

Инструментальные средства моделирования

Модуль 1

Домашнее задание

Бобер С.А.

November 2, 2023

Введение

Материал, прочитанный на лекциях и примеры решения задач доступны в кратком содержании курса и в соответствующем классе Google Classroom.

Задание

Построить алгоритм численного решения и оптимизации предложенной в конкретном варианте задачи на языке Python (с использованием библиотек numpy, scipy, matplotlib) и визуализировать результаты. Решение может быть выполнено как в Jupyter Notebook, так и в PyCharm/VS Code.

Должны быть построены следующие рисунки:

- Рисунок 1. Сетка конечных элементов. Элементы отображаются треугольниками, узлы - точками. Элементы и узлы должны быть отображены разными цветами. Отобразить номера граничных узлов.

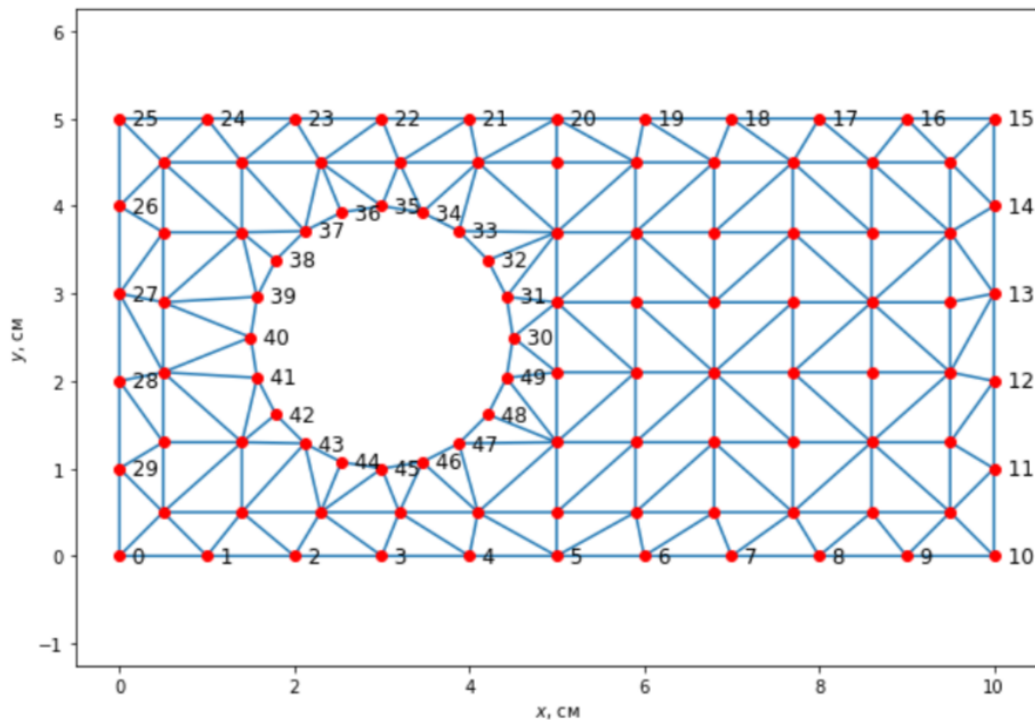


Рис. 1. Сетка конечных элементов

- Рисунок 2. Контурная карта главных напряжений.

Под главным напряжением здесь понимается максимальное по модулю из двух собственных чисел тензора напряжений.

Должны быть отображены:

- начальная форма границы детали,
- контурная карта поля главных напряжений в узлах (знак поля должен быть учтен на карте),
- координаты узлов должны учитывать перемещение (с учетом масштабного коэффициента), полученное в результате решения задачи,
- цветовая шкала (colorbar), цвета и значения в которой соответствуют отображенному полю,
- значения главного напряжения в тех узлах, где заданы граничные условия, а также в узлах с максимальным и минимальным по модулю среди всех узлов значением главного напряжения.

