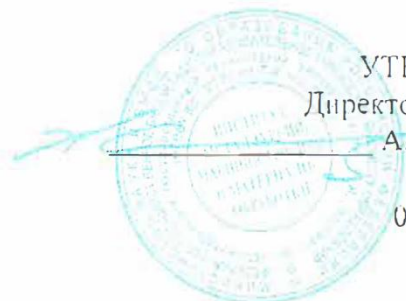




МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИММиМ
А.С. Савинов

09.02.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

***МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ***

Направление подготовки (специальность)
15.03.01 Машиностроение

Направленность (профиль/специализация) программы
Системная инженерия в машиностроении

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения
очная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалообработки
Кафедра	Машины и технологии обработки давлением и машиностроения
Курс	2
Семестр	4

Магнитогорск
2023 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение (приказ Минобрнауки России от 09.08.2021 г. № 727)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Машины и технологии обработки давлением и машиностроения

26.01.2023, протокол № 5

Зав. кафедрой  С.И. Платов

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ

09.02.2023 г. протокол № 5

Председатель  А.С. Савинов


Рабочая программа составлена:

доцент кафедры МиТОДиМ, канд. техн. наук

 Р.Н. Амиров

Рецензент:

доцент кафедры Механики, канд. техн. наук

 М.В. Харченко

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Машин и технологии обработки давлением и

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ С.И. Платов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Машин и технологии обработки давлением и

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ С.И. Платов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Машин и технологии обработки давлением и

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ С.И. Платов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Машин и технологии обработки давлением и

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ С.И. Платов

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Цель изучения дисциплины – освоение системы общих принципов, положений, методов, излагаемых в данной дисциплине, и в приобретении практических навыков моделирования сложных пространственных объектов, а также формировании базовых знаний о номенклатуре и возможностях оборудования, используемого для методов быстрого прототипирования, особенностях его применения, истории возникновения и перспективах использования в современных машиностроительных производствах.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Моделирование и прототипирование сложных пространственных объектов входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Прикладная механика

Начертательная геометрия и компьютерная графика

Инженерное проектирование механизмов и машин с использованием систем автоматизированного проектирования

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Автоматизация, робототехника и гибкие производственные системы в машиностроительной отрасли

Контроль качества и диагностирование в машиностроении

Технологии и оборудование для обработки материалов давлением

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Моделирование и прототипирование сложных пространственных объектов» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-4	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности;
ОПК-4.1	Осуществляет поиск, анализ и синтез информации с использованием информационных технологий
ОПК-4.2	Применяет технологии обработки данных, выбора данных по критериям; строит типичные модели решения предметных задач по изученным образцам
ОПК-4.3	Использует современные информационные технологии для решения задач профессиональной деятельности

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц 144 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 75,2 акад. часов;
- аудиторная – 72 акад. часов;
- внеаудиторная – 3,2 акад. часов;
- самостоятельная работа – 33,1 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;
- подготовка к экзамену – 35,7 акад. час

Форма аттестации - экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1.								
1.1 Введение. Цели и задачи моделирования и прототипирования сложных пространственных объектов использованием программных продуктов.	4	4	6		4,2	Изучение материалов лекций и выполнение КР.	Контрольная работа	ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3
Итого по разделу		4	6		4,2			
2.								
2.1 Метод конечных элементов. Преимущества и недостатки. История развития метода. Системы анализа, основанные на методе. Программное обеспечение,	4	4	6	10	14,45	Изучение материалов лекций и подготовка к практическому занятию. Выполнение домашнего задания	Аудиторная контрольная работа. Домашнее задание.	ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3
Итого по разделу		4	6	10	14,45			
3.								
3.1 Характеристики объектов моделирования	4	4	6	8	14,45	Изучение материалов лекций и подготовка реферата	Реферат	ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3
Итого по разделу		4	6	8	14,45			
4.								
4.1 Обработка и интерпретация результатов моделирования.	4	2		8		Изучение материалов лекций и выполнение КР.	Реферат	ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3
Итого по разделу		2		8				
5.								

5.1 экзамен	4	4		10				ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3
Итого по разделу		4		10				
Итого за семестр		18	18	36	33,1		экзамен	
Итого по дисциплине		18	18	36	33,1		экзамен	

5 Образовательные технологии

1. Традиционные образовательные технологии ориентируются на организацию образовательного процесса, предполагающую прямую трансляцию знаний от преподавателя к студенту (преимущественно на основе объяснительно-иллюстративных методов обучения). Учебная деятельность студента носит в таких условиях, как правило, репродуктивный характер.

Формы учебных занятий с использованием традиционных технологий:

Информационная лекция – последовательное изложение материала в дисциплинарной логике, осуществляемое преимущественно вербальными средствами (монолог преподавателя).

Семинар – беседа преподавателя и студентов, обсуждение заранее подготовленных сообщений по каждому вопросу плана занятия с единым для всех перечнем рекомендуемой обязательной и дополнительной литературы.

Практическое занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по предложенному алгоритму.

Лабораторная работа – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с аналоговыми моделями реальных объектов.

2. Технологии проблемного обучения – организация образовательного процесса, которая предполагает постановку проблемных вопросов, создание учебных проблемных ситуаций для стимулирования активной познавательной деятельности студентов.

Формы учебных занятий с использованием технологий проблемного обучения:

Практическое занятие в форме практикума – организация учебной работы, направленная на решение комплексной учебно-познавательной задачи, требующей от студента применения как научно-теоретических знаний, так и практических навыков.

Практическое занятие на основе кейс-метода – обучение в контексте моделируемой ситуации, воспроизводящей реальные условия научной, производственной, общественной деятельности. Обучающиеся должны проанализировать ситуацию, разобраться в сути проблем, предложить возможные решения и выбрать лучшее из них. Кейсы базируются на реальном фактическом материале или же приближены к реальной ситуации.

