



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДВФУ)

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП
«Прикладная механика»

 Озерова Г.П.

«25» июня 2017 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой
Механики и математического моделирования
(название кафедры)

 Бочарова А.А.

«24» июня 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ CAD/CAE

Направление подготовки: 15.03.03 Прикладная механика
Профиль подготовки:

«Математическое и компьютерное моделирование механических систем и процессов»

Форма подготовки (очная)

курс 3 семестр 5
лекции 18 час.
практические занятия 36 час.
лабораторные работы 0 час.
в том числе с использованием МАО лек. 12 час. /пр.32 час. /лаб.0 час.
всего часов аудиторной нагрузки 54 час.
в том числе с использованием МАО 44 час.
самостоятельная работа 54 час.
в том числе на подготовку к экзамену - час.
контрольные работы -
курсовая работа / курсовой проект -
зачет 5 семестры
экзамен - семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования Дальневосточного федерального университета, принятого решением Ученого совета ДВФУ, протокол от 25.02.2016 № 02-16, введенного в действие приказом ректора ДВФУ от 10.03.2016 № 12-13-391

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры механики и математического моделирования, протокол № 9 от «23» июня 2017 г.

Заведующий кафедрой: к.ф.-м.н., доц. Бочарова А.А.

Составитель: к.т.н., доцент Озерова Г.П., к.ф.-м.н., доцент Амосова Е.В.

Оборотная сторона титульного листа РПУД**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «_____» _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «_____» _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

Аннотация дисциплины «Технологии проектирования САД-САЕ»

Дисциплина «Технологии проектирования САД-САЕ» разработана для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.03 «Прикладная механика», профиль «Математическое и компьютерное моделирование механических систем и процессов» и является дисциплиной выбора вариативной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана (Б1.В.ДВ.4.2).

Трудоемкость дисциплины составляет 108 часов (3 зачетные единицы). Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (18 часов), практические занятия (36 часов), и самостоятельная работа студентов (54 часа). В ходе освоения дисциплины предусмотрено выполнение курсовой работы. Дисциплина реализуется на 3 курсе в 5 семестре. Форма промежуточной аттестации – зачет.

Дисциплина «Технологии проектирования САД-САЕ» логически связана с дисциплинами «Основы автоматизированного проектирования», «Вычислительная механика», «Основы конечно-элементного анализа».

Цель дисциплины - подготовка студентов к разработке компьютерно-ориентированных вычислительных алгоритмов решения задач, возникающих в процессе математического моделирования законов реального мира и применения познанных законов в практической деятельности.

Задачи дисциплины:

- Дать понятие о математическом моделировании и вычислительном эксперименте,
- Раскрыть роль численных методов в исследовании сложных математических моделей,
- Продемонстрировать возможности компьютерного моделирования задач механики деформируемого твёрдого тела с использованием прикладных программных пакетов.

Для успешного изучения дисциплины «Технологии проектирования CAD-CAE» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- способность распознавать проблемы, возникающие в окружающей действительности, которые могут быть решены средствами математики и формулировать эти проблемы на языке математики;
- умение ставить познавательные задачи и выдвигать гипотезы; выбирать условия проведения наблюдения или опыта; выбирать необходимые приборы и оборудование, владеть измерительными навыками, работать с инструкциями; использовать элементы вероятностных и статистических методов познания; описывать результаты, формулировать выводы;
- умение решать проблемы, возникающие в окружающей действительности, используя математические знания и методы и анализировать использованные методы решения и интерпретировать полученные результаты с учетом поставленной проблемы;
- способность формулировать и записывать окончательные результаты решения поставленной проблемы.

Планируемые результаты обучения по данной дисциплине (знания, умения, владения), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, характеризуют этапы формирования следующих компетенций:

| Код и формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции | |
|---|--------------------------------|---|
| ПК-2 способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности | Знает | - принципы моделирования, приемы, методы, способы формализации объектов, процессов, явлений и реализации их на компьютере; - достоинства и недостатки различных способов представления моделей систем; - особенности компьютерного моделирования механических систем. |
| | Умеет | - применять на практике основные методы исследования |

| Код и формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции | |
|--|--------------------------------|--|
| | | математических моделей реальных процессов и конструкций; - пользоваться современными программными средствами. |
| | Владеет | - математическим аппаратом, необходимым для построения математических моделей; - пакетами прикладных программ для инженерного анализа CAD/CAE/CAM систем. |
| ПК-5 способностью составлять описания выполненных научно-исследовательских работ и разрабатываемых проектов, обрабатывать и анализировать полученные результаты, готовить данные для составления отчетов и презентаций, написания докладов, статей и другой научно-технической документации | | - основы метода конечных элементов и его использование для прочностных расчетов |
| | | - создавать 3D модели, параметрические 3D-модели деталей; - создавать 3D-сборки, параметрические 3D-сборки; - создавать чертежи деталей и сборочные чертежи на основе 3D-моделей; - рассчитывать различные характеристики изделия по чертежу и 3D-модели. |
| | | - современными информационными и информационно-коммуникационными технологиями и инструментальными средствами для решения задач проектирования; - методиками расчета и проектирования |

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Технологии проектирования CAD-CAE» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения: лекция-презентация; практическое занятие с использованием программных средств; групповая консультация.

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Тема 1. Принципы функционирования CAD-CAE систем (2 часа).

Классификация, структура и функциональные возможности CAD-CAE систем. Постановка задач компьютерного проектирования. Основные этапы, их особенности.

Тема 2. Методика реализации расчетных алгоритмов в САЕ системе MathCAD(4 часа).

Форматирование объектов листинга программ. Работа с электронными документами в MathCAD. Организация функций пользователя. Вычисление математических функций. Управление вычислениями. Задание операторов пользователя и программных модулей. Применение инструкций программирования и логических операторов. Анализ расчетных алгоритмов для определения оптимальных значений технологических параметров процессов. Ввод исходных данных. Организация вычислений. Отладка программы. Анализ результатов расчета. Изучение и практическая отработка приемов построения по результатам расчетов в MathCAD: таблиц, двумерных и трехмерных графиков, диаграмм и геометрических фигур для визуального отображения информации. Редактирование графических объектов. Управление средствами анимации, динамикой изменяющейся геометрии объектов.

Тема 3. Решение задач инженерного анализа методом конечных элементов в САЕ-системах (5 часов).

Определение задачи и нагрузки. Построение геометрической модели конструкции. Создание конечно-элементной сетки. Определение сетки. Структурные и неструктурные сетки. Линейные элементы. Параболические элементы. Матрица жесткости и ее компоненты. Влияние допущений на точность решения. Правильность приложения граничных условий. Принцип Сен-Венана. Примеры распределения нагрузок. Метод перемещений. Представление уравнений равновесия в матричной форме. Взаимосвязь между жесткостью и деформацией.

