

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Институт горного дела и строительства
Кафедра «Строительство, строительные материалы и конструкции»

Утверждено на заседании кафедры
«Строительство, строительные материалы и
конструкции»

«20» января 2020 г., протокол № 5

Заведующий кафедрой

_____  А.А. Трещев

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Вариационные методы расчета строительных конструкций»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
08.03.01 Строительство

с направленностью (профилем)
Промышленное и гражданское строительство

Формы обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 080301-05-20

Тула 2020 год

**ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ
рабочей программы дисциплины**

Разработчик:

Судакова И.А., канд. техн. наук

(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

(подпись)

1 Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование представлений об особенностях реализации вариационных методов расчёта строительных конструкций, расширение теоретических знаний в области численного моделирования работы строительных конструкций, углубление навыков использования приближённых методов решения задач теории упругости.

Задачами освоения дисциплины (модуля) являются:

- изучение приближенных методов решения задач теории упругости и применение их на практике решения задач;
- применение метода конечных элементов к решению задач строительной механики;
- построение модели стержневого, балочного конечных элементов;
- разработка математической модели расчетной схемы типа "ферма" на базе построенной модели стержневого конечного элемента;
- разработка математической модели расчетной схемы типа "рама" на базе построенной модели балочного конечного элемента;
- освоение деталей реализации алгоритма метода конечных элементов в ходе расчета конкретных расчетных схем.

2 Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина относится к части основной профессиональной образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений.

Дисциплина изучается в седьмом семестре.

3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы (формируемыми компетенциями) и индикаторами их достижения, установленными в общей характеристике основной профессиональной образовательной программы, приведён ниже.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- 1) Структуру параметров, определяющих расчётную схему сооружения (код компетенции – ПК-9, код индикатора – ПК-9.1);
- 2) Методы и практические приемы выполнения экспериментальных и теоретических исследований в сфере градостроительной деятельности для анализа результатов таких работ, природу гипотез, лежащих в основе модели линейно упругого тела (код компетенции – ПК-9, код индикатора – ПК-9.1);
- 3) Современные средства автоматизации в сфере градостроительной деятельности, методы, приемы и средства численного анализа, в том числе принцип дискретизации расчётной схемы, лежащий в основе получения численных результатов с помощью ПЭВМ (код компетенции – ПК-9, код индикатора – ПК-9.2).

Уметь:

- 1) Находить, анализировать и исследовать информацию, необходимую для формирования заданной расчетной схемы для инженерно-технического проектирования объектов градостроительной деятельности, задавать основные параметры расчётной схемы сооружения (код компетенции – ПК-2, код индикатора – ПК-2.4);

2) Определять значимые свойства объектов градостроительной деятельности, их окружения или их частей, определять характеристики напряжённо-деформированного состояния заданной расчётной схемы методом конечных элементов (код компетенции – ПК-2, код индикатора – ПК-2.4);

3) Определять параметры имитационного информационного моделирования, численного анализа для производства работ по инженерно-техническому проектированию объектов градостроительной деятельности (код компетенции – ПК-2, код индикатора – ПК-2.4).

Владеть:

1) Навыками разработки математической модели расчетной схемы типа "ферма" на базе построенной модели стержневого конечного элемента (код компетенции – ПК-9, код индикатора – ПК-9.3);

2) Навыками разработки математической модели расчетной схемы типа "рама" на базе построенной модели балочного конечного элемента (код компетенции – ПК-9, код индикатора – ПК-9.3);

3) Навыками расчетного анализа и оценки технических решений строящихся, реконструируемых, эксплуатируемых, сносимых объектов капитального строительства, методами реализации алгоритма МКЭ в ходе расчета конкретных расчетных схем (код компетенции – ПК-9, код индикатора – ПК-9.3).

Полные наименования компетенций и индикаторов их достижения представлены в общей характеристике основной профессиональной образовательной программы.

4 Объем и содержание дисциплины (модуля)

4.1 Объем дисциплины (модуля), объем контактной и самостоятельной работы обучающегося при освоении дисциплины (модуля), формы промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

| Номер семестра | Формы промежуточной аттестации | Общий объем в зачетных единицах | Общий объем в академических часах | Объем контактной работы в академических часах | | | | | | Объем самостоятельной работы в академических часах |
|------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|---------------------|----------------------------------|--------------|--------------------------|--|
| | | | | Лекционные занятия | Практические (семинарские) занятия | Лабораторные работы | Клинические практические занятия | Консультации | Промежуточная аттестация | |
| Очная форма обучения | | | | | | | | | | |
| 7 | ЗЧ | 3 | 108 | 14 | 28 | | | | 0,1 | 65,9 |
| Итого | | 3 | 108 | 14 | 28 | | | | 0,1 | 65,9 |
| Заочная форма обучения | | | | | | | | | | |
| 7 | ЗЧ | 3 | 108 | 2 | 6 | | | | 0,1 | 99,9 |
| Итого | | 3 | 108 | 2 | 6 | | | | 0,1 | 99,9 |

Условные сокращения: Э – экзамен, ЗЧ – зачет, ДЗ – дифференцированный зачет (зачет с оценкой), КП – защита курсового проекта, КР – защита курсовой работы.

