба и введение матрицы аппроксимирующих функций. | 2 / 6 |
| | 7 | Трактовка элементов матрицы аппроксимирующих функций для изгиба в плоскости \bar{xOy} . Матрица аппроксимирующих функций для ферменного элемента. Общая трактовка и области применения этой матрицы. | |
| | 8 | Матрица жёсткости балочного элемента при его изгибе в локальной системе координат в плоскости \bar{xOy} . Механический смысл элементов этой матрицы. | 3 / 12 |
| | 9 | Матрица жёсткости балочного элемента в глобальной системе координат. Матрица жёсткости для случая изгиба в плоскости \bar{xOz} и матрица жёсткости для случая кручения. Пример расчёта по МКЭ конструкции из балочных элементов. | |
| | Модуль 2. Теоретические основы МКЭ для расчёта непрерывных тел и сложных конструкций | | |
| | 1 | Дискретизация сплошных тел на совокупность конечных элементов. Основные неизвестные в узлах. Связь с матричным методом перемещений. Основные проблемы при дискретизации и способы их решения: аппроксимирующие функции, объединение КЭ в систему, распределённые нагрузки. Перемещения, деформации и напряжения в конечном элементе. Связь с узловыми перемещениями. Соотношения Коши в векторной форме. Обобщённый закон Гука. | |
| 2 | 2 | Вывод общей формулы для матрицы жёсткости произвольного конечного элемента с использованием принципа возможных перемещений. Роль матрицы аппроксимирующих функций. Вывод с использованием принципа возможных перемещений общей формулы для приведения распределённой объёмной и поверхностной нагрузки, действующей на КЭ, к эквивалентной узловой. Формула для эквивалентных сил в произвольном узле, в котором сходится несколько конечных элементов. | 2 / 6 |
| | 3 | Формирование глобальной матрицы жёсткости произвольной конструкции по ГМЖ отдельных КЭ (на примере плоской конструкции). Отличия от стержневых систем. Использование и трактовка матрицы индексов (массива степеней свободы элементов). | 2 / 6 |

| | | |
|---------------|---|----------------|
| 4 | Плоский треугольный элемент. Аппроксимация поля перемещений точек внутри КЭ. Матрица аппроксимирующих функций; механический смысл её элементов. Матрица жёсткости этого КЭ; механический смысл элементов этой матрицы и блоков этой матрицы. Общее и упрощенное приведение распределённой нагрузки к эквивалентной узловой нагрузке. Преимущества и недостатки этого КЭ. | |
| 5 | Совместный прямоугольный элемент для решения плоской задачи теории упругости. Его особенности. Аппроксимация поля перемещений точек внутри КЭ. Введение матрицы аппроксимирующих функций путём подбора. Обоснование этого приёма механической трактовкой элементов этой матрицы. Переход к безразмерным координатам ξ и η Матрица жёсткости этого КЭ; механический смысл элементов этой матрицы и блоков этой матрицы. | 2 / 4 |
| 6 | Четырёхузловой изопараметрический конечный элемент с прямыми сторонами. Система аппроксимирующих функций для описания геометрии КЭ и поля перемещений в нём. Безразмерный вспомогательный квадрат. Аналогия с прямоугольным КЭ и отличия от него. Гомеоморфизм координат точек безразмерного квадрата и координат и перемещений точек КЭ. Необходимость введения матрицы Якоби. Формула для ГМЖ. Якобиан. | |
| 7 | Плоский 6,8,12-узловой конечный элемент с криволинейными границами. Вспомогательный 8-точечный квадрат. Аппроксимирующие функции на этом квадрате; их общая формула; графики по этой формуле; особенности графиков. Гомеоморфизм координат точек безразмерного квадрата и координат и перемещений точек КЭ. Необходимость введения матрицы Якоби. Формула для ГМЖ. Якобиан. | |
| 8 | Деформация пространственного криволинейного стержня. Элементы конструкций, для которых применяется идеализация в виде таких стержней и её обоснование. Параметр A , его механический смысл. Отличие матрицы направляющих косинусов от аналогичной матрицы для стержня с прямой осью. Выражение для деформации, его трактовка в сравнении с деформацией стержня с прямой осью. | 3 / 6 |
| 9 | Одномерные конечные элементы. Гомеоморфизм координат точек безразмерных отрезков со стороной 2 и координат в ГСК точек одномерных КЭ первого, второго и третьего порядка (их геометрия). MAPLE-графики аппроксимирующих функций этих элементов трактовка их механического смысла. Аппроксимация вектора перемещений в ГСК $\{u\}$ с использованием этих функций и запись выражения для одномерной деформации с использованием блока $[\beta_r]$. Напряжения. Блок матрицы жёсткости. | |
| Итого: | | 18 / 52 |