4. Интерактивные технологии – организация образовательного процесса, которая
Формы учебных занятий с использованием специализированных интерактивных технологий:

Лекция «обратной связи» – лекция-провокация (изложение материала с заранее за-планированными ошибками), лекция-беседа, лекция-дискуссия, лекция-прессконференция.

Семинар-дискуссия – коллективное обсуждение какого-либо спорного вопроса, проблемы, выявление мнений в группе (межгрупповой диалог, дискуссия как спор-диалог).

5. Информационно-коммуникационные образовательные технологии – организация образовательного процесса, основанная на применении специализированных программных сред и технических средств работы с информацией.

Формы учебных занятий с использованием информационно-коммуникационных технологий:

Лекция-визуализация – изложение содержания сопровождается презентацией (де-монстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических, аудио- и видеоматериалов).

Практическое занятие в форме презентации – представление результатов проект-ной или исследовательской деятельности с использованием специализированных программных сред.

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

1. Моделирование систем и процессов. Практикум : учебное пособие для вузов / В. Н. Волкова [и др.] ; под редакцией В. Н. Волковой. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 295 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01442-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <http://www.biblio-online.ru/bcode/451288> (дата обращения: 19.10.2020).

2. Зализняк, В. Е. Введение в математическое моделирование : учебное пособие для среднего профессионального образования / В. Е. Зализняк, О. А. Золотов. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 133 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-13307-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/518822> (дата обращения: 25.05.2023).

б) Дополнительная литература:

1. Математические методы в инженерии : учебное пособие / А. А. Кальченко, К. Г. Пащенко ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - На обор. тит. л. авт. указаны как сост. - Текст : электронный.

2. Компьютерные технологии в машиностроении : учебное пособие / А. А. Кальченко ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Текст : электронный.

в) Методические указания:

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
MathCAD v.15 Education University Edition	Д-1662-13 от 22.11.2013	бессрочно
MathWorks MathLab v.2014 Classroom License	К-89-14 от 08.12.2014	бессрочно
Maple 14 Classroom License	К-113-11 от 11.04.2011	бессрочно
Autodesk Architecture 2011 Master Suite	К-526-11 от 22.11.2011	бессрочно

Autodesk AutoCad 2011 Master Suite	К-526-11 от 22.11.2011	бессрочно
АСКОН Компас 3D в.16	Д-261-17 от 16.03.2017	бессрочно
APM WinMachine 2010	Д-262-12 от 15.02.2012	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: http://www1.fips.ru/
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: http://window.edu.ru/
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	https://dlib.eastview.com/

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Лаборатория резки и сварки: Программируемые станки (с ЧПУ).

Машины универсальные испытательные на растяжение, сжатие, скручивание.

Мерительный инструмент.

Приборы для измерения твердости по методам Бринелля и Роквелла.

Микротвердомер измерения твердости по Виккерсу.

Печи термические.

Микроскопы МИМ-6, МИМ-7.

Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации

Компьютерные классы с соответствующим ПО.

Плакаты по первичным преобразователям (лаборатория каф. МиТОДиМ)

Датчики (лаборатория каф. МиТОДиМ).

Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации; видеопроектор, экран настенный, компьютер; тестовые задания для текущего контроля успеваемости

Комплект печатных и электронных версий методических рекомендаций, учебное пособие, плакаты по темам «Автоматизация производственных процессов в машиностроении». Оборудование для обработки резкой. Образцы машиностроительных материалов и образцы из специальных сталей и сплавов

Комплект методических рекомендаций, учебное пособие, плакаты по темам «Автоматизация сварочных процессов»

1. Машины универсальные испытательные на растяжение, сжатие, скручивание.

2. Мерительный инструмент.

3. Приборы для измерения твердости по методам Бринелля и Роквелла.

4. Микротвердомер.

5. Печи термические.

Микроскопы МИМ-6, МИМ-7.

Доска, мультимедийный проектор, экран

Персональные компьютеры с пакетом MS Office и выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета

Стеллажи, сейфы для хранения учебного оборудования

Инструменты для ремонта лабораторного оборудования

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

По дисциплине «Моделирование и прототипирование сложных пространственных объектов» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Самостоятельная работа студентов предполагает решение задач, подготовку рефератов.

Примерные задания для самостоятельного решения:

Реферат. Подготовьте обзор на тему (примерные темы):

Моделирование линии охлаждения прокатываемой полосы

Задачи для аудиторной работы

1. Выведите из зависимостей критерии подобия для указанного процесса. Примените энергетический подход для составления модели в МКЭ для указанного процесса.

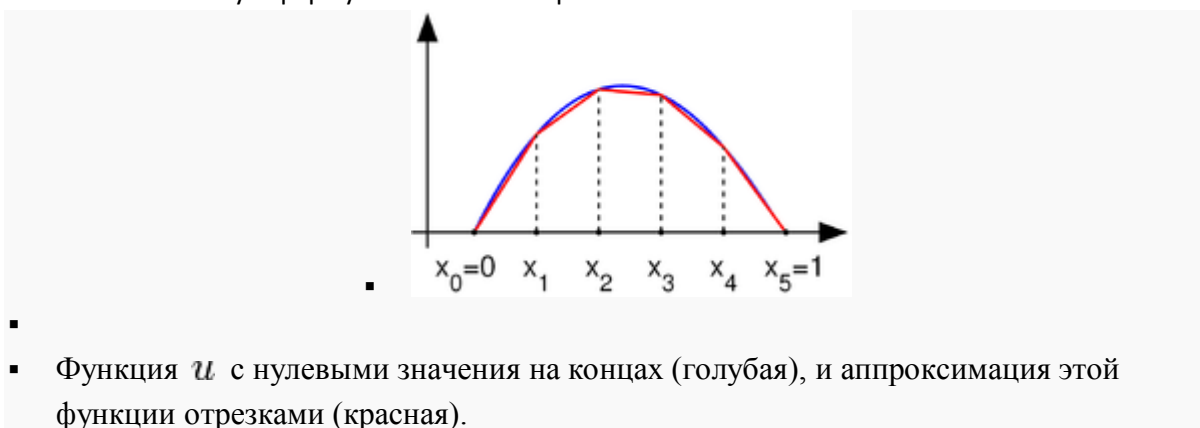
2. Решить следующее одномерное дифференциальное уравнение

