

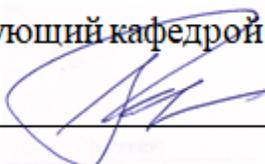
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт прикладной математики и компьютерных наук
Кафедра «Вычислительной механики и математики»

Утверждено на заседании кафедры
«Вычислительная механика и математика»
« 14 » января 2021 г., протокол № 5

Заведующий кафедрой



В.В. Глаголев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению практических (семинарских) занятий
по дисциплине (модулю)
«Вариационные постановки задач механики»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы магистратуры

по направлению подготовки
01.03.03 Механика и математическое моделирование

с направленностью (профилем)
«Механика деформируемого твердого тела»

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 010303-01-21

Тула 2021 год

Разработчик(и) методических указаний

Адамов В.И., к.ф-м.н., доцент кафедры ВММ
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

1. Цели и задачи практических занятий

Целью практических занятий по дисциплине (модулю) «Вариационные постановки задач механики» является формирование профессиональных компетенций, позволяющих выпускникам успешно работать на рынке труда научно-исследовательской, производственно-технологической и преподавательской деятельности, используя современные методы математического и компьютерного моделирования для решения широкого класса задач в области механики и механики деформируемого твердого тела

Задачами практических занятий по дисциплине (модулю) являются обучение студентов методам исследования и решения задач механики, применение методов механики для решения прикладных задач:

- освоение научных и практических основ методов, используемых для математического моделирования задач механики,
- овладение навыками использования методов решения профессиональных задач естествознания,
- приобретение личного опыта постановки задач механики с использованием вариационных принципов,
- приобретение опыта исследования состояний конструкции и процессов изменения этих состояний с использованием современных численных методов,
- приобретение опыта ведения дискуссий и презентации результатов исследований.

Достигнутый уровень профессиональных компетенций фиксируется в ходе контролируемых мероприятий текущей и промежуточной аттестации посредством сопоставления планируемых и достигнутых значений индикаторов компетенций (ПК-2 и ПК-3), по результатам которых принимаются корректирующие действия.

2. Сценарий практического занятия

В соответствии с целями и задачами дисциплины (модуля) практические занятия проводятся по следующему сценарию.

1. Обсуждение вопросов, возникших при выполнении домашних заданий по ранее рассмотренным темам, а также при подготовке научных и реферативных сообщений по тематике очередного практического занятия.
2. Формулирование целей занятия и обсуждение сферы использования и актуальности изучаемых методов в рамках рассматриваемой темы.
3. Презентационные сообщения студентов в соответствии с заявленными в курсе темами.
 - Дискуссия по ключевым аспектам рассматриваемой темы.
 - Формирование целостного представления рассматриваемой схемы
 - Сравнительный анализ рассматриваемого подхода с альтернативными. Оценка достоинств и недостатков.
4. Решение задач с использованием рассмотренных на занятии методов.
 - Изучение на практике применяемых концепций.
 - Формирование с использованием методов группового обсуждения (мозгового штурма и т.п.) алгоритмов решения задач.
 - Сопоставление альтернативных подходов при решении данного типа задач.
5. Подведение итогов занятия, презентация домашнего задания и тем последующих занятий.

3. Темы и структура реферативных сообщений по программе курса

3.1 Темы реферативных сообщений по программе курса

1. Использование вариационных принципов для описания состояния и движения механических систем. Обобщенные координаты. Вариации координат (синхронные и асинхронные)
2. Принцип Лагранжа в задачах статики

3. Принцип Даламбера –Лагранжа в задачах динамики
4. Дифференциальные формулировки принципов Журдена
5. Дифференциальные формулировки принципов Гаусса
6. Принцип Гамильтона. Построение функционалов действия, вычисление вариаций функционалов.
7. Вариационный принцип Мопертюи-Лагранжа
8. Вариационный принцип Якоби. Особенности применения принципа для решения задач.
9. Принцип минимума потенциальной энергии системы в решении задач теории упругости.
10. Метод Ритца в задачах упругости
11. Метод Галеркина в задачах упругости
12. Метод конечных элементов в задачах механики. Построение конечно элементных аппроксимаций функций

3.2 Структура реферативных сообщений по программе курса

Сообщение строится в соответствии со следующей структурой.

1. Введение. История возникновения рассматриваемого подхода: проблемы породившие появление данного подхода, сложность использования и ограниченные возможности существовавших ранее методов, обзор подобных методов и работ авторов, предложивших разработки, актуальность рассматриваемого подхода в настоящее время, область применения метода.
2. Сущность рассматриваемого подхода, основные идеи и гипотезы, лежащие в его основе, ограничения.
3. Логика получения рекуррентных соотношений, презентация необходимых доказательств, обоснование необходимости.
4. Описание базовых рекуррентных соотношений метода (полная система разрешающих соотношений) с пояснением предназначения отдельных соотношений и алгоритма использования.
5. Презентация примера использования рассматриваемого подхода.
6. Критическая оценка предлагаемого подхода, достоинства и недостатки в сравнении с существующими аналогами.