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Практические занятия (22 час.)

Занятие 1. Введение в ANSYS (4 часа)

1. Меню программы

2. Панель инструментов
3. Командное меню

Занятие 2. Анализ задачи в ANSYS (4 часа)

1. Основы построения модели.
2. Предпроцессорная обработка данных.
3. Постпроцессорная обработка результатов

Занятие 3. Геометрическое моделирование в ANSYS (4 часа)

1. Создание плоских моделей.
2. Создание объёмных моделей.
3. Задание нагрузки.

Занятие 4. Материал конструкции (2 часа)

1. Свойства материалов.
2. Формульное задание свойств.
3. Нелинейные свойства материала.

Занятие 5. Основы анализа конструкций (4 часа)

1. Стационарный анализ.
2. Анализ задачи устойчивости в линейной постановке.
3. Модальный анализ.
4. Гармонический анализ.

Занятие 6. Специальный анализ конструкций (4 часа)

1. Нестационарный анализ.
2. Анализ с применением метода подконструкций.
3. Спектральный анализ

Лабораторные работы (11 час.)

Лабораторная работа 1. Моделирование изгиба металлической линейки в кольцо в ANSYS (2 часа).

Лабораторная работа 2. Растяжение пластины из гиперупругого материала в ANSYS (2 часа).

Лабораторная работа 3. Потеря устойчивости и закритическое деформирование сжатого стержня (2 часа).

Лабораторная работа 4. Упругопластический изгиб консольной балки в ANSYS (2 часа).

Лабораторная работа 5. Решение задач деформирования при больших деформациях с перестроением сетки конечных элементов (технология «rezoning») (3 часа).

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «CAD/CAE технологии» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

| № п/п | Контролируемые разделы / темы дисциплины | Коды и этапы формирования компетенций | Оценочные средства | | |
|-------|--|---------------------------------------|--|--------------------------|--------------------|
| | | | текущий контроль | промежуточная аттестация | |
| 1 | Принципы функционирования CAD-CAE систем | ПК-2 | Знает: - технологии объектно-ориентированного анализа и проектирования, методики концептуального проектирования и информационной поддержки этапов жизненного цикла промышленных изделий; - назначение, функции подсистем CAD, CAM, | Собеседование (УО-1) | Вопросы к экзамену |

| № п/п | Контролируемые разделы / темы дисциплины | Коды и этапы формирования компетенций | | Оценочные средства | |
|----------|--|--|--|-------------------------------|-----------------------------|
| | | | | текущий контроль | промежуточная аттестация |
| | | | САЕ; Умеет: использовать методики объектно-ориентированного анализа и проектирования систем и подсистем при разработке компонентов систем различного назначения Владеет: методами проектирования сложных технических систем с использованием средств CAD, CAM, CAE систем | Лабораторная работа (ПР-6) | Задачи к экзамену |
| 2 | Методика реализации расчетных алгоритмов в системе MathCAD | ПК-3 | Знает: - возможности и перспективы автоматизации конструкторской и технологической подготовки производства в современных условиях машиностроения; - способы моделирования физических и технологических процессов на основе компьютерного моделирования деталей и сборочных единиц; - современные тенденции в области автоматизации машиностроения; | Собеседование (УО-1) | Вопросы к экзамену |
| | | | Умеет: - применять на практике теоретические знания о моделировании физических и технологических процессов; - создавать трехмерные модели деталей и сборочных единиц | Лабораторная работа (ПР-6) | Задачи к экзамену |
| | | | Владеет: | | |

| № п/п | Контролируемые разделы / темы дисциплины | Коды и этапы формирования компетенций | | Оценочные средства | |
|----------|---|--|--|-----------------------------------|-------------------------------------|
| | | | | текущий контроль | промежуто чная аттестаци я |
| | | | практическими навыками работы с системами автоматизированного проектирования для решения задачи проектирования машин и конструкций, отдельных узлов и агрегатов | | |
| 3 | Решение задач инженерног о анализа методом конечных элементов в CAE- системах | ПК- 13,ПК- 14 | Знает: правила оформления конструкторской документации в соответствии с ЕСКД | Собеседова ние (УО-1) | Вопросы к экзамену |
| | | | Умеет: составлять техническую документацию на проектируемые машины и конструкции; | Лаборатор ная работа (ПР-б) | Вопросы к экзамену |
| | | | Владеет: программными и аппаратными средствами, необходимыми для работы в CAD/CAM/CAE системах | | |

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

Быканова А. Ю., Старков Основы SolidWorks. Построение моделей деталей : учебно-методическое пособие / А. Ю. А. В Быканова, А. В. Старков ; Дальневосточный государственный технический университет Владивосток : Изд-во Дальневосточного технического университета, 2009.119 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:383066&theme=FEFU>

2. Присекин В.Л. Основы метода конечных элементов в механике деформируемых тел/ПрисекинВ.Л., РасторгуевГ.И. - Новосиб.: НГТУ, 2010. - 238 с. <http://znanium.com/bookread2.php?book=548237>

3. Берлинер Э.М. САПР конструктора машиностроителя/Э.М.Берлинер, О.В.Таратынов - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 288 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование) (Переплёт) ISBN 978-5-00091-042-9 <http://znanium.com/catalog/product/501432>

4. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: учебник - М.:НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 592 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=549747>

5. Аверченков, В. И. Инновационные центры высоких технологий в машиностроении [электронный ресурс] : монография / В. И. Аверченков, А. В. Аверченков, В. А. Беспалов, В. А. Шкаберин, Ю. М. Казаков, А. Е. Симуни, М. В. Терехов; под общ ред. В. И. Аверченкова, А. В. Аверченкова. – 2-е изд., стереотип. – М. : Флинта, 2011.– 180 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=453758>

Дополнительная литература

1. К. А. Молоков. Системы автоматизированного проектирования: методические указания к лабораторно-практическим работам с использованием ЭВМ / Дальневосточный государственный технический университет; [сост.: К. А. Молоков, А. Ю. Воробьев]. Изд-во Дальневосточного технического университета , 2010. 41с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:380573&theme=FEFU>

2. Самогин Ю. Н. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов / Самогин Ю.Н., Хроматов В.Е., Чирков В.П. - М.:Физматлит, 2012. - 200 с. <http://znanium.com/bookread2.php?book=544799>

3. Присекин В.Л. Основы метода конечных элементов в механике деформируемых тел/ПрисекинВ.Л., РасторгуевГ.И. - Новосиб.: НГТУ, 2010. -

238 с. <http://znanium.com/bookread2.php?book=548237>

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Официальный сайт ANSYS <http://www.ansys.com/>
2. Материалы свободно распространяемой энциклопедии <https://ru.wikipedia.org/wiki/ANSYS>
3. Помощник в обучении ансис – вебинары, статьи, поддержка, обучение <http://cae-expert.ru/>
4. Уроки по Solidworks - <http://teachmaterials.ru/lessons/>
5. САПР-журнал Статьи, уроки и материалы для специалистов в области САПР. <http://sapr-journal.ru/uroki-solidworks/>

Перечень информационных технологий и программного обеспечения

Необходимое программное обеспечение: система инженерных вычислений ANSYS (<http://www.ansys.com/Student>) и система проектирования (<http://www.solidworks.ru/>).

VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для проведения лекционных занятий необходима мультимедийная аудитория со следующим оборудованием:

Акустическая система для потолочного монтажа с низким профилем, Extron SI 3CT LP (пара)

Акустическая система для потолочного монтажа с низким профилем, Extron SI 3CT LP (пара)

Акустическая система для потолочного монтажа с низким профилем, Extron SI 3CT LP (пара)

Врезной интерфейс с системой автоматического втягивания кабелей TLS TAM 201 Standart III

Документ-камера Avervision CP355AF

Комплект удлинителей DVI по витой паре (передатчик/приёмник),
Extron DVI 201 Tx/Rx

Матричный коммутатор DVI 4x4. Extron DXP 44 DVI PRO

Микрофонная петличная радиосистема УВЧ диапазона Sennheiser EW 122 G3 в составе речевого приёмника EM 100 G3, передатчика SK 100 G3, петличного микрофон ME 4 с ветрозащитой и антенн (2 шт.)

Мультимедийный проектор, Mitsubishi EW330U, 3000 ANSI Lumen, 1280x800

Расширение для контроллера управления Extron IPL T CR48

Сетевая видеочамера Multipix MP-HD718

Сетевой контроллер управления Extron IPL T S4

Усилитель мощности, Extron XPA 2001-100V

Цифровой аудиопроцессор, Extron DMP 44 LC

Шкаф настенный 19" 7U, Abacom VSP-W960SG60

Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, 50 см черная кайма сверху, размер рабочей области 236x147 см

Лабораторные работы проводятся в компьютерном классе, в котором должно быть установлено:

– 15 моноблоков Lenovo C360G-i34164G500UDK с установленным стандартным программным обеспечением, доступом к сети Интернет.

– мультимедийный проектор OptimaEX542I – 1 шт;

– настенный экран;

– аудио усилитель QVC RMX 850 – 1 шт;

– колонки – 1 шт;

– ИБП – 1 шт;

– микрофон – 1 шт.

– документ-камера.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

по дисциплине «САД/САЕ-технологии»

Направление подготовки: 15.03.03 Прикладная механика

**Профиль подготовки: «Математическое и компьютерное моделирование
механических систем и процессов»**

Форма подготовки очная

**Владивосток
2016**

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

| № п/п | Дата/сроки выполнения | Вид самостоятельной работы | Примерные нормы времени на выполнение | Форма контроля |
|-------|------------------------|---|---------------------------------------|----------------|
| 1 | 1 - 3 недели семестра | Подготовка к устному опросу по разделу «Принципы функционирования CAD-CAE систем» | 12 час. | УО-1 |
| 2 | 4-6 недели семестра | Лабораторная работа «Моделирование изгиба металлической линейки в кольцо в ANSYS», самостоятельные задания | 12 час. | ПР-6 |
| 3 | 7-9 недели семестра | Подготовка к устному опросу по разделу «Методика реализации расчетных алгоритмов в системе MathCAD» | 12 час. | ПР-6 |
| 4 | 10 -12 недели семестра | Лабораторная работа «Растяжение пластины из гиперупругого материала в ANSYS», «Потеря устойчивости и критическое деформирование сжатого стержня», самостоятельные задания | 12 час. | УО-1 |
| 5 | 13 -15 недели семестра | Подготовка к устному опросу по разделу «Решение задач инженерного анализа методом конечных элементов в CAE-системах» | 12 час. | УО-1 |
| 6 | 16-18 недели семестра | Лабораторная работа «Упругопластический изгиб консольной балки в ANSYS», «Решение задач деформирования при больших деформациях с перестроением сетки конечных элементов (технология «rezoning»)), самостоятельные задания | 13 час. | ПР-6 |
| | 18 неделя | Подготовка к экзамену | 27 час | экзамен |
| | | Итого | 100 часов | |

Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению

Устные опросы

Устные опросы проводятся преподавателем по завершению изучения каждого раздела. Вопросы и задания приведены в приложении 2. Для подготовки используется основная и дополнительная литература по дисциплине «CAD/CAE технологии».

Лабораторные работы

Выполняются в соответствии с методическими указаниями к выполнению лабораторных работ.

Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы

Результатом самостоятельной работы студентов являются:

1. Теоретический материала, вынесенный на самостоятельное изучение. Проверяется преподавателем устным опросом.

3. Самостоятельные задания к лабораторным работам, реализованные необходимыми средствами пакета ANSYS и оформленные в соответствии со стандартами. Защита лабораторной работы осуществляется только после того, как выполнены все самостоятельные задания.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Самостоятельная работа студентов включает подготовку к устным опросам и выполнения самостоятельных заданий к лабораторным работам. Критерии оценки каждого вида работы приведены в приложении 2.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине «САД/САЕ технологии»
Направление подготовки: 15.03.03 Прикладная механика
Профиль подготовки: «Математическое и компьютерное моделирование
механических систем и процессов»
Форма подготовки очная

Владивосток
2016

Паспорт ФОС

| Код и формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции | |
|---|--------------------------------|---|
| ПК-2 способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности | Знает | - технологии объектно-ориентированного анализа и проектирования, методики концептуального проектирования и информационной поддержки этапов жизненного цикла промышленных изделий; -назначение, функции подсистем CAD, CAM, CAE; |
| | Умеет | использовать методики объектно-ориентированного анализа и проектирования систем и подсистем при разработке компонентов систем различного назначения |
| | Владеет | методами проектирования сложных технических систем с использованием средств CAD, CAM, CAE систем |
| ПК-3 готовностью выполнять научно-исследовательские работы и решать научно-технические задачи в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям | Знает | - возможности и перспективы автоматизации конструкторской и технологической подготовки производства в современных условиях машиностроения; - способы моделирования физических и технологических процессов на основе компьютерного моделирования деталей и сборочных единиц; - современные тенденции в области автоматизации машиностроения; |
| | Умеет | - применять на практике теоретические знания о моделировании физических и технологических процессов; - создавать трехмерные модели деталей и сборочных единиц |
| | Владеет | практическими навыками работы с системами автоматизированного проектирования для решения задачи проектирования машин и конструкций, отдельных узлов и агрегатов |
| ПК-13 готовностью участвовать в проектировании машин и конструкций с целью обеспечения их прочности, устойчивости, долговечности и безопасности, обеспечения надежности и износостойкости узлов и деталей машин | знает | методы и приемы разработки проектов по обеспечению прочности, устойчивости, долговечности, безопасности сооружений, машин и конструкций, надежности и износостойкости узлов и деталей машин. |
| | умеет | разрабатывать разделы проектов по обеспечению прочности, устойчивости, долговечности, безопасности машин и конструкций, надежности и износостойкости узлов и деталей машин , предлагать технические решения, использовать современные системы автоматизированного проектирования |

