Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им Н.Э. Баумана)

Факультет «Робототехника и комплексная автоматизация»

Кафедра «Системы автоматизированного проектирования» (РК6)

Отчет

По лабораторной работе №2

по дисциплине «Прикладная механика»

по теме «Расчет статически-неопределимой балки методом конечных элементов»

Выполнил: студент группы РК6-34Б, Блинов Д.Ю.

Проверил: декан факультета РК, Шашурин Г.В.

Москва

2019

Вариант 2

Постановка задачи

Составить конечно-элементную программу для расчета статически-неопределимой балки и проверить корректность ее работы с использованием Siemens NX.

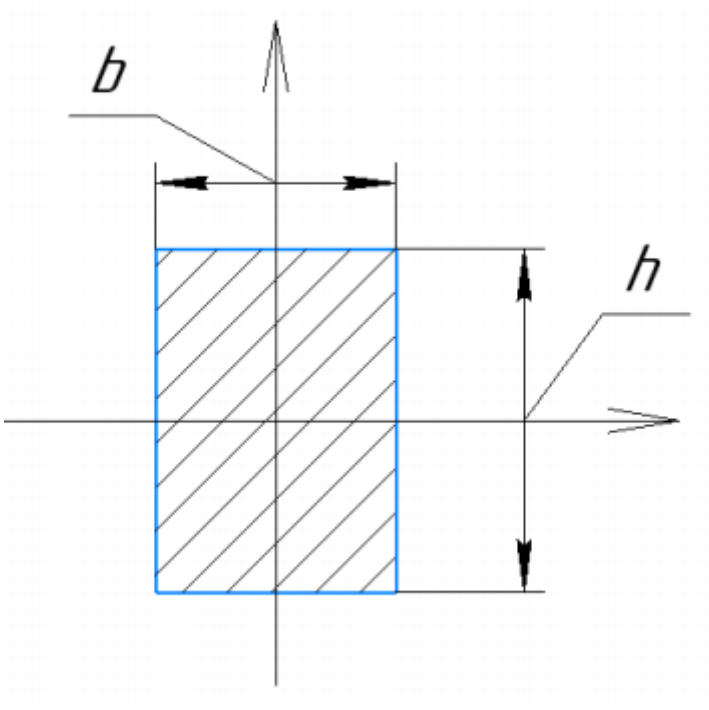
Исходные данные:

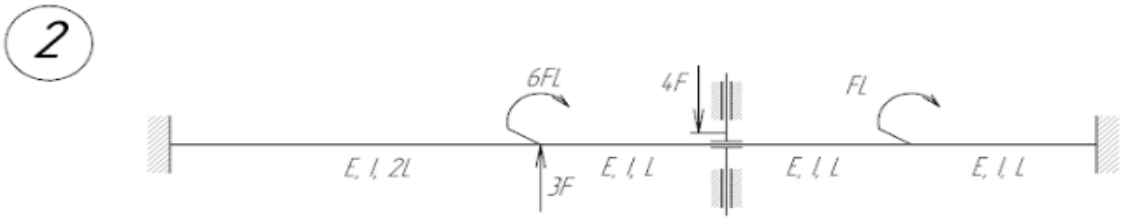
Материал балки: сталь (модуль Юнга E = 2e11 Па).

Сечение балки: прямоугольное (см. рисунок).

Геометрические параметры балки: l = 0.1 м, b = 10 мм, h = 20 мм.

Величина нагрузки: F = 10 Н.





Описание алгоритма работы составленной конечно-элементной программы на языке Python

1) Задание исходных данных пользователем:

b, h - параметры сечения;

l- длина балки;

F - вектор силовых нагрузок;

E - модуль Юнга;

U - вектор ограничений, задаваемых пользователем;

n_el - количество элементов;

N_dof_el - количество степеней свободы элемента.