3.3 Формат презентации реферативных сообщений по программе курса

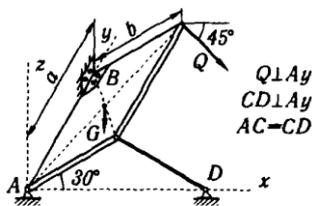
Презентация сообщения включает следующие элементы:

- Текст сообщения на бумажном и электронном носителях
 - Выступление с сообщением перед аудиторией с использованием слайдов
 - Ответы на вопросы
 - Обсуждение ключевых аспектов рассматриваемого метода.
- ✓ Сообщение выполняется в соответствии с указанной структурой на листах формата А4, , включая титульный лист, содержание сообщения с указанием страниц разделов и список использованной литературы.
- ✓ Доклад перед аудиторией продолжительностью до 15 минут с использованием средств видео презентации.
- ✓ Рефлексия работы над подготовкой и доклада и выступления.

4. Основные типы задач, рассматриваемых в курсе и алгоритмы их решения

А. Задачи, ориентированные на выработку навыков формирования разрешающих соотношений для определения условий равновесия и законов движения механических систем с использованием вариационных принципов.

Условие задачи.



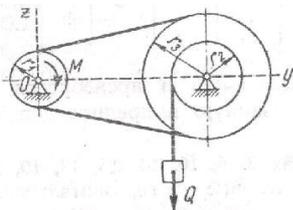
Задание. Рассматривается механическая система, состоящая из плоской тонкой пластины (весом G), закрепленной в равновесном положении кинематическими связями. Стержень CD невесомый, трение в шарнирах A и D отсутствует. В задании требуется определить реакции связей.

Основные этапы решения задач.

При решении задачи необходимо придерживаться следующего алгоритма.

1. Определить характер наложенных на систему связей и представить их в аналитическом виде.
2. Выбрать обобщенные координаты для описания состояния системы.
3. Записать уравнения равновесия системы, используя вариационный принцип Лагранжа.
4. Определить значение силы G , соответствующее условию равновесия механической системы.
5. Сформировать эквивалентный образ механической системы, позволяющий определить реактивные силы в точках A , B .
6. Записать уравнения равновесия системы, используя вариационный принцип Лагранжа для определения внешних реакций.
7. Записать соотношения принципа минимума потенциальной энергии деформации для стержня CD .

В. Задачи на определение напряженно-деформированного состояния элементов механических систем с использованием вариационных принципов для построения приближенных решений.



Условие задачи.

Рассматривается механическая система, состоящая из двух ступенчатых колес, соединенных невесомой нитью и нагруженная моментом M и внешней силой Q .

В задаче требуется определить напряженно-деформированное состояние диска механизма, находящегося в равновесии под действием внешнего момента M и сил натяжения нити, возникающих

при подъеме груза Q .

Основные этапы решения задач

1. Определение границ механической системы и формулирование основных гипотез, лежащих в основе рассматриваемой механической системы.
2. Определение внешних силовых факторов, идентификация связей и задание реактивных сил.
3. Определение количества степеней свободы рассматриваемой механической системы (твердое тело, деформируемое: упругое, пластическое), выбор независимых параметров, однозначно определяющих движение системы.
4. Выбор подхода (и обоснование выбора) к решению задачи: из условия минимизации потенциальной энергии механической системы или минимизации невязки уравнений равновесия.
5. Формирование постановки задачи, включающей вариационные соотношения, сформулированные с учетом физических и кинематических соотношений, а также ограничений, накладываемых граничными условиями.
6. Выбор (и обоснование) базисных функций (в рамках методов Рунге, Галеркина с использованием аналитических или конечно-элементных аппроксимаций искомых функций) и фор-

мирование системы алгебраических уравнений для определения коэффициентов в выражениях аппроксимирующих искомые функции.

7. Решение систем уравнений и построение представлений напряженно-деформированного состояния исследуемого тела механической системы.

5. Оценка качества усвоения дидактических элементов курса

Оценка качества усвоения дидактических элементов курса в ходе лекционных, практических занятий и самостоятельной работы осуществляется в рамках текущей и промежуточной итоговой аттестаций.

Оценка качества усвоения студентами дидактических элементов дисциплины в рамках текущей аттестации осуществляется с использованием тестовых заданий, используемых в письменных и устных контрольных мероприятиях в течение семестра.