| Код и формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции | |
|--|--------------------------------|--|
| | владеет | навыками проектировочных и проверочных расчетов с использованием современных программных комплексов и систем автоматизированного проектирования. |
| ПК-14 готовностью участвовать в работах по технико-экономическим обоснованиям проектируемых машин и конструкций, по составлению отдельных видов технической документации на проекты, их элементы и сборочные единицы | Знает | правила оформления конструкторской документации в соответствии с ЕСКД |
| | Умеет | составлять техническую документацию на проектируемые машины и конструкции; |
| | Владеет | программными и аппаратными средствами, необходимыми для работы в CAD/CAM/CAE системах |

| № п/п | Контролируемые разделы / темы дисциплины | Коды и этапы формирования компетенций | Оценочные средства | |
|---|--|---------------------------------------|---|--------------------------|
| | | | текущий контроль | промежуточная аттестация |
| 1 | Принципы функционирования CAD-CAE систем | ПК-2 | Собеседование (УО-1) | Вопросы к экзамену |
| | | | | |
| | | | Знает: - технологии объектно-ориентированного анализа и проектирования, методики концептуального проектирования и информационной поддержки этапов жизненного цикла промышленных изделий; - назначение, функции подсистем CAD, CAM, CAE; | |
| Умеет: использовать методики объектно-ориентированного анализа и проектирования систем и подсистем при разработке компонентов систем различного назначения | | | | |
| Владеет: методами проектирования сложных технических | | | | |

| № п/п | Контролируемые разделы / темы дисциплины | Коды и этапы формирования компетенций | Оценочные средства | | |
|-------|--|---------------------------------------|---|----------------------------|--------------------|
| | | | текущий контроль | промежуточная аттестация | |
| | | | систем с использованием средств CAD, CAM, CAE систем | | |
| 2 | Методика реализации расчетных алгоритмов в системе MathCAD | ПК-3 | Знает: - возможности и перспективы автоматизации конструкторской и технологической подготовки производства в современных условиях машиностроения; - способы моделирования физических и технологических процессов на основе компьютерного моделирования деталей и сборочных единиц; - современные тенденции в области автоматизации машиностроения; | Собеседование (УО-1) | Вопросы к экзамену |
| | | | Умеет: - применять на практике теоретические знания о моделировании физических и технологических процессов; - создавать трехмерные модели деталей и сборочных единиц | Лабораторная работа (ПР-6) | Задачи к экзамену |
| | | | Владеет: практическими навыками работы с системами автоматизированного проектирования для решения задачи проектирования машин и конструкций, отдельных узлов и агрегатов | | |
| 3 | Решение задач инженерного анализа методом | ПК-13, ПК-14 | Знает: правила оформления конструкторской документации в соответствии с ЕСКД | Собеседование (УО-1) | Вопросы к экзамену |

| № п/п | Контролируемые разделы / темы дисциплины конечных элементов в САЕ-системах | Коды и этапы формирования компетенций | Оценочные средства | |
|-------|--|--|----------------------------|--------------------------|
| | | | текущий контроль | промежуточная аттестация |
| | | <p>Умеет: составлять техническую документацию на проектируемые машины и конструкции;</p> <p>Владеет: программными и аппаратными средствами, необходимыми для работы в CAD/CAM/CAE системах</p> | Лабораторная работа (ПР-6) | Вопросы к экзамену |

Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

| Код и формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции | | критерии | показатели |
|---|--------------------------------|--|--|---|
| ПК-2 способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности | Знает | - технологии объектно-ориентированного анализа и проектирования, методики концептуального проектирования и информационной поддержки этапов жизненного цикла промышленных изделий; -назначение, функции подсистем CAD, CAM, CAE; | - знание принципов объектно-ориентированного анализа и проектирования, методов концептуального проектирования и информационной поддержки этапов жизненного цикла промышленных изделий; - знание назначения, основных функций подсистем CAD, CAM, CAE; - знание особенностей компьютерного моделирования механических систем. | - способность сформулировать и описать основные принципы объектно-ориентированного анализа и проектирования, методы концептуального проектирования и информационной поддержки этапов жизненного цикла промышленных изделий; - способность сформулировать и объяснить основные функции подсистем CAD, CAM, CAE, а также подробно описать их назначение; - способность выявить и объяснить особенности компьютерного моделирования механических систем. |
| | Умеет | использовать методики объектно-ориентированного анализа и проектирования систем и подсистем при разработке | - умение применять на практике основные методы объектно-ориентированного анализа и проектирования систем и подсистем при разработке компонентов систем | - способность применять на практике основные методы объектно-ориентированного анализа и проектирования систем и подсистем при разработке компонентов систем различного назначения;- способность работать с |

| Код и формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции | | критерии | показатели |
|--|--------------------------------|---|--|---|
| | | компонентов систем различного назначения | различного назначения; - умение работать с системами CAD-CAE; | компьютерными систем системами CAD-CAE; |
| | Владеет | методами проектирования сложных технических систем с использованием средств CAD, CAM, CAE систем | - владение математическим аппаратом, необходимым при проектирования сложных технических систем с использованием средств CAD, CAM, CAE систем, - владение пакетам инженерного анализа, CAD/CAE/CAM системами. | - способность использовать математический аппарат, необходимый при проектирования сложных технических систем с использованием средств CAD, CAM, CAE систем, - способность применять пакеты инженерного анализа, CAD/CAE/CAM системы. |
| ПК-3 готовностью выполнять научно-исследовательские работы и решать научно-технические задачи в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям | Знает | - возможности и перспективы автоматизации конструкторской и технологической подготовки производства в современных условиях машиностроения; - способы моделирования физических и технологических процессов на основе компьютерного моделирования деталей и сборочных единиц; - современные тенденции в области автоматизации машиностроения; | - знание основных направлений и перспектив автоматизации конструкторской и технологической подготовки производства в современных условиях; - знание основных приемов компьютерного моделирования физических и технологических процессов; - знание современных тенденций в области автоматизации машиностроения | - способность выявить и объяснить перспективы конструкторской и технологической подготовки производства в современных условиях; - способность перечислить и подробно описать основные приемы компьютерного моделирования физических и технологических процессов; - способность сформулировать и раскрыть суть современных тенденций в области автоматизации машиностроения; |
| | Умеет | - применять на практике теоретические знания о моделировании физических и технологических процессов; - создавать трехмерные модели деталей и сборочных единиц | - умение использовать теоретические знания о моделировании физических и технологических процессов при решении задач профессиональной деятельности; - умение применять системы CAD-CAE для создания трехмерных модели деталей и сборочных | - способность использовать теоретические знания о моделировании физических и технологических процессов при решении задач профессиональной деятельности; - способность применять системы CAD-CAE для создания трехмерных модели деталей и сборочных единиц |