5.2. Содержание практических и лабораторных занятий

5.2.1. Содержание практических занятий

Цель практических занятий – закрепление теоретического материала дисциплины, овладение методами решения задач, в пользовании справочной литературой и атласами, а также в подготовке их к самостоятельной работе над расчетно-графической работой.

| Раздел | Содержание практических занятий | Форма обучения |
|---------------|--|----------------|
| | | Очная |
| | | Кол-во часов |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Практическая работа №1 | |
| | Расчёт глобальной матрицы жёсткости ферменного элемента | 2 |
| 2 | Практическая работа №2 | |
| | Расчёт статически неопределимой балки на четырёх опорах | 4 |
| 3 | Практическая работа №3 | |
| | Сферическая оболочка с круглым отверстием под внутренним давлением | 4 |
| 4 | Практическая работа №4 | |
| | Осесимметричный изгиб круглых пластин | 4 |
| | Практическая работа №5 | |
| | Торообразная оболочка под внутренним давлением | 4 |
| Итого: | | 18 |

5.2.2. Содержание лабораторных работ

Цель лабораторного практикума – привить студентам практические навыки в усвоении отдельных теоретических разделов курса.

| Раздел | Содержание лабораторного практикума | Форма обучения |
|---------------|---|----------------|
| | | Очная |
| | | Кол-во часов |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Модуль 1. Развитие матричного метода перемещений для стержневых систем и переход к МКЭ | |
| | Расчёт простой ферменной конструкции | 2 |
| | Расчёт плоской фермы | 2 |
| | Расчёт консольной балки силой на конце | 2 |
| | Расчёт балки на двух опорах | 2 |
| | Расчёт балки на четырёх опорах | 2 |
| | Расчёт кольца | 2 |
| | Расчёт пространственной рамы | 2 |
| | Расчёт переходного отсека | 4 |
| 2 | Модуль 2. Теоретические основы МКЭ для расчёта непрерывных тел и сложных конструкций | |
| | Расчёт цилиндрической оболочки под внутренним давлением | 2 |
| | Расчёт цилиндрической оболочки под внутренним давлением газа и жидкости | 2 |
| | Расчёт конической оболочки под внутренним давлением | 2 |
| | Расчёт цилиндрической оболочки с круглым отверстием под внутренним давлением | 4 |
| | Расчёт цилиндрической оболочки с круглым отверстием и окантовкой | 4 |
| | Расчёт цилиндрической оболочки с квадратным отверстием под внутренним давлением | 4 |
| Итого: | | 36 |

6. Образовательные технологии

6.1. Для достижения планируемых результатов освоения дисциплины используются следующие образовательные технологии:

1. Лекционно-семинарский метод.
2. Самостоятельное изучение литературы.
3. Применение информационных технологий.
4. Использование электронных средств информации.
5. Анализ конкретных производственных ситуаций

| Методы | Лекция | Лабораторные работы | Практические занятия | СРС |
|------------------------------------|--------|---------------------|----------------------|-----|
| Метод ИТ | + | + | + | + |
| Работа в команде | | + | | |
| Проблемное обучение | + | | + | |
| Контекстное обучение | + | + | + | + |
| Обучение на основе опыта | + | + | | + |
| Индивидуальное обучение | + | | + | + |
| Междисциплинарное обучение | + | + | + | + |
| Опережающая самостоятельная работа | | + | + | + |

