

**Программа учебной дисциплины
«Инструментальные средства моделирования»**

Утверждена
Академическим советом ОП¹
Протокол № от __.__.20__

Разработчик	Бобер Станислав Алексеевич, ст. преп., ДПМ МИЭМ НИУ ВШЭ
Число кредитов	5
Контактная работа (час.)	60
Самостоятельная работа (час.)	130
Курс, Образовательная программа	4 курс, бакалавриат «Прикладная математика»
Формат изучения дисциплины	Без использования онлайн курса

1. Цель, результаты освоения дисциплины и пререквизиты

Целью освоения дисциплины «Инструментальные средства моделирования» является получение знаний и навыков в применении языка Python и модулей «научного стека» для решения краевых задач движения сплошной среды (методом конечных элементов) и многокритериальной оптимизации.

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать

- основные модули и функции Python, необходимые для работы с матрицами и векторами, генерации сетки конечных элементов, для решения системы линейных уравнений, для визуализации полученных в результате решения поставленных задач данных;
- понятия: перемещений, деформаций, напряжений, усилий, тензоров деформаций и напряжений, конечного элемента его функций формы, матрицы градиентов, матрицы упругих постоянных
- алгоритмы: построения матрицы жесткости элемента и глобальной матрицы жесткости, внесения граничных условий в виде перемещений, узловых усилий, распределенных усилий, генерации сетки конечных элементов.

Уметь

¹ Для ПУД из общеуниверситетского пула – Руководитель Департамента.

- численно решать задачи моделирования и анализа напряженно-деформированного состояния деталей из упругого материала в Python;
- создавать алгоритмы для вычисления оптимальных усилий или размеров детали/фермы для удовлетворения критерию не разрушения и не возникновения пластических деформаций;
- создавать графические изображения деталей, узлов, конечных элементов, полей рассчитанных величин;
- анализировать результаты расчетов.

Иметь навыки (приобрести опыт)

- применения Python для:
- расчета задач сплошной среды с упругим поведением материала;
- поиска оптимальных величин усилий или размеров, удовлетворяющих критериям;
- построения графиков и полей расчетных величин;
- анализа результатов расчетов;
- работы в интерактивной среде Jupyter Notebook для эффективного построения решения задачи;
- работы в среде Spyder для профилирования и отладки сложных алгоритмов;
- использования модулей NumPy, SciPy, Matplotlib для решения задач, визуализации и анализа результатов.

Дисциплина относится к разделу дисциплин по выбору базового профессионального цикла (Б.Пр.В.ДВ.5).

Для освоения учебной дисциплины, студенты должны изучить следующие учебные курсы:

- Линейная алгебра и аналитическая геометрия (1 курс);
- Физика (1 курс);
- Дифференциальные уравнения (2 курс);
- Языки программирования (2 курс);
- Компьютерный практикум (3 курс)
- Численные методы (3 курс)
- Методы оптимизации (3 курс);

Основные положения дисциплины и освоенные компетенции должны быть использованы в дальнейшем при изучении дисциплин:

- Выпускная квалификационная работа
- Проектный или научно-исследовательский семинар

2. Содержание учебной дисциплины

Тема (раздел дисциплины)	Объем в часах ²	Планируемые результаты обучения (ПРО), подлежащие контролю	Формы контроля
	лк		
	см		
	onl/ср		
Тема 1. Теоретические положения и численное решение упругой задачи движения сплошной среды методом конечных элементов для анализа напряженно-деформированного состояния деталей сложной формы в двумерном пространстве.	14	Демонстрирует теоретические знания механики сплошной среды. Реализует алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния среды методом конечных элементов на языке Python.	Аудиторная работа, конспект избранных глав литературы, домашняя работа
	14		
	65		
Тема 2. Оптимальное решение задачи движения сплошной среды с двумя противоречащими критериями и двумя параметрами.	16	Демонстрирует теоретические знания методов многокритериальной оптимизации. Реализует алгоритм расчета границы Парето и поиска оптимального решения для супер критерия.	Аудиторная работа, конспект избранных глав литературы, домашняя работа
	16		
	65		
Часов по видам учебных занятий:	Лекции: 30		
	Семинары: 30		
	Самостоятельная работа: 130		
Итого часов:	190		

Формы учебных занятий:

лк – лекции в аудитории;

см - семинары/ практические занятия/ лабораторные работы в аудитории;

onl – лекции или иные виды работы студента с помощью онлайн-курса;

ср – самостоятельная работа студента.