| Код и формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции | | критерии | показатели |
|--|--------------------------------|---|--|--|
| | | | единиц | |
| ПК-13 готовностью участвовать в проектировании машин и конструкций с целью обеспечения их прочности, устойчивости, долговечности и безопасности, обеспечения надежности и износостойкости узлов и деталей машин | Владеет | практическими навыками работы с системами автоматизированного проектирования для решения задачи проектирования машин и конструкций, отдельных узлов и агрегатов | - владение практическими навыками реализации нестандартных задач проектирования машин и конструкций, отдельных узлов и агрегатов средствами систем автоматизированного проектирования; | - способность реализовать нестандартные задачи проектирования машин и конструкций, отдельных узлов и агрегатов средствами систем автоматизированного проектирования; |
| | знает | методы и приемы разработки проектов по обеспечению прочности, устойчивости, долговечности, безопасности сооружений, машин и конструкций, надежности и износостойкости узлов и деталей машин. | - знание основных понятий, определений и нормативных актов составления проектной документации; | - способность сформулировать основные понятия и определения, описать нормативные акты составления проектной документации; |
| | умеет | разрабатывать разделы проектов по обеспечению прочности, устойчивости, долговечности, безопасности машин и конструкций, надежности и износостойкости узлов и деталей машин, предлагать технические решения, использовать современные системы автоматизированного проектирования | умение составлять техническую документацию на проектируемые машины и конструкции; | способность составлять техническую документацию на проектируемые машины и конструкции; |
| | владеет | навыками проектировочных и проверочных расчетов с использованием современных программных комплексов и систем | владение программными и аппаратными средствами, необходимыми для работы в CAD/CAM/CAE системах | способность свободно работать с программными и аппаратными средствами, необходимыми для работы в CAD/CAM/CAE системах |

| Код и формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции | | критерии | показатели |
|---|--------------------------------|---|--|--|
| | | автоматизированного проектирования. | | |
| ПК-14 готовностью участвовать в работах по технико-экономическим обоснованиям проектируемых машин и конструкций, по составлению отдельных видов технической документации на проекты, их элементы и сборочные единицы | Знает | правила оформления конструкторской документации в соответствии с ЕСКД | государственные стандарты и прочие нормативно-правовые документы в сфере профессиональной деятельности | приемы подбора научно-технической литературы; правила оформления конструкторской документации в соответствии с ЕСКД |
| | Умеет | составлять техническую документацию на проектируемые машины и конструкции; | собрать и проанализировать информацию, которая поможет выбрать нормативные показатели качества | оценивать уровень показателей качества, которые достижимы при доступных процессах, персонале, ресурсах, инфраструктуре и финансовых средствах в конкретных условиях производства |
| | Владеет | программными и аппаратными средствами, необходимыми для работы в CAD/CAM/CAE системах | методами и средствами оценки и анализа конструкторских решений, оценкой содержания технической и проектной документации. | способностью провести анализ технических решений и экономических обоснований предложенных решений при проектировании и создании объектов |

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Вопросы к экзамену

1. Определение CAD\CAM\CAE, их место в современном машиностроении.
2. Методы параметрического и ассоциативного проектирования.
3. Ключевые области CAD\CAM\CAE.
4. Важнейшие организационные технологии.
5. Текущее состояние новых информационных технологий в мировой индустрии.
6. Компьютерная поддержка инженерных расчетов.
7. CAE-системы низкого уровня.

8. САЕ-системы среднего уровня.
9. САЕ-системы высокого уровня.
10. Методы параметрического и ассоциативного компьютерного моделирования при 2D и 3D моделировании.
11. Твердотельное и каркасное моделирование.
12. Импорт и экспорт моделей из разных систем конструкторской подготовки производства.
13. Математическое ядро САД систем.
14. Суть (основная идея) метода конечных элементов.
15. Дискретизация расчетной области конструкции при расчете МКЭ.
16. Суть дискретной модели рассчитываемой конструкции по МКЭ.
17. Основные шаги общего алгоритма статического расчета по МКЭ.
18. Конечные элементы, их типы. Степени свободы конечного элемента.
19. Конечно-элементная расчетная схема.
20. Приведение нагрузки на систему к узловой.
21. Матрица жесткости конечного элемента. Ее структура. Связь между перемещениями узлов элемента и усилиями, действующими на них.
22. Смысл коэффициентов матрицы влияния изгибающих моментов.
23. Формулы вычисления элементов матрицы жесткости конечного элемента.
24. Формулы вычисления элементов матрицы геометрической жесткости конечного элемента.
25. Реализация алгоритма МКЭ в современных программных комплексах.
26. Препроцессор, процессор, постпроцессор, библиотеки конечных элементов.

Перечень типовых экзаменационных задач

Перечень типовых задач к экзамену

1. Триангулировать область, заданную уравнениями

$$1. t = 0, 2\pi; \quad x = (a + 1) + a * \cos(t); \quad y = (b + 1) + b * \sin(t);$$

$$2. t = 0, 1; \quad x = (2a + 2) * t; \quad y = 0;$$

$$3. t = 0, 1; \quad x = (2a + 2); \quad y = (2b + 2) * t;$$

$$4. t = 0, 1; \quad x = (2a + 2) * t, \quad y = (2b + 2);$$

$$5. t = 0, 1; \quad x = 0, \quad y = (2b + 2) * t;$$

где a — номер варианта, $b = 15 - a$.

2. Для заданного комплексного потенциала $w(z) = \varphi(x, y) + i\psi(x, y)$ построить действительную и мнимую часть. Построить векторное поле скорости по формуле:

$$\vec{v} = \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \varphi}{\partial y}.$$

а. $w(z) = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{1}{z};$

б. $w(z) = 10 \cdot z + \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{z};$

в. $w(z) = \frac{3}{2\pi} \cdot \ln(z);$

3. Создать элементарную функцию. Сделать триангуляцию области.

Астроида, $a = 2, b = 3,$

а.
$$\begin{cases} x(t) = a \cos^3(t), \\ y(t) = b \sin^3(t), \end{cases} \quad t \in [0, 2\pi].$$

Улитка Паскаля $a = 3, b = 4,$

$$\begin{cases} x(t) = 2a \cos^2(t) + b \cos(t), \\ y(t) = 2a \sin(t) \cos(t) + b \sin(t), \end{cases} \quad t \in [0, 2\pi].$$

б.