Выполняя задания практических занятий и планируя самостоятельную работу, студенты должны ориентироваться на достижение следующих уровней знаний и умений по дисциплине (модулю) «Вариационные постановки задач механики»:

В рамках первого этапа (контролируется в ходе первой аттестации) студенты должны показать знание и умение

- выбрать обобщенные координаты для описания движения механизма
- обосновать выбор обобщенных координат.
- определять характер наложенных на механизм связей.
- определять тип механической системы рассматриваемого механизма
- вводить переменные Гамильтона для механической системы
- устанавливать связь переменных Гамильтона с обобщенными координатами
- записывать уравнения движения системы, используя принцип Даламбера-Лагранжа.
- записывать выражения обобщенных активных сил и сил инерции.
- записывать уравнения движения системы, используя уравнения Лагранжа 2-го рода
- записывать уравнения движения системы, используя принцип Гаусса
- записывать уравнения движения, используя принцип Гамильтона
- записывать условие минимума полной потенциальной энергии системы

В рамках второго этапа (контролируется в ходе второй аттестации) студенты должны показать знание и умение

- определять поля скоростей точек элементов механизма.
- определять поля ускорений точек элементов.
- определять, используя принцип Даламбера Лагранжа реакции внутренних и внешних связей.
- записывать выражение полной потенциальной энергии деформации отдельных элементов рассматриваемой механической системы.
- составлять систему разрешающих соотношений для определения НДС элементов механизма, используя метод Бубнова-Галеркина
- построения конечно-элементных моделей элементов механизма, используя принцип минимума потенциальной энергии системы, в рамках формирования которой они должны продемонстрировать навыки
 - записи условий экстремума функционала - потенциальной энергии системы
 - выбора вида конечных элементов и схем разбиения конструкции на конечные элементы
 - построения матриц жесткости и векторов нагрузки для конечного элемента
 - формирования систем уравнений в глобальных переменных, используя метод ансамблирования конечных элементов.
 - построения системы разрешающих соотношений с учетом граничных условий.

Целостное представление дидактических элементов курса и умение применять изученные методы в комплексе отрабатывается в ходе выполнения курсовой работы и контролируется в ходе промежуточной итоговой аттестации

6. Учебно-методическое обеспечение практических занятий

6.1 Основная литература

1. Арнольд, В.И. Математические методы классической механики; Вариационное исчисление и вариационные принципы .— М. : КИТ;РХД, 2004 .— 1опт.диск.(CD ROM) .— (Электронная библиотека) .— формат pdf.
2. Аппель, П. Теоретическая механика; Теоретическая механика .— М. : РХД, 2002 .— 1опт. диск. (CD ROM) .— (Электронная библиотека) .— Формат pdf.
3. Бахвалов, Н.С. Численные методы в задачах и упражнениях / Н. С. Бахвалов, А. В. Лапин, Е. В. Чижонков .— М. : Высш. шк., 2000 .— 190 с. (78 экз.)
4. Зенкевич, О.К. Метод конечных элементов в теории сооружений и механике сплошных сред / О. К. Зенкевич, И. Чанг ; под ред. Ю. К. Зарецкого ; пер. с англ. О. П. Троицкого, С. В. Соловьева .— М. : Недра, 1974 .— 239 с. (14 экз.)
5. Калиткин, Н. Н. Численные методы : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Калиткин ; под ред. А. А. Самарского .— М. : Наука, 1978 .— 512 с. (15экз.)
6. Лурье, А.И. Теория упругости / А.И.Лурье .— М. : Наука, 1970 .— 939с. : ил. (27 экз)
7. Маркеев А. П. Теоретическая механика: Учебное пособие для университетов. // – М., Наука, 1990. – 416 с. (8 экз)

6.2 Дополнительная литература

1. К. Васидзу Вариационные методы в теории упругости и пластичности- М.:Мир, 1986.- 542 с. (11экз)
2. Гантмахер, Ф.Р. Лекции по аналитической механике: [Учеб.пособие для вузов] / Ф.Р.Гантмахер; Под ред.Е.С.Пятницкого .— / 3-е изд.,стер. — М. : Физматлит, 2002 .— 264с. (2экз)
3. Зенкевич О., Морган З. Конечные элементы и аппроксимация. -М.:Мир, 1986.- 320 с. . (6 экз)
4. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике : пер.с англ. / О. Зенкевич ; под ред.Б. Е. Победри .— М. : Мир, 1975 .— 541 с. (5экз.)

6.3 Периодические издания

1. Прикладная математика и механика (журнал РАН)
2. Механика твердого тела(журнал РАН)

6.4 Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Операционные системы Windows, стандартные офисные программы, специализированные математические пакеты, системы программирования на языках высокого уровня.
2. Официальный сайт ТулГУ <http://www.tsu.tula.ru>.
3. Сайт цифровых образовательных ресурсов www.cor.home-edu.ru
4. Институт новых технологий www.intschool.ru