6.2. Интерактивные формы обучения (в соответствии с положением П ОмГТУ 75.03-2012. «Об использовании в образовательном процессе активных и интерактивных форм проведения учебных занятий»)

| № | Семестр, модуль | Применяемые технологии интерактивного обучения | Кол-во ауд. часов |
|--------------|---------------------------|--|-------------------|
| 1 | 7 семестр Модуль 1 – 2 | Лекции Проблемное обучение, метод ИТ, обучение на основе опыта, индивидуальное обучение, междисциплинарное обучение | 6 |
| 2 | 7 семестр Модуль 1 – 2 | Лабораторные работы Работа в команде (малых группах). Пережающая самостоятельная работа с применением информационных ресурсов | 4 |
| 3 | 7 семестр Модуль 1 – 2 | Практические занятия Метод ИТ, проблемное обучение, индивидуальное обучение, междисциплинарное обучение | 4 |
| 4 | 7 семестр Модуль 1 - 2 | СРС Пережающая самостоятельная работа с применением информационных ресурсов, индивидуальное обучение (РГР). | 10 |
| ИТОГО | | | 24 |

Примечание: Объем часов занятий в интерактивной форме обучения (согласно П ОмГТУ 75.03-2012) должно составлять (20-40) % от объема часов аудиторных занятий.

7. Самостоятельная работа студентов (указываются все виды работ в соответствии с учебным планом)

Самостоятельная работа направлена на закрепление и углубление полученных теоретических и практических знаний, развитие навыков практической работы.

7.1. Объем СРС и распределение по видам учебных работ в часах

| Вид СРС | Количество часов* | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|---|---|---|---|---|----|---|---|----|----|
| | семестры | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1. Самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины; поиск и обзор литературы и электронных источников; чтение и изучение учебника и учебных пособий. | | | | | | | 32 | | | | |
| 2. Подготовка к практическим занятиям | | | | | | | 10 | | | | |
| 3. Подготовка к лабораторным работам | | | | | | | 10 | | | | |
| 4. Выполнение РГР | | | | | | | 20 | | | | |
| Всего | | | | | | | 72 | | | | |
| ИТОГО по дисциплине | 72 | | | | | | | | | | |

* - Распределение часов на выполнение СРС проведено на основе личного опыта преподавателя и рекомендаций учебника «Управление факультетом». – С. 236 – 237. (Под. Ред. С. Д. Резника. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 696 с.).

7.2. Расчетно-графическая работа по модулям:

Модуль 1.

Тема расчетно-графической работы (РГР) – Расчет сферической оболочки под действием радиальной силы.

Модуль 2.

Тема расчетно-графической работы (РГР) – Расчет цилиндрической оболочки со сферическим днищем под действием внутреннего давления.

РГР направлена на закрепление лекционного материала. В задания по РГР входят разработка 3D-моделей в комплексах ANSYS APDL и ANSYS WorkBench; выбор типов конечных элементов и статического расчета. РГР предусматривает возможность проведения расчетов на ЭВМ. Время на выполнение расчетно-графической работы - 20 часов.

8. Методическое обеспечение системы оценки качества освоения программы дисциплины

К промежуточной аттестации студентов по дисциплине «**Прикладные методы расчёта конструкций ракетно-космической техники**» могут привлекаться в качестве внешних экспертов: представители работодателя – работники предприятий.

8.1. Фонды оценочных средств (в соответствии с П ОмГТУ 73.05 «О фонде оценочных средств по дисциплине»)

Фонд оценочных средств позволяет оценить знания, умения и уровень приобретенных компетенций.

Фонд оценочных средств по дисциплине включает:

- варианты РГР;
- вопросы и задания для практических занятий;
- вопросы для защиты лабораторных работ;
- вопросы к зачету.

Оценка качества освоения программы дисциплины включает текущий контроль успеваемости, промежуточную аттестацию, итоговую аттестацию в форме зачета.

Студентам предоставлена возможность оценивания содержания, организации и качества учебного процесса.

8.2. Контрольные вопросы по дисциплине

Модуль 1.