Принцип составления экзаменационного билета

Первый вопрос является теоретическим и предназначен для оценивания порогового уровня освоения дисциплины. Второй вопрос – представляет собой задание, которое необходимо выполнить на компьютере, в пакете в пакете ANSYS.

Образец экзаменационного билета

1. Математическое ядро CAD систем.
2. Триангулировать область, заданную уравнениями

$$t = 0, 2\pi; \quad x = (a + 1) + a * \cos(t); \quad y = (b + 1) + b * \sin(t);$$

где $a = 1$, $b = 15 - a$.

Критерии выставления оценки студенту на экзамене по дисциплине «CAD-CAE технологии»

| Баллы (рейтингово й оценки) | Оценка экзамена/заче та (стандартная) | Требования к сформированным компетенциям |
|-----------------------------------|--|---|
| 86-100 | «отлично»/ «зачтено» | Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил материал по CAD-CAE технологиям, применяемым к задачам проектирования изделий и оформления технической документации, свободно использует пакеты инженерного анализа для решения различных задач в области прикладной механики, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет применять метод конечных элементов к различным задачам, свободно справляется с вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, свободно использует пакеты инженерного анализа для выполнения различных расчетов, владеет различными навыками и приемами выполнения практических задач, связанных с применением CAE-систем в области моделирования нелинейных механических систем. |

| | | |
|-------|---------------------------------------|--|
| 76-85 | «хорошо»/ «зачтено» | Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он хорошо усвоил материал по по САD-CAE технологиям, применяемым к задачам проектирования изделий и оформления технической документации, может использовать пакеты инженерного анализа для решения стандартных задач в области прикладной механики, умеет применять метод конечных элементов к стандартным задачам, свободно справляется с вопросами и другими видами применения знаний, использует пакеты инженерного анализа для выполнения различных расчетов, владеет навыками выполнения практических задач, связанных с применением CAE-систем в области моделирования нелинейных механических систем. |
| 61-75 | «удовлетворительно»/ «зачтено» | Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он хорошо усвоил материал по основам САD-CAE технологий, применяемыми к задачам проектирования изделий и оформления технической документации, может использовать пакеты инженерного анализа для решения простых задач в области прикладной механики, владеет навыками выполнения практических задач, связанных с применением CAE-систем в области моделирования нелинейных механических систем. |
| 0-60 | «неудовлетворительно»/ «незачтено» | Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала по основам САD-CAE технологий, применяемым к задачам проектирования изделий и оформления технической документации, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические задания в пакетах инженерного анализа. Оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине |

.Оценочные средства для текущей аттестации

Типовые вопросы для устных опросов

1. Задачи, решаемые с помощью MathCAD.
4. Графический интерфейс пользователя: окна, меню.
5. Интерактивный и пакетный режимы работы.
6. Этапы решения задачи в MathCAD.
7. Запуск программы MathCAD и выход из неё.
8. Матрицы, матрица-вектор. Их описание в MathCAD
9. Операции над матрицами. Их реализация в MathCAD
11. Общие сведения о методе конечных элементов (МКЭ).
12. Разбиение исследуемого объекта на конечные элементы.

13. Степени свободы.
14. Аппроксимация с помощью функций формы.
15. Типы конечных элементов.
16. Разрешающие уравнения МКЭ.
17. Расчёт МКЭ ферм
18. Ферменный (одномерный) конечный элемент. Реализация в ANSYS.
19. Основные матрицы и соотношения при моделировании фермы.
20. Обоснование уравнений МКЭ путём рассмотрения равновесия узлов.
21. Свойства матрицы жёсткости.
22. Учёт граничных условий в перемещениях.
23. Расчёт МКЭ балок и рам.
24. Стержневой конечный элемент. Реализация в ANSYS.
25. Учёт не узловых сил, действующих на стержневой конечный элемент.
26. Основные матрицы и соотношения при моделировании рам.
27. Плоский (двухмерный) конечный элемент. Реализация в ANSYS.
28. Основные матрицы и соотношения при моделировании пластины.
29. Плоское напряжённое и плоское деформированное состояния.
30. Обоснование уравнений МКЭ на базе принципа возможных перемещений.
31. Приведение распределённых нагрузок к узловым.
32. Типы плоских конечных элементов. Реализация в ANSYS.
33. Трёхмерные конечные элементы. Реализация в ANSYS.
35. Типы объёмных конечных элементов. Реализация в ANSYS.
36. Осесимметричные конечные элементы. Реализация в ANSYS.
37. Основные матрицы и соотношения. при анализе МКЭ осесимметричных задач.
38. Способы построения геометрической модели: линии прямых и криволинейных, плоских и криволинейных поверхностей, объемов.
39. Задание свойств материалов: линейных и нелинейных.

40. Способы генерации сетки конечных элементов.

42. Виды прочностных расчетов, доступные в программе ANSYS.

Критерии оценки ответа на устных опросах:

✓ 100-85 баллов выставляется студенту, если его ответ показывает прочные знания основных положений изучаемого раздела дисциплины, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; студент показывает свободное владение терминологическим аппаратом; умение объяснять методы компьютерного моделирования, применять их к решению задач, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, описывать технологию применения пакетов инженерного анализа; обучающийся свободно владеет монологической речью, логичностью и последовательностью ответа.

✓ 85-76 баллов выставляется студенту, если его ответ, обнаруживает прочные знания основных положений изучаемого раздела дисциплины, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; обучающийся показывает владение терминологическим аппаратом; умение объяснять методы компьютерного моделирования, применять их к решению задач, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы; студент демонстрирует свободное владение монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

✓ 75-61 балл выставляется студенту, если его ответ, свидетельствует в основном о знании основных положений изучаемого раздела дисциплины, отличается недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками объяснения методов компьютерного моделирования, недостаточным умением давать аргументированные ответы и строить компьютерную модель решаемой задачи; студент недостаточно владеет монологической речью, логичностью и

последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа.

✓ 60-50 баллов выставляется студенту, если его ответ, обнаруживает незнание основных положений изучаемого раздела дисциплины, отличается неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками описывать решаемую задачу средствами компьютерной модели; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа.