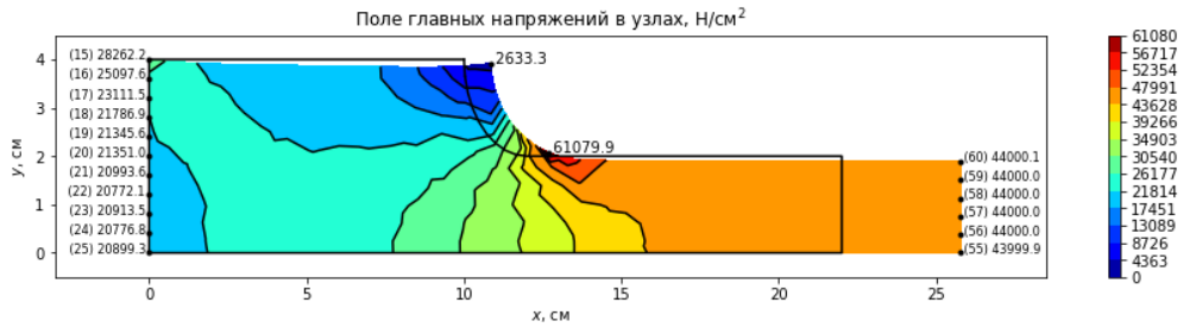


Рис. 2. Контурная карта главных напряжений

- Рисунок 3. Интерактивный рисунок, демонстрирующий формоизменение детали.

На рисунке должны быть отображены:

- цветовая карта главных напряжений,
- элемент управления слайдер **Scale**, позволяющий изменять масштаб формоизменения от 0 до 1. Масштаб, равный 1, соответствует максимальному перемещению в 10% характерного размера детали.

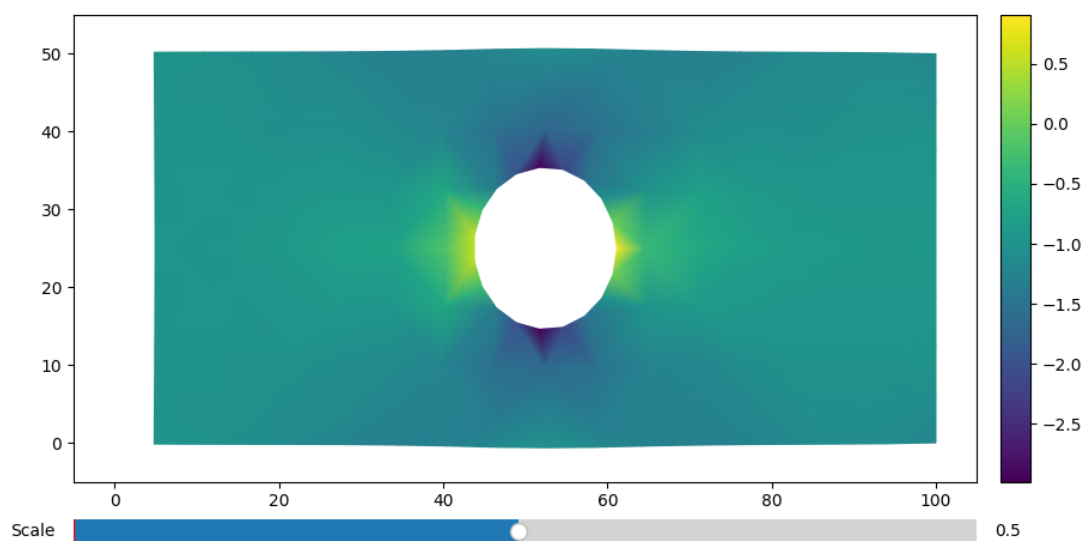
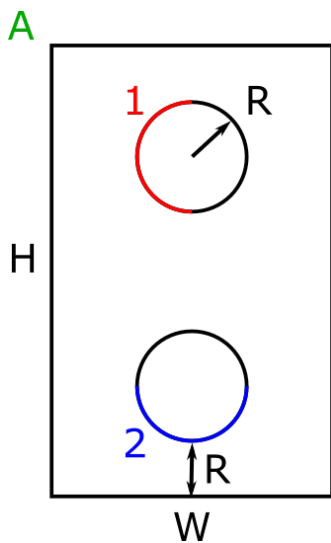
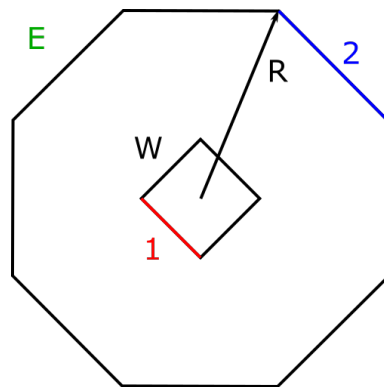
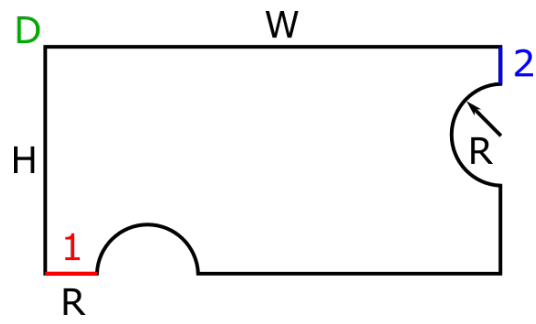
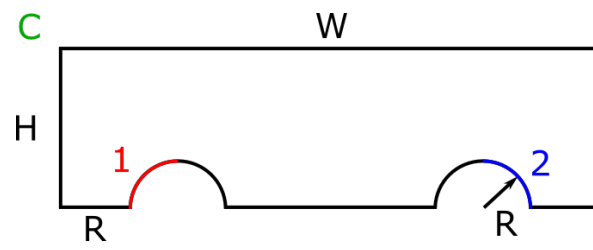
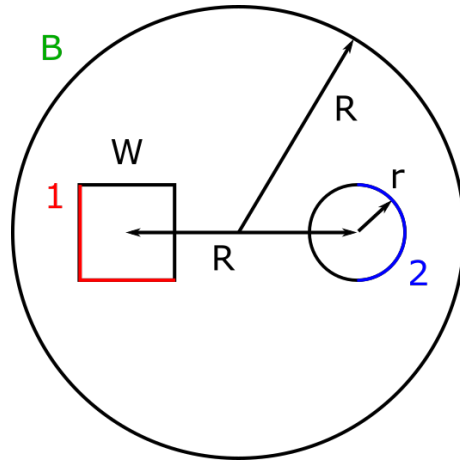


Рис. 3. Интерактивный рисунок

Типы деталей

На рисунке 3 приведены изображения 6 типов деталей *A* - *F*. Детали характеризуются размерами L , H , W и радиусом R . На каждой детали указаны зоны границ, пронумерованные 1, 2, 3.





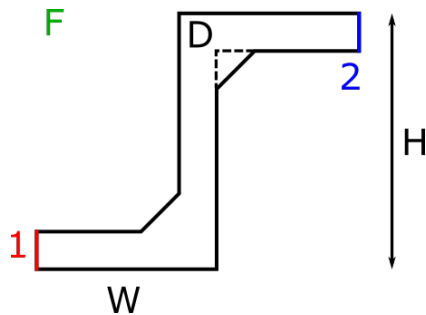


Рис. 3. Типовые детали

Свойства материала

В качестве материала для деталей послужит конструкционная сталь различного качества. В таблице 1 указаны упругие свойства этих сталей, необходимые для расчетов.

E - модуль упругости (Юнга),

σ_T - предел текучести при растяжении.

Табл. 1. Свойства материалов

№	E , ГПа	μ	σ_T , МПа
1	200	0.27	300
2	210	0.29	600
3	220	0.31	900

Критерий оптимизации

В этом задании принимается следующий простейший критерий оптимизации - критерий выхода из зоны упругости: если максимальное по модулю главное напряжение по всему объему детали превышает предел текучести σ_T .

Этапы решения

- Построение разбиения границы, генерации узлов и конечных элементов для указанного типа детали;
- Построение глобальной матрицы жесткости;
- Расчет граничных условий в указанных зонах (1-2) и внесение их в систему уравнений МКЭ;
- Решение задачи теории упругости при фиксированном параметре, и визуализация полученных при решении данных;
- Проверка корректности решения, исправление ошибок;
- Создание процедуры для оптимизации задачи по указанному в условии задачи параметру;
- Выполнение оптимизации и визуализация результатов.

Варианты заданий

Вариант 1

Рассчитать минимальную толщину t (см), при которой деталь A упруго деформируется равномерно распределенной по зоне границы 1 нагрузкой $P = 20$ кг под углом 45° . Деталь изготовлена из стали №2, имеет размеры $H, W, R = 10, 4, 1$ см, а зона границы 2 не перемещается.

Вариант 2

Равномерно распределенная нагрузка $P = 30$ кг, приложенная к зоне 2 под углом -30° , деформирует деталь B с размерами $R, W, r = 6, 1, 2$ см. Найти наименьшую толщину детали t (см), при которой не возникает пластической деформации, если зона 1 неподвижна, а деталь изготовлена из стали №1.

Вариант 3

Рассчитать максимальное смещение U (см) детали C , которое она способна выдержать (до возникновения пластической деформации) при воздействии равномерно распределенного усилия P (кг) на зону границы 1 под углом 15° . Деталь имеет размеры $R, H, W = 3, 10, 10$ см, толщину - 5 (см), материал - №2, а зона границы 2 закреплена.