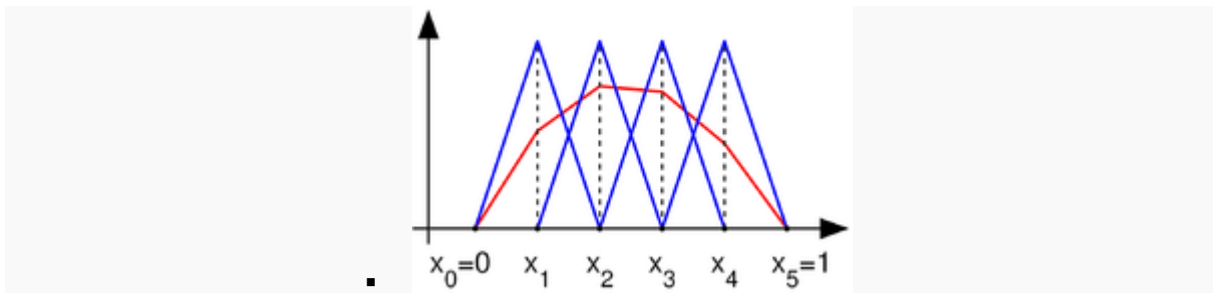
В одномерном пространстве $P1$ определено следующее одномерное дифференциальное уравнение для нахождения функции u на промежутке от 0 до 1. На границах области, значение функции u равно 0:

$$P1 : \begin{cases} u''(x) = f(x) \text{ in } (0, 1), \\ u(0) = u(1) = 0, \end{cases}$$

где f известная функция, u неизвестная функция от x . u'' вторая производная от u по x . Решение поставленной задачи методом конечных элементов разобьём на 2 этапа:

- Переформулировать граничную задачу в так называемую слабую (вариационную) форму. На этом этапе вычислений почти не требуется.
- Разбить слабую форму на конечные отрезки-элементы.





3. Получите законы движения физической системы по заданным уравнениям

1. В задании уравнения полных кинетической и потенциальной энергий.
2. Продифференцировать уравнения в символьном виде с помощью математического пакета.
3. Получить дифференциальные уравнения движения.
3. Решить дифференциальные уравнения движения с помощью математического пакета.
4. Представить результат в виде уравнения зависимости перемещений от времени и графиков перемещений.
5. Показать возможные примеры реальных систем с подобными уравнениями

function $Q_r = f(Q_r, T, U, Q_r, \dots$

q_1, q_2, q_3, \dots

v_1, v_2, v_3, \dots

a_1, a_2, a_3, \dots

$m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6$

% Компоненты уравнения Лагранжа

$dT_d_dqdt = \text{diff}(T, v_1) + \text{diff}(T, v_2) + \text{diff}(T, v_3)$

% При дифференцировании по скоростей dqdt по времени t получим ускорения

% ddqdt, т.е. заменим скорости dqdt ускорениями ddqdt

$ddT_d_dqdt_dt = \text{diff}(dT_d_dqdt, v_1) \cdot a_1 \dots$

$+ \text{diff}(dT_d_dqdt, v_2) \cdot a_2 \dots$

$+ \text{diff}(dT_d_dqdt, v_3) \cdot a_3$

$dT_dq = \text{diff}(T, q_1) + \text{diff}(T, q_2) + \text{diff}(T, q_3)$

$dU_dq = \text{diff}(U, q_1) + \text{diff}(U, q_2) + \text{diff}(U, q_3)$

$Q_r = ddT_d_dqdt_dt - dT_dq + dU_dq;$

Задачи для самостоятельного решения.

1. Получите смешанную форму зависимостей между силами и перемещениями для балочного элемента (см. (2.3)).
2. Для заданной матрицы податливости балочного элемента проверьте, что величина дополнительной энергии деформации равна аналогичной энергии для свободно опертого элемента.

$$\begin{Bmatrix} F_2 \\ M_1 \end{Bmatrix} = \frac{L}{6EI} \begin{bmatrix} 2L^2 & -3L \\ -3L & 6 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} w_2 \\ \theta_1 \end{Bmatrix}.$$

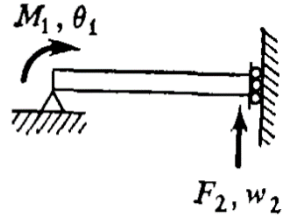


Рис. P2.2.

3. Ниже вписана матрица податливости для треугольного пластинчатого элемента, находящегося в плоском напряженном состоянии (рис. P2.3). Вычислите матрицу жесткости элемента и проверьте правильность полученного результата, сравнивая ее с матрицей жесткости, показанной на рис. 5.4.

$$\begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix} = \frac{2}{Etx_2y_3} \begin{bmatrix} x_2^2 & x_2x_3 & -\mu x_2y_3 \\ x_2x_3 & 2(1+\mu)y_3^2 + x_3^2 & -\mu x_2y_3 \\ -\mu x_2y_3 & -\mu x_2y_3 & y_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{x_1} \\ F_{x_2} \\ F_{y_1} \end{Bmatrix}$$