Лабораторные работы по дисциплине «CAD-CAE технологии»

Типовая лабораторная работа

Лабораторная работа № 1. Моделирование изгибания металлической линейки в кольцо

Параметры задачи

| | |
|------------------------|--|
| Длина | $L=1$ м |
| Высота | $H=0.0005$ м |
| Ширина | $B=0.02$ м |
| Площадь сечения | $A=10^{-5}$ м² |
| Момент инерции сечения | $J_y=0.208 \cdot 10^{-12}$ м⁴ |
| Модуль упругости | $E=2 \cdot 10^{11}$ Па |

Граничные условия

| | |
|-------------------------|-----------|
| $x=0$ | заделка |
| $x=L$ | $M_z = M$ |

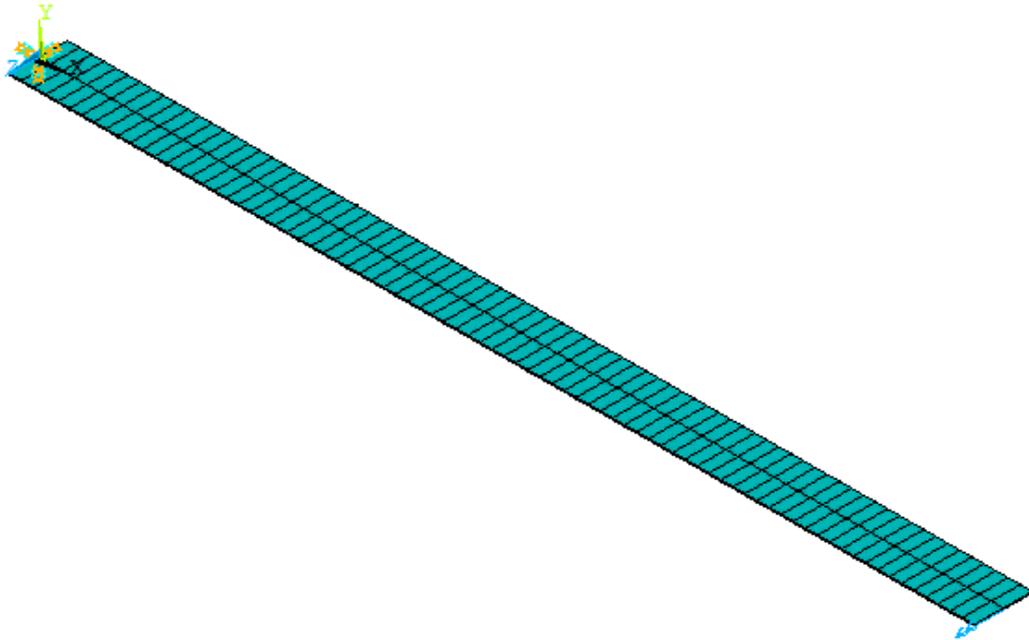


Рис. 1. Конечно-элементная модель гибкой линейки

Эта задача относится к нелинейным. Здесь мы имеем дело с конечными перемещениями, но малыми деформациями, а также линейными соотношениями между напряжениями и деформациями.

Выполнение работы:

Определим вначале величину изгибающего момента M_z , необходимую для того, чтобы согнуть линейку в кольцо. Если изначально прямую линейку изогнуть, то изгибающий момент в сечении связан с радиусом кривизны линейки формулой:

$$M_z = \frac{EJ}{R},$$

где R – радиус кривизны определяется из соотношения $2\pi R = L$. Подставляем значение радиуса кривизны, получаем:

$$M_z = \frac{2\pi EJ}{L}$$

В итоге при заданных параметрах получаем значение момента **$M=0.2613805088$ Н/м.**

Ниже приведена последовательность команд, позволяющая получить решение задачи в ANSYS. Приведена также последовательность пунктов меню, которые нужно выполнить для решения задачи.

| Команда | Описание | Команда интерфейса |
|--|--|--|
| /PREP7 | 1. Работа в препроцессоре. | Main Menu / Preprocessor |
| ET,1,BEAM188 | 2. Выбор балочного элемента. | Main Menu / Preprocessor / Element Type / Add/Edit/Delete / Add / Beam 2node 188 |
| MPTEMP,,,,,,,, MPTEMP,1,0 MPDATA,EX,1,,2e11 MPDATA,PRXY,1,,0.3 | 3. Определение упругих свойств материала. | Main Menu / Preprocessor / Material Props / Material Models / Structural / Linear / Elastic / Isotropic EX = 2e11, PRXY = 0.3 |
| SECTYPE, 1, BEAM, RECT, , 0 SECOFFSET, CENT SECDATA,0.02,0.0005, 0,0,0,0,0,0,0,0,0 | 4. Задание прямоугольного поперечного сечения. | Main Menu / Preprocessor / Sections / Beam / Common Sections B = 0.02, H = 0.0005 |
| K, ,,, K, ,1,, K, ,,0.1,, | 5. Создание ключевых точек. | Main Menu / Preprocessor / Create / KeyPoints / In Active CS X=0,Y=0 → Apply X=1,Y=0 → Apply X=0.1,Y=0 → OK |
| LSTR,1,2 | 6. Создание линии оси стержня. | Main Menu / Preprocessor / Create / Lines / In Active Coord Pick KeyPoint 1, Pick KeyPoint 2 → OK |
| FLST,5,1,4,ORDE,1 FITEM,5,1 CM,_Y,LINE LSEL, , , ,P51X CM,_Y1,LINE CMSEL,,_Y LESIZE,_Y1, , ,80, , , , ,1 | 7. Разбиение оси балки на 80 элементы. | Main Menu / Preprocessor / MeshTool / Line(Set) Pick Line 1 → OK Ndiv = 80 → OK |
| CM,_Y,LINE LSEL, , , , 1 CM,_Y1,LINE CMSEL,S,_Y CMSEL,S,_Y1 LATT,1,1, , 3, ,1 CMSEL,S,_Y CMDELE,_Y CMDELE,_Y1 | 8. Закрепление ориентационной точки. | Main Menu / Preprocessor / Mesh Attributes / Picked Lines Pick Line 1 → OK Pick Orientation Keypoint → Yes → OK Pick KeyPoint 3 → OK |
| LMESH, 1 | 9. Построение сетки. | Main Menu / Preprocessor / MeshTool / Mesh Pick Line 1 → OK |
| FINISH /SOL | 10. Завершение работы в препроцессоре. Переход в решатель. | Main Menu / Solution |