2) Реализация 4 функций, которые выполняются последовательно:

1. stiffness_element_matrix - функция, формирующая матрицу жесткости каждого КЭ. На вход принимает параметры КЭ.
2. index_matrix - функция, формирующая матрицу индексов для балочных элементов. На вход принимает количество КЭ, количество степеней свободы каждого КЭ.
3. ensemble - функция, которая выполняет ансамблирование. На вход принимает матрицы жесткости КЭ, матрицу индексов, количество степеней свободы системы и количество степеней свободы отдельного элемента.
4. boundary_conditions_modification - функция, выполняющая наложение граничных условий. На вход принимает глобальную матрицу жесткости, полученную в результате ансамблирования, количество степеней свободы системы и вектор U.

3) В результате формируется и выводится на экран вектор u узловых перемещений.

Результаты расчета

(вектор узловых перемещений)

Таблица 1. Результаты работы программы.

Перемещение по узлам (мм)	0.000	0.005	0.014	0.007	0.000
Вращение по узлам (радианы)	0.000	0.00018	0.000	0.0009	0.000

Текст программы

```
import numpy as np

def index_matrix(n_el, N_dof_el):

    a = 0

    matrix = np.zeros((n_el, N_dof_el))
```

```
    for i in range(n_el):
        for j in range(N_dof_el):
            matrix[i][j] = j + 1 + a
        a = a + 2
    return matrix
def stiffness_element_matrix(E, L, J):
    K_e = [[12*E*J/np.power(L, 3), 6*E*J/np.power(L, 2), -12*E*J/np.power(L, 3),
6*E*J/np.power(L, 2)],
           [6*E*J/np.power(L, 2), 4*E*J/L, -6*E*J/np.power(L, 2), 2*E*J/L],
           [-12*E*J/np.power(L, 3), -6*E*J/np.power(L, 2), 12*E*J/np.power(L, 3), -
6*E*J/np.power(L, 2)],
           [6*E*J/np.power(L, 2), 2*E*J/L, -6*E*J/np.power(L, 2), 4*E*J/L]]
    return K_e
def ensemble(K, M_i, N_dof_system, N_dof_el):
    K_g = np.zeros((N_dof_system, N_dof_system))
    b = N_dof_el
    offset = 0
    for i in range(n_el):
        for j in range(N_dof_el):
            K_g[j + offset][offset: 4 + offset] = K_g[j + offset][offset:4 + offset] +
K[i][j]
        offset = offset + 2
    return K_g
def boundary_conditions_modification(K_g, U, N_dof_system):
    for i in range(N_dof_system):
        if (U[i] == 0):
            K_g[..., i] = 0
            K_g[i,...] = 0
            K_g[i][i] = 1
    return K_g
n_el = int(input("Введите количество элементов: "))
N_dof_el = 4
N_dof_system = int((n_el + 1) * N_dof_el / 2)
E = 2e11
b = 10
h = 20
U = [0, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0]
```

```
F = [ 0, 0, 30, -6000, -40, 0, 0, -1000, 0, 0]
J = float(b * np.power(h, 3) / 12)
K = []
for i in range(0, n_el):
    L = float(input("Введите длину элемента: "))
    K.append(stiffness_element_matrix(E, L, J))
M_i = index_matrix(n_el, N_dof_el)
K_g = ensemble(K, M_i, N_dof_system, N_dof_el)
K_mod = boundary_conditions_modification(K_g, U, N_dof_system)
u = np.linalg.inv(K_mod).dot(F)
print("Вектор узловых перемещений: ", u)
```

Описание выполнения расчета заданной системы в программе Siemens NX

1) CAD-модуль. Создание геометрии рассчитываемого объекта.

1. Создание нового файла модели.
2. Построение геометрии (линии) с использованием параметра “через 2 точки”.
3. Сохранение файла.

2) CAE-модуль. Создание конечно-элементной модели.

1. Создание нового файла КЭ модели.
2. Установление вязи с файлом геометрии: выбор параметра импортирования геометрии “Прямые”.
3. Выбор параметра “1D сетка” для создания КЭ сетки.
4. Задание размера КЭ.
5. Задание параметров КЭ (материал: AISI_Steel_1005, поперечное сечение: его тип и размеры).
6. Сохранение файла.

3) Задание граничных условий (закрепления и силовые факторы).