Вариант 4

Деталь D с размерами $R, H, W = 2, 9, 7$ см и толщиной 3 см подвержена упругой деформации посредством приложенного к зоне 2 равномерно распределенного усилия P (кг), действующего под углом 45° . Зона 1 неподвижна. Определить наибольшее смещение детали U (см) при условии сохранения упругой деформации, если деталь изготовлена из стали №3.

Вариант 5

Рассчитать максимальную величину равномерно распределенного усилия P (Н/см²), приходящегося на зону границы 1 и действующего под углом -15° , которую деталь E из стали №2 способна выдержать (не допуская пластической деформации). Размеры детали - $R, W = 7, 1$ см, толщина - 6 см. Зона 2 закреплена.

Вариант 6

Зона 2 границы детали F закреплена, а зона 1 равномерно нагружена усилием P (Н/см²) под углом -60° . Деталь задана следующими размерами: $H, W, D = 6, 4, 1$ см и толщиной $t = 2$ см. При условии сохранения упругости деформации определить наибольшую величину усилия P , если деталь изготовлена из стали №1.

Вариант 7

Рассчитать минимальную толщину t (см), при которой деталь A упруго деформируется равномерно распределенной по зоне границы 2 нагрузкой $P = 45$ кг под углом 30° . Деталь изготовлена из стали №1, имеет размеры $H, W, R = 8, 8, 1$ см, а зона границы 1 не перемещается.

Вариант 8

Равномерно распределенная нагрузка $P = 30$ кг, приложенная к зоне 1 под углом -105° , деформирует деталь B с размерами $R, W, r = 6, 3, 1$ см. Найти наименьшую толщину детали t (см), при которой не возникает пластической деформации, если зона 2 неподвижна, а деталь изготовлена из стали №1.

Вариант 9

Рассчитать максимальное смещение U (см) детали C , которое она способна выдержать (до возникновения пластической деформации) при воздействии равномерно распределенного усилия P (кг) на зону границы 2 под углом 60° . Деталь имеет размеры $R, H, W = 1, 4, 7$ см, толщину - 9 (см), материал - №1, а зона границы 1 закреплена.

Вариант 10

Деталь D с размерами $R, H, W = 1, 6, 5$ см и толщиной 3 см подвержена упругой деформации посредством приложенного к зоне 1 равномерно распределенного усилия P (кг), действующего под углом -60° . Зона 2 неподвижна. Определить наибольшее смещение детали U (см) при условии сохранения упругой деформации, если деталь изготовлена из стали №1.

Вариант 11

Рассчитать максимальную величину равномерно распределенного усилия P (Н/см²), приходящегося на зону границы 2 и действующего под углом -120° , которую деталь E из стали №1 способна выдержать (не допуская пластической деформации). Размеры детали - $R, W = 5, 1$ см, толщина - 9 см. Зона 1 закреплена.

Вариант 12

Зона 1 границы детали F закреплена, а зона 2 равномерно нагружена усилием P (Н/см²) под углом 75° . Деталь задана следующими размерами: $H, W, D = 8, 4, 2$ см и толщиной $t = 3$ см. При условии сохранения упругости деформации определить наибольшую величину усилия P , если деталь изготовлена из стали №2.

Вариант 13

Рассчитать минимальную толщину t (см), при которой деталь A упруго деформируется равномерно распределенной по зоне границы 1 нагрузкой $P = 45$ кг под углом 15° . Деталь изготовлена из стали №3, имеет размеры $H, W, R = 7, 5, 1$ см, а зона границы 2 не перемещается.

Вариант 14

Равномерно распределенная нагрузка $P = 45$ кг, приложенная к зоне 2 под углом -105° , деформирует деталь B с размерами $R, W, r = 12, 5, 4$ см. Найти наименьшую толщину детали t (см), при которой не возникает пластической деформации, если зона 1 неподвижна, а деталь изготовлена из стали №1.

Вариант 15

Рассчитать максимальное смещение U (см) детали C , которое она способна выдержать (до возникновения пластической деформации) при воздействии равномерно распределенного усилия P (кг) на зону границы 1 под углом 75° . Деталь имеет размеры $R, H, W = 2, 3, 10$ см, толщину - 2 (см), материал - №3, а зона границы 2 закреплена.

Вариант 16

Деталь D с размерами $R, H, W = 1, 5, 5$ см и толщиной 9 см подвержена упругой деформации посредством приложенного к зоне 2 равномерно распределенного усилия P (кг), действующего под углом -75° . Зона 1 неподвижна. Определить наибольшее смещение детали U (см) при условии сохранения упругой деформации, если деталь изготовлена из стали №3.