1. Записать выражение между перемещениями и силами в упругой системе в компонентной и в матричной форме.
2. Объяснить смысл элементов матрицы податливости на примере балочной системы с тремя силами.
3. Получить командами пакета linalg или LinearAlgebra матрицу податливости из матрицы жёсткости цепной трёхмассовой системы с равными параметрами.
4. Почему матрица жёсткости стержневой конструкции имеет ленточную структуру?
5. В каких случаях МЖ стержневых конструкций имеет диагональный вид, а в каких – блочно-диагональный?
6. Для чего вводится понятие узла в стержневых конструкциях? В каких точках вводятся узлы и почему?
7. Как вводится ГСК конструкции и для чего вводятся ЛСК?
8. Почему изменится матрица жёсткости балочного элемента, если в одном из узлов будет введён шарнир?
9. Как изменится матрица жёсткости балочного элемента, если в обоих узлах ввести сферические шарниры?
10. Почему ЛСК для ФЭ имеет одну ось, а для БЭ – три оси?
11. Что означает введение шарнира в одном из узлов для блока МЖ БЭ, описывающего его сопротивляемость растяжению-сжатию?
12. При каких условиях структура матрицы направляющих косинусов для ФЭ и БЭ в блочном виде одинакова? А в каких различается?
13. Как зависит структура МНК для БЭ от способа перечисления компонент векторов перемещений или сил?
14. Для чего выполняется пересчёт элементов ЛМЖ стержневых элементов в ГСК?
15. Перечислить правила формирования ГМЖ ферменной конструкции и объяснить, почему они такие.
16. Почему в ГМЖ ФЭ, ось которого параллельна одной из осей ГСК некоторые столбцы и строки нулевые? Какие будут нулевыми? Имеет ли это свойство отношение к ленточной структуре МЖ?
17. Как следует понимать расположение степеней свободы снизу и справа от его МЖ в ЛСК?
18. Сопоставьте формализацию построения ГМЖ стержня с помощью массива связи степеней свободы с содержательными правилами её построения.
19. Почему в массиве связи фигурируют только разрешённые степени свободы?
20. Как найти реакции в тех узлах, степени свободы которых подавлены? Привести простой пример.
21. Почему виды нагружения в БЭ считаются не влияющими друг на друга?
22. Каким образом ГУ влияют на вид матрицы аппроксимирующих функций?
23. Каким образом ГУ влияют на вид МЖ в ЛСК?
24. Изобразить крестами и нулями структуру МЖ БЭ при его изгибе в плоскости $\bar{x}O\bar{y}$.
25. Дать физическую трактовку элементов МАФ БЭ при жёстком присоединении стержня к узлам.

26. Дать физическую трактовку элементов МАФ БЭ при шарнирном присоединении стержня к узлам.
27. Эквивалентен ли шарнир запрещению поворота узла, к которому он присоединён?
28. Объяснить способ получения ЛМЖ БЭ при его изгибе в плоскости $\bar{x}O\bar{z}$ из ЛМЖ в $\bar{x}O\bar{y}$.
29. Объяснить способ получения ЛМЖ БЭ при его кручении вокруг \bar{x} из ЛМЖ ФЭ для растяжения сжатия?
30. Почему МНК БЭ несимметрична относительно её главной диагонали?

Модуль 2.

1. В чём заключается связь между матричным методом перемещений и МКЭ для сплошных конструкций?
2. В чём состоят основные трудности при дискретизации сплошных тел?
3. Какова роль аппроксимирующих функций при дискретизации сплошных тел на конечные элементы?
4. По каким правилам осуществляется объединение матриц жёсткости конечных элементов в общую матрицу жёсткости?
5. Как влияет нагружение конструкции распределёнными объёмными и поверхностными нагрузками на общую схему расчёта по МКЭ?
6. В чём отличие узловых перемещений от перемещений точки внутри конечного элемента?
7. Какие деформации и напряжения существуют в точке произвольного конечного элемента?
8. Объясните механический смысл общей формулы приведения внеузловой нагрузки на КЭ к эквивалентной узловой.
9. Объяснить смысл формулы для расчёта эквивалентной силы в узле, в котором сходится несколько КЭ.
10. На примере плоской конструкции показать формирование её МЖ из матриц жёсткости отдельных КЭ.
11. В чём заключается отличие МЖ плоской конструкции от МЖ ферменной и балочной конструкции?
12. Как выполняется аппроксимация поля перемещений в плоском треугольном элементе и к каким следствиям она приводит в описании н.д.с.?
13. Объяснить механический смысл элементов матрицы аппроксимирующих функций для разных типов КЭ.
14. Объяснить механический смысл элементов и блоков матрицы жёсткости плоского треугольного элемента.
15. Что означает понятие совместности КЭ?
16. В чём состоят особенности плоского прямоугольного КЭ?
17. В чём состоит отличие аппроксимации поля перемещений в прямоугольном элементе от треугольного?
18. Объяснить механический смысл элементов и блоков матрицы жёсткости плоского прямоугольного элемента.
19. Какие преимущества даёт изопараметрический подход в описании геометрии и поля перемещений КЭ?
20. С какой целью вводится безразмерный вспомогательный квадрат при построении МЖ КЭ?
21. Какой геометрический объект выполняет роль этого квадрата в стержневых КЭ?

22. Что означает гомеоморфизм точек вспомогательного квадрата и координат и перемещений точек КЭ?

23. Чем вызывается необходимость введения матрицы Якоби при построении МЖ КЭ?

24. Каков механический смысл якобиана?

9. Ресурсное обеспечение дисциплины

9.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

9.1.1. Современные приборы, установки (стенды), необходимость специализированных лабораторий и классов

Ауд. 3-307. Вычислительный класс (10ПК).

Ауд. 86-301. Лабораторный комплекс (ПК на базе Intel Core 2 Duo E7500–9 шт, программное обеспечение, проектор BenQ Eсо).

9.1.2. Технические средства обучения и контроля

1. Использование учебных плакатов по разделам дисциплины.

2. Применение раздаточного материала в виде ксерокопий по разделам дисциплины.

3. Демонстрация учебных слайдов по разделам дисциплины.

4. Мультимедийные аудитории.

9.1.3 Вычислительная техника

При проведении лабораторных работ используются ЭВМ с установленным комплексом ANSYS APDL и ANSYS WorkBench и пакетом компьютерной алгебры MAPLE.

9.2. Учебно-методическое и информационное обеспечение

9.2.1. Основная литература

1. Гречух, Л. И. Строительная механика ракет [Электронный ресурс] : учеб.электрон. изд. локального распространения : учеб. пособие / Л. И. Гречух, И. Н. Гречух ; ОмГТУ. - Электрон.текстовые дан. (542,9 Кб). - Омск : Изд-во ОмГТУ, 2012. - 1 эл. опт.диск (CD-ROM).(ЭБС);

2. Гречух, Иван Николаевич. Расчет на прочность ракетных конструкций [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлению 160800 "Ракетостроение и космонавтика", специальность 160801 "Ракетостроение" / И. Н. Гречух, Л. И. Гречух ; ОмГТУ. - Омск : Изд-во ОмГТУ, 2008. - 146 с.

9.2.2. Дополнительная литература

1. Калашников Б.А. Решение задач строительной механики машин в комплексе ANSYS / Б.А. Калашников, В.И. Сазанов, В.В. Шалай; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. – 432 с.: ил.;

2. Адаптация космических аппаратов со средствами выведения и наземным оборудованием при реализации одиночных, кластерных (групповых) и попутных запусков : в 2 кн. Кн. 1. Адаптация космических аппаратов со средствами выведения : учеб.пособие / В. Н. Блинов [и др.] ; ОмГТУ, ПО "Полет"- фил. ФГУП "ГКНПЦ им. М. В. Хруничева". - Омск : Изд-во ОмГТУ, 2012. - 263 с.(ЭБС);

3. Адаптация космических аппаратов со средствами выведения и наземным оборудованием при реализации одиночных, кластерных (групповых) и попутных запусков : в 2 кн. Кн. 2. Адаптация космических аппаратов с наземным оборудованием : учеб.пособие / В. Н. Блинов [и др.] ; ОмГТУ, ПО "Полет"- фил. ФГУП "ГКНПЦ им. М. В. Хруничева". - Омск : Изд-во ОмГТУ, 2012 - - 336 с.(ЭБС);

9.2.3. Периодические издания

- ✓ 1. Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. 2006-2017.
- ✓ 2. Машиностроение и инженерное образование. 2009-2015.
- ✓ 3. Проблемы машиностроения и надёжности машин. 1990-2017.
- ✓ 4. Механика деформируемого твёрдого тела, 1999-2016.
- ✓ 5. Известия вузов. Сер. Машиностроение. 1991-2011.


9.2.4. Информационные ресурсы

1. ЭБС «АРБУЗ»
2. Научная электронная библиотека eLibrary.ru
3. EBSCO
4. Springer

Согласовано:



Библиотека ОмГТУ



(штамп КО и подпись зам. директора)