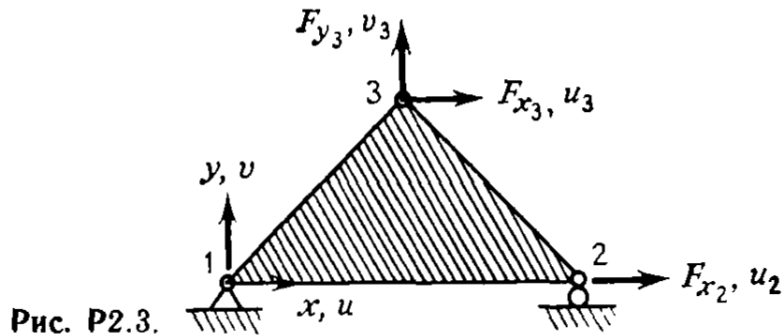


Рис. P2.3.

$$[k] = \frac{Et}{2(1-\mu^2)x_2y_3} \begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 & v_1 & v_2 & v_3 \\ \begin{matrix} y_3^2 + \gamma_1 x_3^2 - 2 \\ -y_3^2 - \gamma_1 x_3 x_{3-2} \\ \gamma_1 x_2 x_{3-2} \\ -\gamma_2 y_3 x_{3-2} \\ \mu x_3 y_3 + \gamma_1 y_3 x_{3-2} \\ -\mu x_2 y_3 \end{matrix} & \begin{matrix} y_3^2 + \gamma_1 x_3^2 \\ -\gamma_1 x_2 x_3 \\ \mu y_3 x_{3-2} + \gamma_1 x_3 y_3 \\ -\gamma_2 x_3 y_3 \\ \mu x_2 y_3 \end{matrix} & \begin{matrix} \gamma_1 x_2^2 \\ -\gamma_1 x_2 y_3 \\ \gamma_1 x_2 y_3 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} \gamma_1 y_3^2 + x_{3-2}^2 \\ \gamma_1 y_3^2 + x_3^2 \\ x_2 x_{3-2} \end{matrix} & \begin{matrix} x_{3-2}^2 \\ -x_2 x_3 \\ x_2^2 \end{matrix} & \text{(Симметрично)} \\ \end{bmatrix}$$

где

$$\gamma_1 = \frac{1-\mu}{2}, \quad \gamma_2 = \frac{1+\mu}{2}$$

$$x_{3-2} = x_3 - x_2$$

$$y_{3-2} = y_3 - y_2$$

Рис. 5.4. Матрица жесткости изотропного плоско-напряженного треугольного элемента с постоянной деформацией внутри элемента.

4. Ниже приводится матрица податливости для треугольного элемента при —о Докажите, что величина дополнительной энергии деформации совпадает с аналогичной энергией, отвечающей матрице податливости в задаче 2.3.

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \frac{2}{Et x_2 y_3} \begin{bmatrix} (x_2)^2 & & & \\ \frac{\mu x_2^2 y_3}{x_{3-2}} & & & \\ \frac{\mu x_2 y_3^2}{x_{3-2}} - x_2 x_{3-2} & & & \\ & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (x_2)^2 & & & \\ \frac{y_3^2 x_2^2}{(x_{3-2})^2} & & & \\ -\mu x_2 y_3 + \frac{y_3^3 x_2}{(x_{3-2})^2} & & & \\ & & & 2y_3^2 + \frac{x_{3-2}^4 + y_3^4}{(x_{3-2})^2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{x_1} \\ F_{y_1} \\ F_{x_3} \end{Bmatrix}$$

$(x_{3-2}) = (x_3 - x_2)$

5. Матрицу податливости консольной балки, изображенной на рис. 2.8(с), можно модифицировать так, чтобы учесть эффект влияния поперечных сдвиговых деформаций. Это можно осуществить путем прибавления $L/A_s G$ коэффициентам податливости, связывающим ω_1 и $F_{\tau 1}$, т. е. $[f_{11}] = (L^3/3EI + L/A_s G)$, где A_s — эффективная площадь сдвига (эквивалентная площадь постоянного по величине сдвигового напряжения, которая приводит к той же суммарной величине сдвигового усилия, что и получаемое по балочной теории распределение сдвиговых напряжений в реальном поперечном сечении), а G — модуль сдвига. Вычислите соответствующую матрицу жесткости элемента.

6. Матрица податливости искривленной балки, нагруженной в ее плоскости, приведена на рис. P2.6. Постройте матрицу жесткости элемента.

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 R \end{Bmatrix} = \frac{R^2}{EI} \begin{bmatrix} \frac{3\beta}{2} - 2 \sin \beta + \frac{\sin 2\beta}{4} & \text{(Симметрично)} & \\ \cos \beta + \frac{\sin^2 \beta}{2} - 1 & \frac{\beta}{2} - \frac{\sin 2\beta}{4} & \\ \beta - \sin \beta & \cos \beta - 1 & \beta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_1 R \\ Q_1 R \\ M_1 \end{Bmatrix}$$

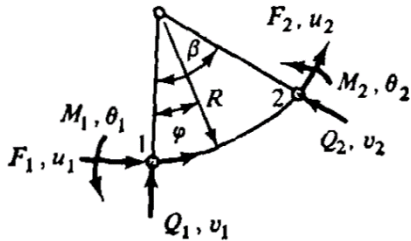


Рис. P2.6.

7. Постройте матрицу [R], отвечающую равновесию изогнутого балочного элемента, лежащего в плоскости $x - y$, как показано на рис. P2.7.

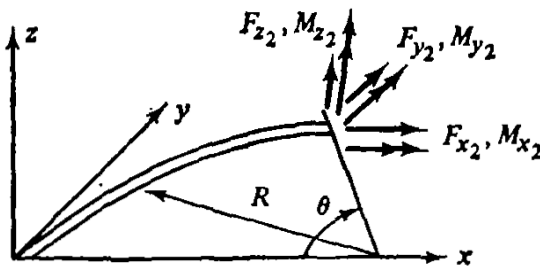


Рис. P2.7.

8. Проверьте выполнение условий равновесия для третьего и четвертого столбцов матрицы жесткости треугольного элемента, находящегося в плоском напряженном состоянии (см. рис. 5.4).