Вариант 17

Рассчитать максимальную величину равномерно распределенного усилия P (Н/см²), приходящегося на зону границы 1 и действующего под углом -75° , которую деталь E из стали №1 способна выдержать (не допуская пластической деформации). Размеры детали - $R, W = 6, 2$ см, толщина - 4 см. Зона 2 закреплена.

Вариант 18

Зона 2 границы детали F закреплена, а зона 1 равномерно нагружена усилием P (Н/см²) под углом 120° . Деталь задана следующими размерами: $H, W, D = 6, 4, 1$ см и толщиной $t = 2$ см. При условии сохранения упругости деформации определить наибольшую величину усилия P , если деталь изготовлена из стали №3.

Вариант 19

Рассчитать минимальную толщину t (см), при которой деталь A упруго деформируется равномерно распределенной по зоне границы 2 нагрузкой $P = 25$ кг под углом 45° . Деталь изготовлена из стали №3, имеет размеры $H, W, R = 8, 3, 1$ см, а зона границы 1 не перемещается.

Вариант 20

Равномерно распределенная нагрузка $P = 15$ кг, приложенная к зоне 1 под углом 90° , деформирует деталь B с размерами $R, W, r = 7, 1, 3$ см. Найти наименьшую толщину детали

t (см), при которой не возникает пластической деформации, если зона 2 неподвижна, а деталь изготовлена из стали №1.

Вариант 21

Рассчитать максимальное смещение U (см) детали C , которое она способна выдержать (до возникновения пластической деформации) при воздействии равномерно распределенного усилия P (кг) на зону границы 2 под углом 30° . Деталь имеет размеры $R, H, W = 2, 4, 10$ см, толщину - 8 (см), материал - №2, а зона границы 1 закреплена.

Вариант 22

Деталь D с размерами $R, H, W = 2, 7, 8$ см и толщиной 9 см подвержена упругой деформации посредством приложенного к зоне 1 равномерно распределенного усилия P (кг), действующего под углом 75° . Зона 2 неподвижна. Определить наибольшее смещение детали U (см) при условии сохранения упругой деформации, если деталь изготовлена из стали №2.

Вариант 23

Рассчитать максимальную величину равномерно распределенного усилия P (Н/см²), приходящегося на зону границы 2 и действующего под углом -30° , которую деталь E из стали №2 способна выдержать (не допуская пластической деформации). Размеры детали - $R, W = 6, 3$ см, толщина - 2 см. Зона 1 закреплена.

Вариант 24

Зона 1 границы детали F закреплена, а зона 2 равномерно нагружена усилием P (Н/см²) под углом -120° . Деталь задана следующими размерами: $H, W, D = 6, 4, 2$ см и толщиной $t = 1$ см. При условии сохранения упругости деформации определить наибольшую величину усилия P , если деталь изготовлена из стали №3.

Вариант 25

Рассчитать минимальную толщину t (см), при которой деталь A упруго деформируется равномерно распределенной по зоне границы 1 нагрузкой $P = 40$ кг под углом 75° . Деталь изготовлена из стали №2, имеет размеры $H, W, R = 16, 4, 2$ см, а зона границы 2 не перемещается.

Вариант 26

Равномерно распределенная нагрузка $P = 40$ кг, приложенная к зоне 2 под углом -75° , деформирует деталь B с размерами $R, W, r = 8, 2, 1$ см. Найти наименьшую толщину детали t (см), при которой не возникает пластической деформации, если зона 1 неподвижна, а деталь изготовлена из стали №1.

Вариант 27

Рассчитать максимальное смещение U (см) детали C , которое она способна выдержать (до возникновения пластической деформации) при воздействии равномерно распределенного усилия P (кг) на зону границы 1 под углом 15° . Деталь имеет размеры $R, H, W = 1, 2, 7$ см, толщину - 4 (см), материал - №1, а зона границы 2 закреплена.

Вариант 28

Деталь D с размерами $R, H, W = 1, 5, 9$ см и толщиной 5 см подвержена упругой деформации посредством приложенного к зоне 2 равномерно распределенного усилия P (кг), действующего под углом 0° . Зона 1 неподвижна. Определить наибольшее смещение детали U (см) при условии сохранения упругой деформации, если деталь изготовлена из стали №2.

Вариант 29

Рассчитать максимальную величину равномерно распределенного усилия P (Н/см²), приходящегося на зону границы 1 и действующего под углом -60° , которую деталь E из стали №3 способна выдержать (не допуская пластической деформации). Размеры детали - $R, W = 5, 2$ см, толщина - 3 см. Зона 2 закреплена.