Содержание разделов дисциплины:

² Не заполняется для ПУД, которые не вошли в УП ОП и не запланированы в расписании учебных занятий

Тема 1.

Напряженно-деформированное состояние (НДС) в точке. Тензоры напряжений и деформаций. Главные оси и главные напряжения. Линейная интерполяция и функции формы (для треугольного плоского элемента). Уравнения метода конечных элементов и вывод их из принципа минимума полной энергии. Плоское напряженное состояние. Связь напряжений и деформаций, деформаций и перемещений. Матрица жесткости, градиентов, упругих постоянных. Критерии прочности. Реализация МКЭ на языке Python. Создание формы заготовки и ее триангуляция. Триангуляция Делоне. Сборка глобальной матрицы жесткости. Внесение граничных условий. Построение целевой функции для решения поставленной задачи поиска неизвестного параметра при заданных условиях. Поиск оптимума или корня построенной функции. Визуализация НДС в заготовке и построение графиков.

Тема 2.

Критерии пластичности. Задача многокритериальной оптимизации. Методы многокритериальной оптимизации. Парето-оптимально множество. Область допустимых значений параметров. Область значений на плоскости критериев. Реализация построения указанных областей и Парето-оптимального множества. Суперкритерий, сведение задачи многокритериальной оптимизации к задаче многомерной оптимизации по суперкритерию. Реализация алгоритмов на языке Python.

3. Оценивание

Формулы для определения накопленных и итоговых оценок.

Модуль 1

Накопленная оценка за первый модуль $O_{\text{МОД1}}$ вычисляется по следующей формуле:

$$O_{\text{МОД1}} = 2 \cdot O_{\text{ПОС1}} + 2 \cdot O_{\text{АУД1}} + 2 \cdot O_{\text{КОНСП1}} + 4 \cdot O_{\text{ДОМ1}}$$

$$O_{\text{ПОС1}} = N_{\text{ПОС1}}/N_1,$$

$$O_{\text{АУД1}} = N_{\text{РАБ1}}/N_{\text{ЗАД1}},$$

где $N_{\text{Пос1}}$ – количество посещенных занятий (лекций и семинаров) в первом модуле, N_1 - общее количество занятий в первом модуле, $N_{\text{РАБ1}}$ – количество выполненных заданий в аудитории на семинарах и лекциях в первом модуле, $N_{\text{Зад1}}$ – общее количество заданий, предназначенных к выполнению на семинарах и лекциях первого модуля, $O_{\text{Дом1}}$ – оценка за выполнение и защиту домашнего задания первого модуля, действительное число от 0 до 1, $O_{\text{КОНСП1}}$ – оценка за конспект избранных глав, действительное число от 0 до 1.

Модуль 2

Накопленная оценка за второй модуль $O_{\text{МОД2}}$ вычисляется по следующей формуле:

$$O_{\text{МОД2}} = 2 \cdot O_{\text{Пос2}} + 2 \cdot O_{\text{Ауд2}} + 2 \cdot O_{\text{КОНСП2}} + 4 \cdot O_{\text{Дом2}}$$

$$O_{\text{Пос2}} = N_{\text{Пос2}}/N_2,$$

$$O_{\text{Ауд2}} = N_{\text{РАБ2}}/N_{\text{Зад2}},$$

где $N_{\text{Пос2}}$ – количество посещенных занятий (лекций и семинаров) во втором модуле, N_2 - общее количество занятий во втором модуле, $N_{\text{РАБ2}}$ – количество выполненных заданий в аудитории на семинарах и лекциях во втором модуле, $N_{\text{Зад2}}$ – общее количество заданий, предназначенных к выполнению на семинарах и лекциях второго модуля, $O_{\text{Дом2}}$ – оценка за выполнение и защиту домашнего задания второго модуля, действительное число от 0 до 1, $O_{\text{КОНСП2}}$ – оценка за конспект избранных глав, действительное число от 0 до 1.

Итог

Накопленная оценка за весь курс вычисляется по следующей формуле:

$$O_{\text{НАК}} = 0.5 \cdot O_{\text{МОД1}} + 0.5 \cdot O_{\text{МОД2}}$$

Итоговая оценка за курс, которая заносится в ведомость вычисляется по следующей формуле:

$$O_{\text{ИТОГ}} = 0.5 \cdot O_{\text{НАК}} + 0.5 \cdot O_{\text{ЭКЗ}},$$

где $O_{\text{ЭКЗ}}$ – оценка за экзамен.

4. Примеры оценочных средств

Блокирующие элементы не предусмотрены.

Примеры домашних заданий:

1. Л. Сегерлинд «Применение метода конечных элементов», стр. 235, # 12.5.1
2. <https://yadi.sk/i/dffog6Ar3MTQfv>

Список приблизительных вопросов к экзамену:

1. Трехузловой конечный элемент в двумерном пространстве. Функции формы этого элемента. Матрицы N , B и D .
2. Матрица жесткости трехузлового конечного элемента в двумерном пространстве. Формирование глобальной матрицы жесткости с реализацией в Python.
3. Тензоры деформаций и напряжений. Расчет тензоров деформаций, напряжений для трехузлового конечного элемента в двумерном пространстве. Усреднение напряжений и деформаций в узлах.
4. Свойства тензора напряжений. Главные напряжения. Шаровой тензор и девиатор.
5. Уравнения МКЭ теории упругости. Вывод из принципа минимума полной потенциальной энергии.
6. Тензоры деформаций и напряжений. Обобщенный закон Гука.
7. Для заданного треугольного элемента и граничных условий рассчитать перемещения узлов, тензоры деформации и напряжения, главное напряжение.
8. Алгоритм пересчета распределенных граничных и массовых сил на узлы, алгоритм сглаживания напряжений и деформаций.
9. Методы оптимизации.
10. Многокритериальная оптимизация, оптимум по Парето.
11. Методы многокритериальной оптимизации.
12. Привести примеры критериев и алгоритмы их вычисления для упругой задачи движения сплошной среды.

5. Ресурсы

5.1. Рекомендуемая основная литература

№п/п	Наименование
1	Степин, П. А. Сопротивление материалов: учебник / П. А. Степин. – 7-е изд. – М.: Высш. шк., 1983. – 303 с.
2	Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов: учебник для вузов / В. И. Феодосьев. – Изд. 9-е, перераб. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 512 с.

3	Александров, А. В. Сопротивление материалов: учебник для вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин; Под ред. А. В. Александрова. – Изд. 2-е, испр. – М.: Высш. шк., 2001. – 560 с.
4	Галлагер, Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галлагер; Пер. с англ. В. М. Картвелишвили; Под ред. Н. В. Баничука. – 1984. – 428 с. https://yadi.sk/i/DDgEeo4XHOfeog
5	Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд; Пер. с англ. А. А. Шестакова; Под ред. Б. Е. Победри. – М.: Мир, 1979. – 392 с. https://yadi.sk/i/a3jJtJpohG1tOw

5.2. Рекомендуемая дополнительная литература

№п/п	Наименование
1	Гончаров, В. А. Методы оптимизации: учеб. пособие для вузов / В. А. Гончаров. – М.: Высшее образование, 2009. – 191 с. – (Сер. "Основы наук") . - Ц(7.05). - ISBN 978-5-9692033-7-2.
2	Нуньес-Иглесиас, Х. Элегантный SciPy: искусство научного программирования на Python / Х. Нуньес-Иглесиас, Ш. ван дер Уолт, Х. Дэшноу; Пер. с англ. А. В. Логунова. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 265 с. - ISBN 9785970606001.
3	Соболь, И. М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И. М. Соболь, Р. Б. Статников. – М.: Наука, 1981. – 110 с.
4	Кини, Р. Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р. Л. Кини, Х. Райфа; Пер. с англ. В. В. Подиновского, и др.; Под ред. И. Ф. Шахнова; Послесл. Г. С. Пospelова. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.

5.3. Программное обеспечение

№п/п	Наименование	Условия доступа/скачивания
1	Anaconda Distribution	Свободное лицензионное соглашение

5.4. Профессиональные базы данных, информационные справочные системы, интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)

№п/п	Наименование	Условия доступа/скачивания

5.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения лекций необходима аудитория с проекционным оборудованием. Для проведения семинарских занятий необходим компьютерный класс с установленным ПО Anaconda Distribution.

6. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида, могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

6.1.1. *для лиц с нарушениями зрения:* в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

6.1.2. *для лиц с нарушениями слуха:* в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

6.1.3. *для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:* в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.