9. Проверьте выполнение условий равновесия для первого и шестого столбцов матрицы жесткости прямоугольного элемента, находящегося в плоском напряженном состоянии (см. рис. 9.13).

10. Проверьте выполнение условий равновесия для первых двух столбцов матрицы жесткости прямоугольного пластинчатого элемента при изгибе, представленной в табл. 12.1.

11. На рис. P2.11 приведена матрица жесткости трехузлового стержневого элемента. Осуществите конденсацию этого представления и получите систему уравнений жесткости для u_1 и u_3 .

$$\begin{Bmatrix} F_{x1} \\ F_{x2} \\ F_{x3} \end{Bmatrix} = \frac{AE}{6L} \begin{bmatrix} 7 & 1 & -8 \\ 1 & 7 & -8 \\ -8 & -8 & 16 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix}$$

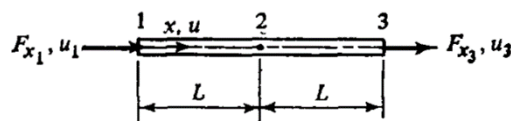


Рис. P2.11.

12. Матрица жесткости треугольного пластинчатого элемента, находящегося в плоском напряженном состоянии, задана в координатных осях (x', y') , причем $\{F\} = (k)\{\Delta\}$, где

$$\{\Delta\} = [u'_1 \ u'_2 \ u'_3 \ v'_1 \ v'_2 \ v'_3]$$

Для изображенного на рис. P2.12 элемента постройте матрицу преобразования к осям (x', y', z') глобальной системы координат.

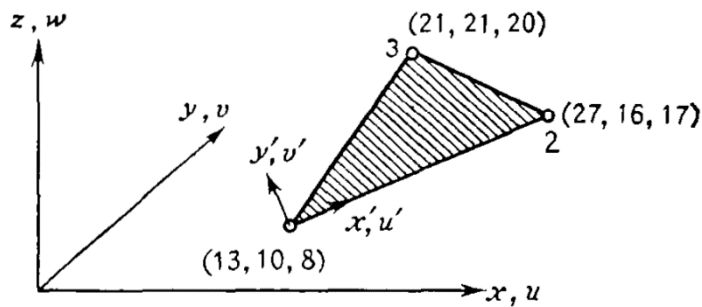


Рис. P2.12.

13. Вычислите собственные значения и собственные векторы матрицы жесткости для простого изгибаемого элемента и интерпретируйте результат с точки зрения движения тела как твердого целого.
14. Докажите закон Бетти, разбивая матрицу податливости конструкции и используя теорему взаимности.
15. В разд. 2.8 было отмечено, что конденсация матрицы жесткости означает удовлетворение условиям равновесия, отвечающим исключенным перемещениям. Обсудите смысл конденсации матрицы податливости.
16. Матрица жесткости стержневого элемента $[k]$ построена в ортогональных осях x и y и должна быть преобразована к косоугольной системе координат x', y' . Постройте преобразованную матрицу жесткости.

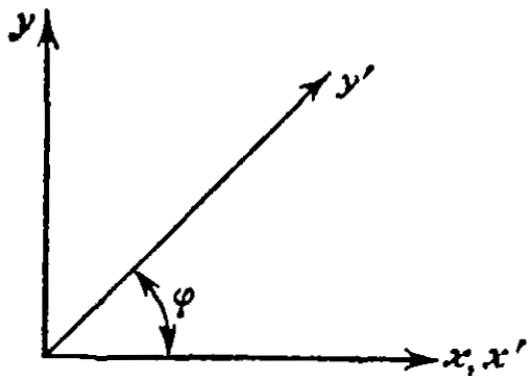


Рис. P2.16.

Вопросы к экзамену:

1. Назовите основные этапы алгоритма построения аналитической модели.
2. Назовите основные этапы алгоритма построения эмпирической модели.
3. Расскажите о различиях в алгоритмах построения аналитической и эмпирической моделей.
4. Назовите источники априорной информации.

5. Что является результатом анализа априорной информации?
6. Какие требования предъявляются к входным и выходным факторам?
7. Что такое критерий оптимизации?
8. Перечислите виды критериев оптимизации.
9. Что такое ранг?
10. Что такое формализация?
11. Что такое интерпретация?
12. Что такое эксперимент?
13. Что такое планирование эксперимента?
14. Обозначьте цели планирования эксперимента.
15. Что такое опыт?
16. Какие виды экспериментов существуют?
17. Что такое план эксперимента?
18. Что такое нулевой уровень фактора? Как он выбирается?
19. Что такое интервал варьирования? Как он выбирается?
20. Что такое полный факторный эксперимент?
21. Что такое матрица планирования эксперимента?
22. Назовите свойства матрицы полного факторного эксперимента.
23. Что такое дробная реплика?
24. Что такое рандомизация? Какова цель проведения рандомизации?
25. Что такое экстремальный эксперимент?
26. Что такое интерполяционный эксперимент?
27. Что такое многофакторная линейная регрессия?
28. Как оценивается точность многофакторной линейной регрессионной модели?
29. Как оценивается адекватность многофакторной линейной регрессионной модели?
30. Какие значения может принимать множественный коэффициент корреляции?
31. Что такое нелинейные модели с «внутренней линейностью»?
32. Какие бывают нелинейные модели с «внутренней линейностью»?
33. Что такое нелинейные модели с «внутренней нелинейностью»?
34. Обозначьте основные этапы метода включения переменных.
35. Что такое корреляционная матрица?
36. Что такое частный критерий Фишера для входной переменной? Что он характеризует?
37. Обозначьте основные этапы метода исключения переменных.
38. Что такое интерпретация модели?
39. Для чего выполняется интерпретация модели?
40. Обозначьте этапы интерпретации модели. Что такое градиент функции?
41. Почему при отыскании максимума критерия оптимизации можно перемещаться по градиенту?
42. Что делать, если не удалось решить задачу оптимизации для исследуемого объекта