4.2 Содержание лекционных занятий

Очная форма обучения

| № п/п | Темы лекционных занятий |
|------------------|--|
| 7 семестр | |
| 1 | Приближенные методы решения задач теории упругости Метод Бубнова-Галеркина Метод Канторовича-Власова Метод Ритца-Тимошенко Метод конечных разностей |
| 2 | Основы метода конечных элементов (МКЭ) Основные идеи МКЭ Идея физической дискретизации расчетной схемы строительной конструкции Переход от математической модели в форме дифференциальных уравнений к модели в виде системы линейных алгебраических уравнений Идея приближения точного решения задачи отрезками степенных рядов Понятие деформирующих степеней свободы. Связь числа деформирующих степеней свободы и порядка аппроксимирующего полинома |
| 3 | Использование стержневого конечного элемента Связь между деформирующими перемещениями внутри элемента и перемещениями его узлов дискретизации Локальная система координат. Ориентация локальной системы координат относительно оси элемента и плоскости чертежа Двучленная аппроксимация внутренних перемещений стержневого элемента. Матричная форма представления аппроксимирующей функции Определение функций формы стержневого элемента |
| 4 | Вывод формул для характеристик напряженно-деформированного состояния стержневого элемента |
| 5 | Пример формирования разрешающей системы уравнений метода конечных элементов для случая стержневых элементов. Статический расчет плоской фермы Схема дискретизации: нумерация узлов, конечных элементов и осей локальных систем координат Табличная форма вычисления компонент матриц направляющих косинусов элементов Вычисление матриц жесткости элементов в локальных системах координат. Определение компонент матриц жесткости в глобальной системе координат Заполнение матрицы индексов. Формирование матрицы жесткости ансамбля конечных элементов Формирование вектора узловых нагрузок |

| № п/п | Темы лекционных занятий |
|----------|---|
| 6 | <p>Использование балочного конечного элемента</p> <p>Особенности напряженно-деформированного состояния балки при плоском изгибе</p> <p>Деформирующие перемещения конечных сечений. Число деформирующих степеней свободы балочного КЭ, соглашение об их нумерации</p> <p>Связь между деформирующими перемещениями внутри элемента и перемещениями его узлов дискретизации</p> <p>4-хчленная аппроксимация внутренних перемещений стержневого элемента. Матричная форма представления аппроксимирующей функции</p> <p>Определение коэффициентов аппроксимирующего полинома через узловые перемещения в матричной форме</p> <p>Вывод матричной формулы связи узловых и промежуточных перемещений. Определение функций формы балочного элемента</p> <p>Формирование матрицы направляющих косинусов балочного конечного элемента</p> <p>Вывод формул для характеристик напряженно-деформированного состояния балочного элемента</p> <p>Формирование разрешающей системы уравнений МКЭ для ансамбля балочных КЭ</p> <p>Формирование вектора узловых нагрузок на ансамбль балочных КЭ</p> <p>Формирование вектора узловых реакций на внутриволновую нагрузку на балочный КЭ</p> <p>Использование таблицы метода перемещений для формирования вектора внутриволновых нагрузок</p> <p>Преобразование векторов реакций из ЛСК в ГСК</p> |
| 7 | <p>Пример формирования разрешающей системы уравнений метода конечных элементов для случая балочных элементов. Статический расчет плоской рамы</p> <p>Схема дискретизации: нумерация узлов, конечных элементов и осей локальных систем координат</p> <p>Табличная форма вычисления компонент матриц направляющих косинусов элементов</p> <p>Вычисление матриц жесткости элементов в локальных системах координат. Определение компонент матриц жесткости в глобальной системе координат</p> <p>Заполнение матрицы индексов. Формирование матрицы жесткости ансамбля конечных элементов</p> <p>Вычисление компонент векторов узловых перемещений в локальных системах координат. Определение векторов локальных узловых усилий</p> <p>Формирование эпюр изгибающих моментов и поперечных сил в заданной раме с учетом инженерного правила знаков. Проверка полученного решения методами строительной механики</p> |

