



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 «Теория машин и механизмов»

## Лабораторная работа №2

### Вариант 1

---

ПО ДИСЦИПЛИНЕ: «Прикладная механика»

Студент РК6-33Б  
(группа)

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата) Г.С.Агаев  
(И.О.Фамилия)

Проверил

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата) Г.В.Шашурин  
(И.О.Фамилия)

2019г.

## Отчет по лабораторной работе №3 «Расчет статически-неопределимой балки методом конечных элементов»

**Задача:** 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  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па).

Сечение балки: прямоугольное (см. рисунок 1).

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

Величина нагрузки:  $F = 10$  Н.

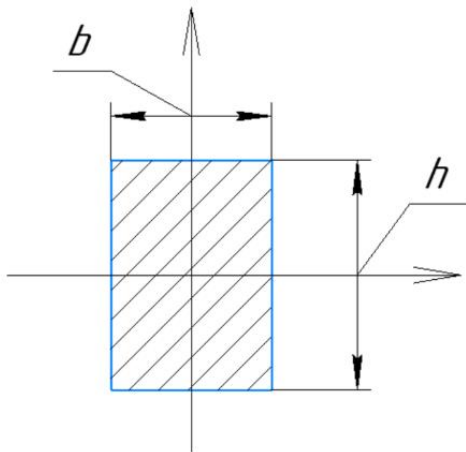


Рисунок 1. Поперечное сечение балки

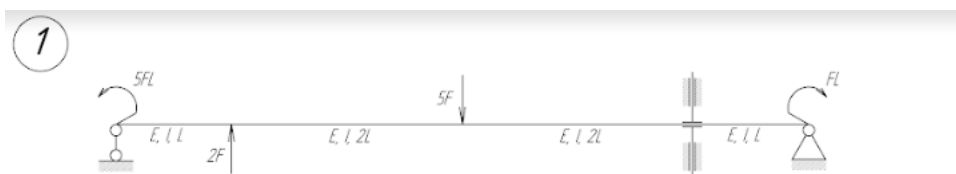


Рисунок 2. Балка

## Последовательность выполнения лабораторной работы №2

Работа выполняется в два этапа:

- 1) Составление конечно-элементной программы в Matlab и решение исходной заданной системы.
- 2) Выполнение расчета исходной системы в программе Siemens NX.

## 1. Составление конечно-элементной программы в Matlab и решение исходной заданной системы

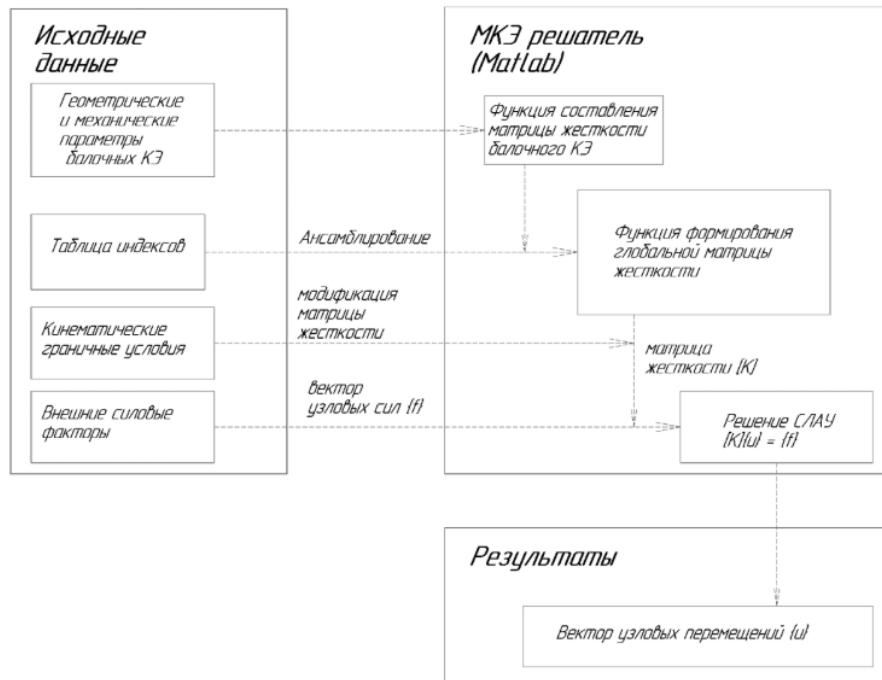


Рисунок 3. Блок-схема конечно-элементной программы в Matlab

### Описание алгоритма решения

Задаем исходные данные:

- $b, h$  – ширина и высота сечения;
- $J_y$  – момент инерции;
- $l$  – длина единичного отрезка;
- $E$  – модуль Юнга;
- $F$  – величина силы;
- $N_{el}$  – кол-во КЭ в системе;
- $E_{sys}$  – вектор упругих свойств системы;
- $L_{sys}$  – вектор длин конечных элементов;
- $N_{dofs}$  – кол-во степеней свободы системы;
- $K_{global}$  – глобальная матрица жёсткости;
- $U_{node}$  – вектор граничных условий;
- $F_{node}$  – вектор внешних сил и моментов;
- $K_{local}$  – локальная матрица жесткости;
- $Index\_M$  – матрица индексов.

```
function main
format long
```

```

h = 20; % Высота сечения, мм
b = 10; % Ширина сечения, мм
Jy = (b*h^3)/12; % Момент инерции сечения
l = 100; % Длина, мм
E = 2e5; % Модуль Юнга
F = 10; % Сила, Н
N_el = 4; % Кол-во КЭ в системе
E_sys = [E, E, E, E]; % Вектор упругих свойств системы
L_sys = [l, l*2, l*2, l]; % Вектор длин конечных элементов
N_dofs = 2*(N_el + 1); % Кол-во степеней свободы системы
K_global = zeros(N_dofs); % Глобальная матрица жёсткости
U_node = [1,0, 0,0, 0,0, 0,1, 1,0]; % Вектор граничных условий
F_node = [0,5*F*l, 2*F,0, -5*F,0, 0,0, 0,-F*l]; % Вектор внешних сил и
моментов
K_local = zeros(4); % Локальная матрица жёсткости
Index_M = [1:4; % Матрица индексов
3:6;
5:8;
7:10;];

for i = 1:N_el % Вычисление матрицы жёсткости для каждого КЭ и
ансамблирование
    K_local = K_loc_calc(L_sys(i), E_sys(i), Jy);
    for j = 1:4
        for k = 1:4
            K_global(Index_M(i, j),Index_M(i, k)) = K_global(Index_M(i,
j),Index_M(i, k))+K_local(j,k);
        end
    end
end

for i = 1:N_dofs % Наложение кинематических граничных условий
    if(U_node(i) == 1)
        K_global(i, :) = 0;
        K_global(:, i) = 0;
        K_global(i, i) = 1;
    end
end

U = pinv(K_global)*F_node';

```

```

for i = 1:N_dofs % Вывод вектора перемещений на экран
    if(rem(i,2) == 1)
        disp(sprintf('%f mm',U(i))) % Вывод перемещений в мм
    else
        disp(sprintf('%f deg',U(i)*180/pi)) % Вывод угла поворота в градусах
    end
end
end

function K = K_loc_calc(L, E, J) % Вычисление матрицы жесткости для
плоского балочного элемента
    K = [12*E*J/(L^3), 6*E*J/(L^2), -12*E*J/(L^3), 6*E*J/(L^2);
        6*E*J/(L^2), 4*E*J/L, -6*E*J/(L^2), 2*E*J/L;
        -12*E*J/(L^3), -6*E*J/(L^2), 12*E*J/(L^3), -6*E*J/(L^2);
        6*E*J/(L^2), 2*E*J/L, -6*E*J/(L^2), 4*E*J/L];
end

```

### **Результат работы программы:**

```

0.000000 mm
0.020684 deg
0.018770 mm
0.001637 deg
-0.002143 mm
-0.004638 deg
-0.000913 mm
0.000000 deg
0.000000 mm
-0.000290 deg

```

Выполнение расчета исходной системы в программе Siemens NX  
CAD-модуль, создание геометрической модели:

- 1) Создаем новый файл (модель моделирования)
- 2) Создаем плоский эскиз (строим линию вдоль оси z) и задаем размер.
- 3) Сохраняем файл.

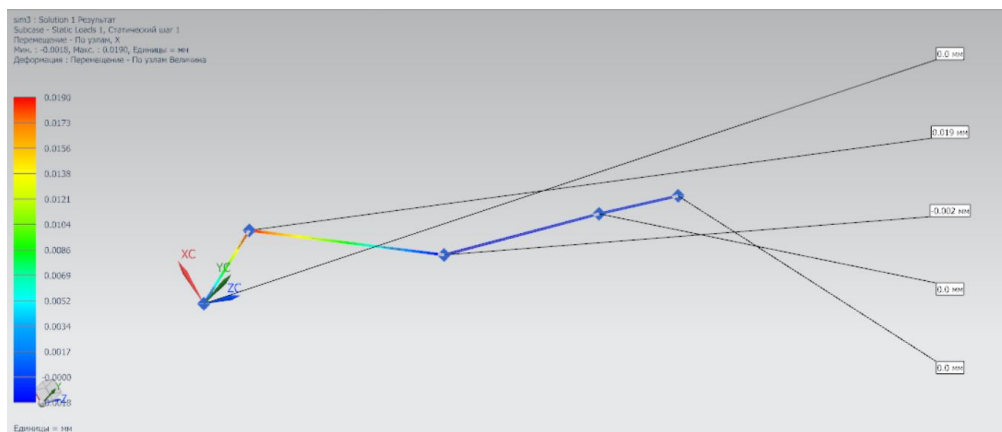
CAE-модуль, создание конечно-элементной модели кронштейна

- 1) Создаем новый файл (NXNastranКЭ модель)
- 2) Связываем файл с моделью (В появившемся окне: «Геометрия» -> «Опции геометрии» -> «прямые». Нажимаем «ОК».)

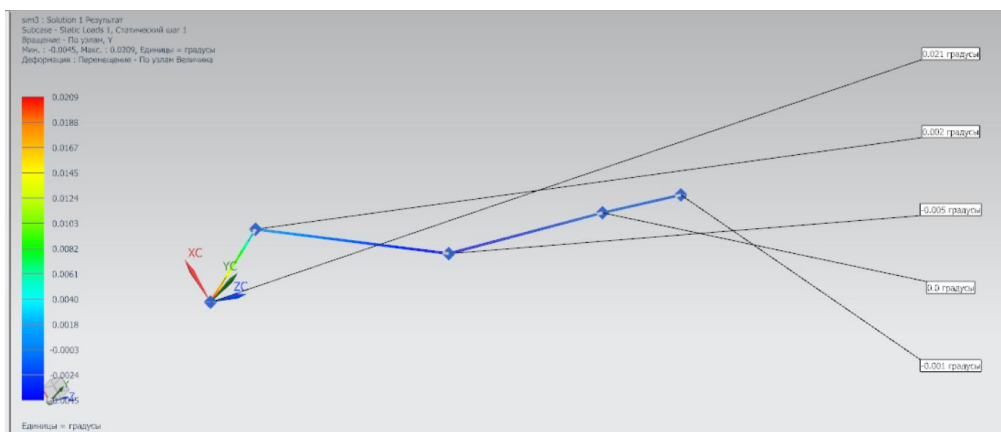
- 3) Создаем конечно-элементную сетку. Выбираем параметр "1D сетка" и применяем к нашей модели. Число элементов выбираем равным 50. Допуск объединения узлов выбираем равным 1.
- 4) Создаем поперечное сечение.
- 5) Выбираем тип материала "AISI\_STEEL\_1005".
- 6) Сохраняем файл.

CAE-модуль, решение прочностной задачи

- 1) Создаем новый файл (NXNastranСим).
- 2) Связываем с файлом конечно-элементной модели, для этого в появившемся окне нажимаем «ОК».
- 3) Задаем граничные условия. Выбираем в верхнем меню «Тип закрепления» -> «Ограничение задаваемое пользователем». В левом верхнем углу в фильтре выбора ставим «Узел». Выбираем нужный узел и ставим «фиксировано» в необходимом месте.
- 4) Задаем внешний силовой фактор. Выбираем в верхнем меню «Тип нагрузки» -> «Сила». Выбираем нужный узел и прикладываем к нему силу. Задаем вектор направления силы.
- 5) Задаем момент. Выбираем в верхнем меню «Тип нагрузки» -> «Момент». Выбираем нужный узел и прикладываем к нему момент. Задаем вектор направления момента.
- 6) Сохраняем файл.
- 7) Запускаем решение.
- 8) Знакомимся с результатами.



**Рисунок 4. Линейные перемещения**



**Рисунок 5. Угловое перемещение**

	Линейное перемещение					Угловое перемещение				
Номер узла	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Matlab	0	0.018770	-0.002143	-0.000913	0	0.020684	0.001637	-0.004638	0	- 0.000290
NX	0	0.019	-0.002	0	0	0.021	0.002	-0.005	0	-0.001

**Таблица №1. Сравнение результатов**

## Вывод

Сравнив полученные в NX и MatLab значения, можно сделать вывод, что полученные в обеих программах результаты приблизительно равны, так как в обоих случаях использовался один и тот же метод (метод конечных элементов).