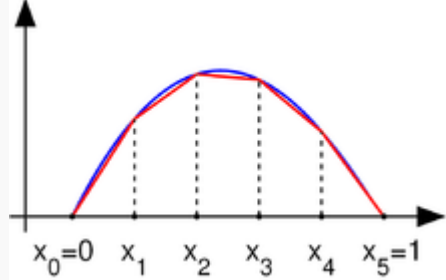
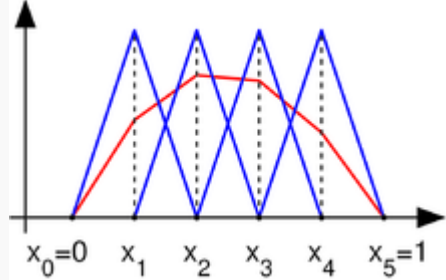
Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

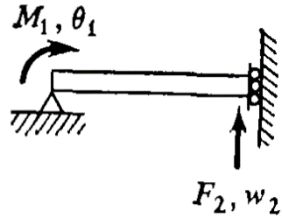
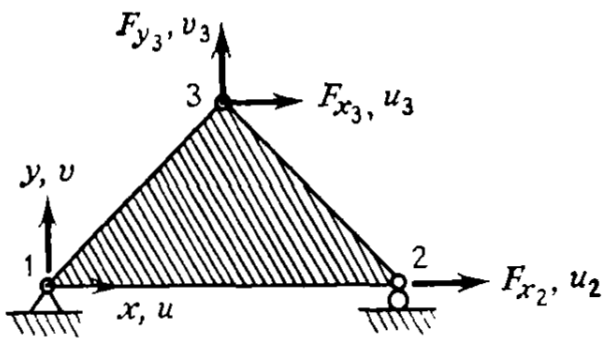
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ОПК-4: Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности		
ОПК-4.1	Осуществляет поиск, анализ и синтез информации с использованием информационных технологий	<p>Вопросы к экзамену:</p> <p>Назовите основные этапы алгоритма построения аналитической модели.</p> <p>Назовите основные этапы алгоритма построения эмпирической модели.</p> <p>Расскажите о различиях в алгоритмах построения аналитической и эмпирической моделей.</p> <p>Назовите источники априорной информации.</p> <p>Что является результатом анализа априорной информации?</p> <p>Какие требования предъявляются к входным и выходным факторам?</p> <p>Что такое критерий оптимизации?</p> <p>Перечислите виды критериев оптимизации.</p> <p>Что такое ранг?</p> <p>Что такое формализация?</p> <p>Что такое интерпретация?</p> <p>Что такое эксперимент?</p> <p>Что такое планирование эксперимента?</p> <p>Обозначьте цели планирования эксперимента.</p> <p>Что такое опыт?</p> <p>Какие виды экспериментов существуют?</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>Что такое план эксперимента?</p> <p>Что такое нулевой уровень фактора? Как он выбирается?</p> <p>Что такое интервал варьирования? Как он выбирается?</p> <p>Что такое полный факторный эксперимент?</p> <p>Что такое матрица планирования эксперимента?</p> <p>Назовите свойства матрицы полного факторного эксперимента.</p> <p>Что такое дробная реплика?</p> <p>Что такое рандомизация? Какова цель проведения рандомизации?</p> <p>Что такое экстремальный эксперимент?</p> <p>Что такое интерполяционный эксперимент?</p> <p>Что такое многофакторная линейная регрессия?</p> <p>Как оценивается точность многофакторной линейной регрессионной модели?</p> <p>Как оценивается адекватность многофакторной линейной регрессионной модели?</p> <p>Какие значения может принимать множественный коэффициент корреляции?</p> <p>Что такое нелинейные модели с «внутренней линейностью»?</p> <p>Какие бывают нелинейные модели с «внутренней линейностью»?</p> <p>Что такое нелинейные модели с «внутренней нелинейностью»?</p> <p>Обозначьте основные этапы метода включения переменных.</p> <p>Что такое корреляционная матрица?</p> <p>Что такое частный критерий Фишера для входной переменной? Что он характеризует?</p> <p>Обозначьте основные этапы метода исключения переменных.</p> <p>1. Что такое интерпретация модели?</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>Для чего выполняется интерпретация модели?</p> <p>Обозначьте этапы интерпретации модели. Что такое градиент функции?</p> <p>Почему при отыскании максимума критерия оптимизации можно перемещаться по градиенту?</p> <p>Что делать, если не удалось решить задачу оптимизации для исследуемого объекта?</p>
ОПК-4.2	<p>Применяет технологии обработки данных, выбора данных по критериям; строит типичные модели решения предметных задач по изученным образцам</p>	<p>Реферат. Подготовьте обзор на тему (примерные темы):</p> <p> Моделирование образования напряжений при сварке.</p> <p> Снижение размерности задач, на примере _____.</p> <p> Моделирование технологического процесса электродуговой сварки _____</p> <p> и т.д.</p> <p>Аудиторные задания:</p> <p>4. Выведите из зависимостей критерии подобия для указанного процесса.</p> <p> Примените энергетический подход для составления модели в МКЭ для указанного процесса.</p> <p>5. Решить следующее одномерное дифференциальное уравнение</p> <p> В одномерном пространстве P_1 определено следующее одномерное дифференциальное уравнение для нахождения функции u на промежутке от 0 до 1. На границах области, значение функции u равно 0:</p> $P_1 : \begin{cases} u''(x) = f(x) \text{ in } (0, 1), \\ u(0) = u(1) = 0, \end{cases}$ <p> где f известная функция, u неизвестная функция от x. u'' вторая производная от u по x. Решение поставленной задачи методом конечных элементов разобьём на 2 этапа:</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Переформулировать граничную задачу в так называемую слабую (вариационную) форму. На этом этапе вычислений почти не требуется. ▪ Разобить слабую форму на конечные отрезки-элементы.  <ul style="list-style-type: none"> ▪ ▪ Функция u с нулевыми значения на концах (голубая), и аппроксимация этой функции отрезками (красная).  <ul style="list-style-type: none"> ▪ <p>6. Получите законы движения физической системы по заданным уравнениям</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. В задании уравнения полных кинетической и потенциальной энергий. 2. Продифференцировать уравнения в символьном виде с помощью математического пакета. 3. Получить дифференциальные уравнения движения. 3. Решить дифференциальные уравнения движения с помощью математического пакета. 4. Представить результат в виде уравнения зависимости перемещений от времени и графиков перемещений. 5. Показать возможные примеры реальных систем с подобными уравнениями