Заочная форма обучения

| № п/п | Темы лекционных занятий |
|------------------|---|
| 7 семестр | |
| 1 | Использование стержневого, балочного конечного элемента при решении задач |

4.3 Содержание практических (семинарских) занятий

Очная форма обучения

| № п/п | Темы практических (семинарских) занятий |
|----------|---|
|----------|---|

| № п/п | Темы практических (семинарских) занятий |
|------------------|--|
| 7 семестр | |
| 1 | Использование стержневого конечного элемента. Схема дискретизации: нумерация узлов, конечных элементов и осей локальных систем координат. Табличная форма вычисления компонент матриц направляющих косинусов элементов |
| 2 | Вычисление матриц жесткости элементов в локальных системах координат. Определение компонент матриц жесткости в глобальной системе координат |
| 3 | Заполнение матрицы индексов. Формирование матрицы жесткости ансамбля конечных элементов |
| 4 | Формирование вектора узловых нагрузок. Формирование СЛАУ МКЭ |
| 5 | Метод Халецкого для решения систем линейных алгебраических уравнений Пример решения системы линейных алгебраических уравнений методом Халецкого |
| 6 | Использование балочного конечного элемента. Схема дискретизации: нумерация узлов, конечных элементов и осей локальных систем координат. Табличная форма вычисления компонент матриц направляющих косинусов элементов |
| 7 | Вычисление матриц жесткости элементов в локальных системах координат. Определение компонент матриц жесткости в глобальной системе координат. Заполнение матрицы индексов. Формирование матрицы жесткости ансамбля конечных элементов |
| 8 | Формирование матрицы реакций на внутрипролетную нагрузку. Использование стандартных эпюр метода перемещений для построения эпюр изгибающих моментов внутри КЭ различного типа |
| 9 | Формирование СЛАУ МКЭ для ЗРС типа «рама» |
| 10 | Вычисление компонент векторов узловых перемещений в локальных системах координат. Определение векторов локальных узловых усилий |
| 11 | Формирование эпюр изгибающих моментов и поперечных сил в заданной раме с учетом инженерного правила знаков. Проверка полученного решения методами строительной механики |
| 12 | Метод Бубнова-Галеркина. Примеры решения. Центральное растянутый стержень. Изгиб пластины |
| 13 | Метод Ритца-Тимошенко. Примеры решения. Изгиб балки. Изгиб прямоугольной пластины |
| 14 | Метод конечных разностей. Примеры решения. Изгиб круглой и кольцевой пластин |

Заочная форма обучения

| № п/п | Темы практических (семинарских) занятий |
|------------------|--|
| 7 семестр | |
| 1 | Использование стержневого конечного элемента для расчета ферм МКЭ |
| 2 | Использование балочного конечного элемента для расчета плоских рам МКЭ |
| 3 | Проверка решения задач в SCADe |

4.4 Содержание лабораторных работ

Занятия указанного типа не предусмотрены основной профессиональной образовательной программой.

4.5 Содержание клинических практических занятий

Занятия указанного типа не предусмотрены основной профессиональной образовательной программой.

4.6 Содержание самостоятельной работы обучающегося

Очная форма обучения

| № п/п | Виды и формы самостоятельной работы |
|------------------|--|
| 7 семестр | |
| 1 | Подготовка к практическим занятиям |
| 2 | Выполнение расчетно-графической работы |
| 3 | Подготовка к промежуточной аттестации и ее прохождение |

Заочная форма обучения

| № п/п | Виды и формы самостоятельной работы |
|------------------|--|
| 7 семестр | |
| 1 | Подготовка к практическим занятиям |
| 2 | Выполнение расчетно-графической работы |
| 3 | Подготовка к промежуточной аттестации и ее прохождение |

5 Система формирования оценки результатов обучения по дисциплине в рамках текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося

Очная форма обучения

| Мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося | | Максимальное количество баллов | |
|--|--------------------------|---|----|
| 7 семестр | | | |
| Текущий контроль успеваемости | Первый рубежный контроль | Оцениваемая учебная деятельность обучающегося: | |
| | | Посещение лекционных занятий | 3 |
| | | Посещение практических занятий | 3 |
| | | Выполнение и защита РГР № 1, задача № 1 | 12 |
| | | Тестирование | 12 |
| | Итого | | 30 |
| | Второй рубежный контроль | Оцениваемая учебная деятельность обучающегося: | |
| | | Посещение лекционных занятий | 3 |
| | | Посещение практических занятий | 3 |
| | | Выполнение и защита РГР № 1, задача № 2 | 12 |
| Тестирование | | 12 | |
| Итого | | 30 | |
| Промежуточная аттестация | Зачет | 40 (100*) | |

* В случае отказа обучающегося от результатов текущего контроля успеваемости

Заочная форма обучения

| Мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося | Максимальное количество баллов |
|--|--------------------------------|
|--|--------------------------------|

| Мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося | | Максимальное количество баллов |
|--|---|--------------------------------|
| 7 семестр | | |
| Текущий контроль успеваемости | Оцениваемая учебная деятельность обучающегося: | |
| | Посещение лекционных занятий | 6 |
| | Посещение практических занятий | 6 |
| | Выполнение РГР № 1, задача № 1 | 12 |
| | Выполнение РГР № 1, задача № 2 | 12 |
| | Тестирование | 24 |
| | Итого | 60 |
| Промежуточная аттестация | Зачет | 40 (100*) |

Шкала соответствия оценок в стобалльной и академической системах оценивания результатов обучения по дисциплине

| Система оценивания результатов обучения | Оценки | | | |
|--|---------------------|-------------------|---------|----------|
| | 0 – 39 | 40 – 60 | 61 – 80 | 81 – 100 |
| Стобалльная система оценивания | | | | |
| Академическая система оценивания (экзамен, дифференцированный зачет, защита курсового проекта, защита курсовой работы) | Неудовлетворительно | Удовлетворительно | Хорошо | Отлично |
| Академическая система оценивания (зачет) | Не зачтено | Зачтено | | |

6 Описание материально-технической базы (включая оборудование и технические средства обучения), необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для проведения лекционных занятий требуется аудитория, оснащённая видеопроектором, настенным экраном и компьютером.

Для проведения практических занятий требуется аудитория, оснащённая видеопроектором, настенным экраном и компьютером.

Для проведения текущего, обучающего и промежуточного тестирования требуется компьютерный класс.

7 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

7.1 Основная литература

1. Теличко, Г.Н. Основы строительной механики плоских стержневых систем: учебник для вузов и сузов / Г. Н. Теличко. – 3-е изд., стер. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. – 440 с. – ISBN 978-5-7679-1533-0.

2. Трушин, С. И. Метод конечных элементов. Теория и задачи: учеб.пособие для вузов / С. И. Трушин. – М.: АСВ, 2008. – 256 с. – ISBN 978-5-93093-539-4.

7.2 Дополнительная литература

1. Д.Г. Шимкович. Femap & Nastran. Инженерный анализ методом конечных элементов (+ CD-ROM). – М.: ДМК Пресс, 2008. – 702 с.
2. И.Н. Серпик. Метод конечных элементов в решении задач механики несущих систем. Учебное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2015. – 200 с.
3. Колдаев В.Д. Численные методы и программирование: учеб. пособие для ун-тов / В. Д. Колдаев. – М.: ИД «ФОРУМ», 2009. – 336с.

8 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. http://www.nsu.ru/matlab/Exponenta_RU Образовательный математический сайт
2. <http://cadprograms.ru/> Сайт для архитекторов, проектировщиков, строителей и студентов, которые хотят узнать больше о своей профессии
3. <http://www.scadgroup.com/news.shtml> Официальный сайт группы компаний "СКАД Софт"
4. <http://djvu-inf.narod.ru/tslib.htm> DjVu БИБЛИОТЕКИ - Строительство и инженерные системы
5. <http://publ.lib.ru/> Универсальная библиотека, портал создателей электронных книг, авторов произведений и переводов
6. <http://www.litportal.kiev.ua> Электронная библиотека LitPortal
7. <http://diminex.ru/> Строительство-библиотека строительства
8. <http://www.unilib.neva.ru/rus/lib/resources/elib/> Фундаментальная библиотека СПбГПУ
9. <http://stroimech-journal.narod.ru/>

9 Перечень информационных технологий, необходимых для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

9.1 Перечень необходимого ежегодно обновляемого лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

1. Пакет прикладных программ «Строительная механика», разработанный на кафедре ССМиК;
2. Программа для проведения тестирования MyTest, распространяемая свободно;
3. Программа для чтения файлов формата PDF AdobeReader, распространяемая свободно.
4. Универсальный математический пакет MATLAB and Simulink Student Suite 2014a
5. Пакет офисных приложений «МойОфис».

9.2 Перечень необходимых современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. Компьютерная справочная правовая система КонсультантПлюс.