1. Создание файла “SIM”.
2. Выбор типа закрепления и узла, который нужно закрепить.
3. Выбор силового внешнего фактора (сила и момент, задание их величины и направления) и узла, к которому внешний силовой фактор прикладывается.
4. Выбор отображения КЭ модели.
5. Сохранение файла.

4) Просмотр результатов.

Результаты расчета в Siemens NX

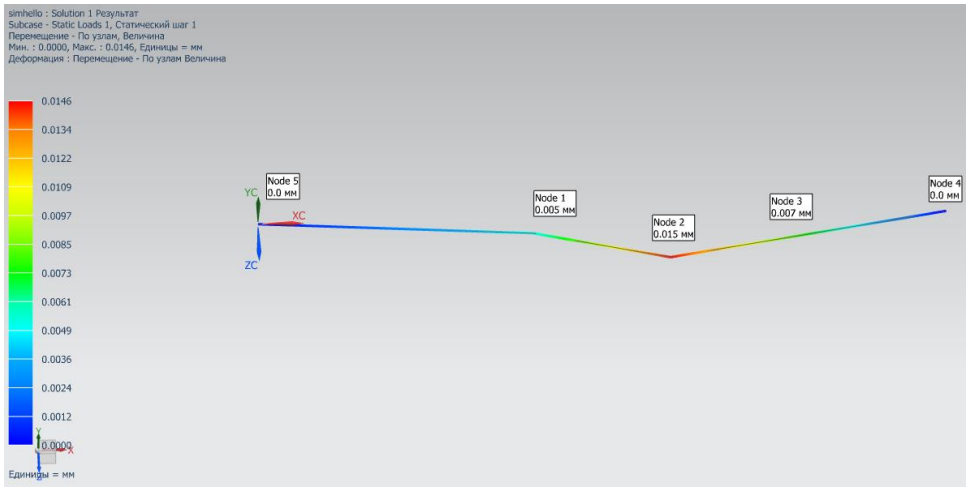


Рисунок 1. Перемещение по узлам.

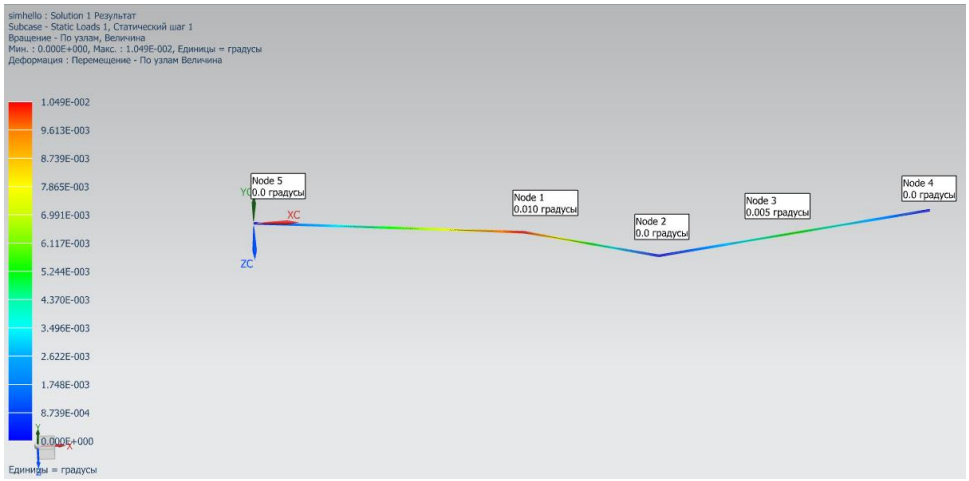


Рисунок 2. Вращение по узлам.

Сравнение результатов

Таблица 2. Сравнение результатов работы программы и Siemens NX.

Перемещение по узлам (мм)	Python	0.000	0.005	0.014	0.007	0.000
	Siemens NX	0.000	0.005	0.015	0.007	0.000
Вращение по узлам (радианы)	Python	0.000	0.00018	0	0.0009	0
	Siemens NX	0.000	0.00017	0.0	0.0008	0.000

Вывод

Результаты работы программы практически полностью совпадают с результатами работы Siemens NX.

Следовательно, составленная программа для расчета статически-неопределимой балки работает корректно.