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>function Qr=fQr(T, U, Qr,...</p> <p>q1, q2, q3,...</p> <p>v1, V2, v3,...</p> <p>a1, a2, a3,...</p> <p>m1, m2, m3, m4, m5, m6, e1, e2, e3, e4, e5, e6)</p> <p>% Компоненты уравнения Лагранжа</p> <p>dT__d_dqdt=diff(T,v1)+diff(T,V2)+diff(T,v3)</p> <p>%При дифференцировании по скоростей dqdt по времени t получим ускорения</p> <p>%ddqdt, т.е. заменим скорости dqdt ускорениями ddqdt</p> <p>ddT__d_dqdt__dt= diff(dT__d_dqdt,v1).*a1...</p> <p style="padding-left: 40px;">+diff(dT__d_dqdt,V2).*a2...</p> <p style="padding-left: 40px;">+diff(dT__d_dqdt,v3).*a3</p> <p>dT__dq=diff(T,q1)+diff(T,q2)+diff(T,q3)</p> <p>dU__dq=diff(U,q1)+diff(U,q2)+diff(U,q3)</p> <p>Qr=ddT__d_dqdt__dt-dT__dq+dU__dq;</p>
ОПК-4.3	Использует современные информационные технологии для решения задач профессиональной деятельности	<p style="text-align: center;">Задачи для самостоятельного решения.</p> <p>1. Получите смешанную форму зависимостей между силами и перемещениями для балочного элемента (см. (2.3)).</p> <p>2. Для заданной матрицы податливости балочного элемента проверьте, что величина дополнительной энергии деформации равна аналогичной энергии для свободно опертого элемента.</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		$\begin{Bmatrix} F_2 \\ M_1 \end{Bmatrix} = \frac{L}{6EI} \begin{bmatrix} 2L^2 & -3L \\ -3L & 6 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} w_2 \\ \theta_1 \end{Bmatrix}.$  <p>Рис. P2.2.</p> <p>3. Ниже вписана матрица податливости для треугольного пластинчатого элемента, находящегося в плоском напряженном состоянии (рис. P2.3). Вычислите матрицу жесткости элемента и проверьте правильность полученного результата, сравнивая ее с матрицей жесткости, показанной на рис. 5.4.</p> $\begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix} = \frac{2}{Et x_2 y_3} \begin{bmatrix} x_2^2 & x_2 x_3 & -\mu x_2 y_3 \\ x_2 x_3 & 2(1 + \mu) y_3^2 + x_3^2 & -\mu x_2 y_3 \\ -\mu x_2 y_3 & -\mu x_2 y_3 & y_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{x1} \\ F_{x3} \\ F_{y3} \end{Bmatrix}$  <p>Рис. P2.3.</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<div style="text-align: center;"> $[k] = \frac{Et}{2(1-\mu^2)x_2y_3} \begin{matrix} & \begin{matrix} u_1 & u_2 & u_3 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} y_3^2 + \gamma_1 x_3^2 - 2 \\ -y_3^2 - \gamma_1 x_3 x_{3-2} \\ \gamma_1 x_2 x_{3-2} \\ -\gamma_2 y_3 x_{3-2} \\ \mu x_3 y_3 + \gamma_1 y_3 x_{3-2} \\ -\mu x_2 y_3 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} y_3^2 + \gamma_1 x_3^2 \\ -\gamma_1 x_2 x_3 \\ \mu y_3 x_{3-2} + \gamma_1 x_3 y_3 \\ -\gamma_2 x_3 y_3 \\ \mu x_2 y_3 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \gamma_1 x_2^2 \\ -\gamma_1 x_2 y_3 \\ \gamma_1 x_2 y_3 \\ 0 \end{bmatrix} \\ & & \begin{matrix} \gamma_1 y_3^2 \\ -\gamma_1 y_3^2 \\ x_2 \end{matrix} \end{matrix}$ <p>где</p> $\gamma_1 = \frac{1-\mu}{2}, \quad \gamma_2 = \frac{1+\mu}{2}$ $x_{3-2} = x_3 - x_2$ $y_{3-2} = y_3 - y_2$ </div> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;"> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">Рис. 5.4. Матрица жесткости изотропного плоско-напряженного треугольного элемента с постоянной деформацией внутри элемента.</p> <p>4. Ниже приводится матрица податливости для треугольного элемента при —о Докажите, что величина дополнительной энергии деформации совпадает с аналогичной энергией, отвечающей матрице податливости в задаче 2.3.</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
---------------------------------	---------------------------------	--------------------