| Команда | Описание | Команда интерфейса |
|--|---|---|
| FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,1 /GO DK,P51X, , , 0,ALL, , , , , , | 11. Заделка в точке $x=0$. | Main Menu / Preprocessor / Loads / Apply / Displacement / On KeyPoints Pick KeyPoint 1 → OK Lab2 = ALL, Value = 0 → OK |
| *SET,M,0.2613805088 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,2 /GO FK,P51X,MZ,M | 12. Приложение момента $M_z=M$ в точке $x=L$. | Utility Menu / Parameters / Scalar Parameters M=0.2613805088 → Accept Main Menu / Solution / Apply / Force/Moment / On KeyPoints Pick KeyPoints 2 → OK Lab = MZ, Value = M → OK |
| ANTYPE,0 | 13. Выбор статического типа анализа. | Main Menu / Solution / Analysis Type Static → OK |
| NLGEOM,1 | 14. Выбор геометрически нелинейного расчёта | Main Menu / Solution / Analysis Type / Sol'n Controls / Basic Analysis Options → Large Displacement Static |
| OUTRES,ERASE OUTRES,ALL,ALL | 15. Параметр сохранения результатов подшагов. | Main Menu / Solution / Analysis Type / Sol'n Controls / Basic Frequency → Write every substep |
| NEQIT,100 | 16. Максимальное число итераций на подшаге. | Main Menu / Solution / Analysis Type / Sol'n Controls / Nonlinear Maximum number of iteration = 100 |
| TIME,1 | 17. Условное время окончания шага. | Main Menu / Solution / Analysis Type / Sol'n Controls / Basic Time at end of loadstep = 1 → OK |
| SOLVE FINISH | 18. Решение задачи. | Main Menu / Solution / Current LS / OK |
| /POST1 /EFACET,1 PLNSOL, U,SUM, 0,1.0 | 19. Отрисовка полученного результата. Суммарная деформация линейки. | Main Menu / General Postproc / Plot Results / Contour Plot / Nodal Solu Nodal Solution / DOF Solution / Displacement vector sum → OK |

В результате получим кольцо, представленное на рис. 2 ниже.

Для объёмного изображения была применена команда **Utility Menu / PlotCtrls / Style / Size and Shape / [/ESHAPE] → On → OK**

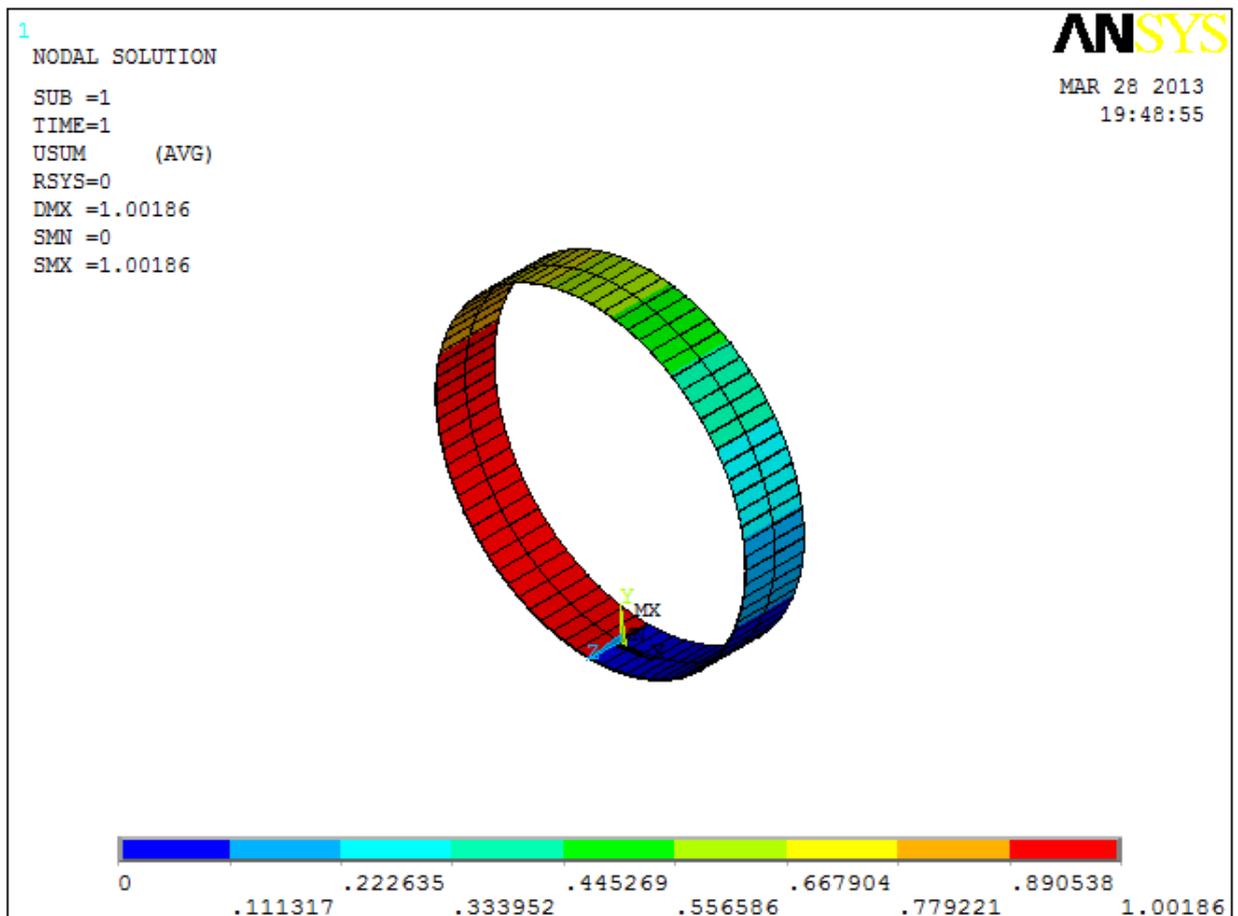


Рис. 2. Итоговая форма линейки после деформации.

Вопросы и задания по работе.

1. Приведите подходящий для задачи вариант соотношений «деформации-перемещения».
2. Продемонстрируйте последовательность промежуточных состояний равновесия.
3. Постройте анимацию деформирования линейки в кольцо.
4. Постройте графики зависимости максимальных напряжений и деформаций от времени процесса
5. Постройте зависимость изгибающего момента от текущего радиуса кривизны кольца.

Критерии оценки лабораторной работы

✓ 10-8 баллов выставляется студенту, если он выполнил все задания лабораторной работы, в том числе и самостоятельные. Фактических ошибок,

связанных с пониманием проблемы, нет; все изучаемые инструменты CAD-CAE технологий используются верно. При защите студент отвечает на все вопросы преподавателя.

✓ 7-6 баллов – работа выполнена полностью; студент выполнил все предложенные в лабораторной работе задания, не реализовано одно самостоятельное; все изучаемые инструменты CAD-CAE технологий используются верно. При защите студент отвечает на все вопросы преподавателя.

✓ 5-4 балла – работа выполнена полностью. Два самостоятельных задания не; часть инструментов CAD-CAE технологий используется не верно. При защите студент не отвечает на 1-2 вопроса преподавателя.

✓ 1-3 балла – работа выполнена не полностью. Самостоятельные задания не выполнены или студент демонстрирует слабое владение инструментами CAD-CAE технологий. При защите студент не отвечает более, чем на 2 вопроса преподавателя.