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \frac{2}{EIx_2y_3} \begin{bmatrix} (x_2)^2 & & \\ \frac{\mu x_2^2 y_3}{x_{3-2}} & & \frac{y_3^2 x_2^2}{(x_{3-2})^2} \\ \frac{\mu x_2 y_3^2}{x_{3-2}} - x_2 x_{3-2} & & -\mu x_2 y_3 + \frac{y_3^3 x_2}{(x_{3-2})^2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_1 R \\ Q_1 R \\ M_1 \end{Bmatrix} \quad (\text{Сим.})$$

$$(x_{3-2}) = (x_3 - x_2)$$

5. Матрицу податливости консольной балки, изображенной на рис. 2.8(с), можно модифицировать так, чтобы учесть эффект влияния поперечных сдвиговых деформаций. Это можно осуществить путем прибавления $L/A_s G$ коэффициентам податливости, связывающим ω_1 и F_{71} , т. е. $[f_{11} = (L^3/3EI + L/A_s G)]$, где A_s — эффективная площадь сдвига (эквивалентная площадь постоянного по величине сдвигового напряжения, которая приводит к той же суммарной величине сдвигового усилия, что и получаемое по балочной теории распределение сдвиговых напряжений в реальном поперечном сечении), а G — модуль сдвига. Вычислите соответствующую матрицу жесткости элемента.

6. Матрица податливости искривленной балки, нагруженной в ее плоскости, приведена на рис. P2.6. Постройте матрицу жесткости элемента.

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 R \end{Bmatrix} = \frac{R^2}{EI} \begin{bmatrix} \frac{3\beta}{2} - 2 \sin \beta + \frac{\sin 2\beta}{4} & & \\ \cos \beta + \frac{\sin^2 \beta}{2} - 1 & & \frac{\beta}{2} - \frac{\sin 2\beta}{4} \\ \beta - \sin \beta & & \cos \beta - 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_1 R \\ Q_1 R \\ M_1 \end{Bmatrix} \quad (\text{Симметрично})$$

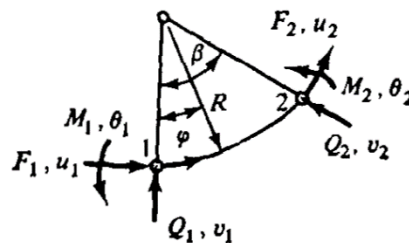


Рис. P2.6.

7. Постройте матрицу $[R]$, отвечающую равновесию изогнутого балочного элемента, лежащего в плоскости $x - y$, как показано на рис. P2.7.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
---------------------------------	---------------------------------	--------------------

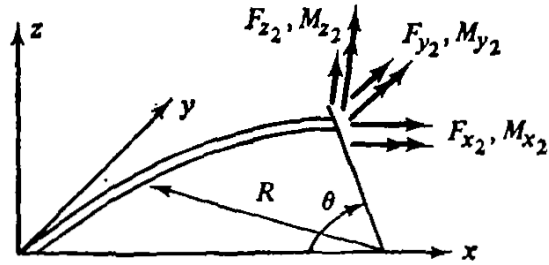


Рис. P2.7.

8. Проверьте выполнение условий равновесия для третьего и четвертого столбцов матрицы жесткости треугольного элемента, находящегося в плоском напряженном состоянии (см. рис. 5.4).

9. Проверьте выполнение условий равновесия для первого и шестого столбцов матрицы жесткости прямоугольного элемента, находящегося в плоском напряженном состоянии (см. рис. 9.13).

10. Проверьте выполнение условий равновесия для первых двух столбцов матрицы жесткости прямоугольного пластинчатого элемента при изгибе, представленной в табл. 12.1.

11. На рис. P2.11 приведена матрица жесткости трехузлового стержневого элемента. Осуществите конденсацию этого представления и получите систему уравнений жесткости для u_1 и u_3 .

$$\begin{Bmatrix} F_{x1} \\ F_{x2} \\ F_{x3} \end{Bmatrix} = \frac{AE}{6L} \begin{bmatrix} 7 & 1 & -8 \\ 1 & 7 & -8 \\ -8 & -8 & 16 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix}$$

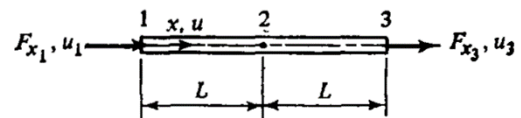


Рис. P2.11.

12. Матрица жесткости треугольного пластинчатого элемента, находящегося в плоском напряженном состоянии, задана в координатных осях (x', y') , причем $\{F\} = [k]\{\Delta\}$, где

$$[\Delta] = [u'_1 \ u'_2 \ u'_3 \ v'_1 \ v'_2 \ v'_3].$$

Для изображенного на рис. P2.12 элемента постройте матрицу преобразования к осям (x', y', z') глобальной системы координат.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<div data-bbox="766 380 1468 672" data-label="Figure"> </div> <p data-bbox="598 672 742 705">Рис. P2.12.</p> <p data-bbox="598 739 1484 896">13. Вычислите собственные значения и собственные векторы матрицы жесткости для простого изгибаемого элемента и интерпретируйте результат с точки зрения движения тела как твердого целого.</p> <p data-bbox="598 929 1484 996">14. Докажите закон Бетти, разбивая матрицу податливости конструкции и используя теорему взаимности.</p> <p data-bbox="598 1030 1484 1187">15. В разд. 2.8 было отмечено, что конденсация матрицы жесткости означает удовлетворение условиям равновесия, отвечающим исключенным перемещениям. Обсудите смысл конденсации матрицы податливости.</p> <p data-bbox="598 1220 1484 1377">16. Матрица жесткости стержневого элемента $[k]$ построена в ортогональных осях x и y и должна быть преобразована к косоугольной системе координат x', y'. Постройте преобразованную матрицу жесткости.</p> <div data-bbox="598 1422 1133 1792" data-label="Figure"> </div> <p data-bbox="1165 1758 1364 1792">Рис. P2.16.</p>

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме по представленным к экзамену вопросам.

Критерии аттестации экзамена:

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень знаний, всестороннее, систематическое и глубокое понимание учебного материала, и/или свободно выполняет практические задания, свободно оперирует полученными знаниями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения.