

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего

профессионального образования

«Московский Государственный Технический Университет

имени Н.Э. Баумана»

Национальный исследовательский университет техники и
технологий

(МГТУ им. Н.Э.Баумана)

Факультет «Робототехника и комплексная автоматизация» Кафедра

«Системы автоматизированного проектирования»

(РК-6)

Отчет по лабораторной работе №2

По дисциплине «Прикладная механика

Выполнил студент группы РК6-34Б:

Морозов Андрей

Москва, 2018 г.

Лабораторная работа №2

«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 $E = 2e11$ 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.

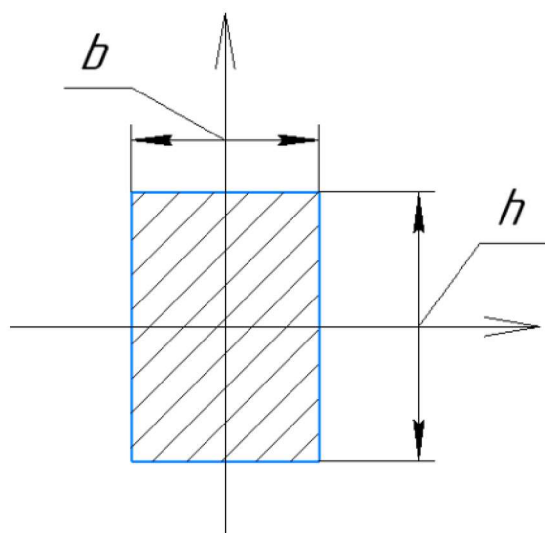
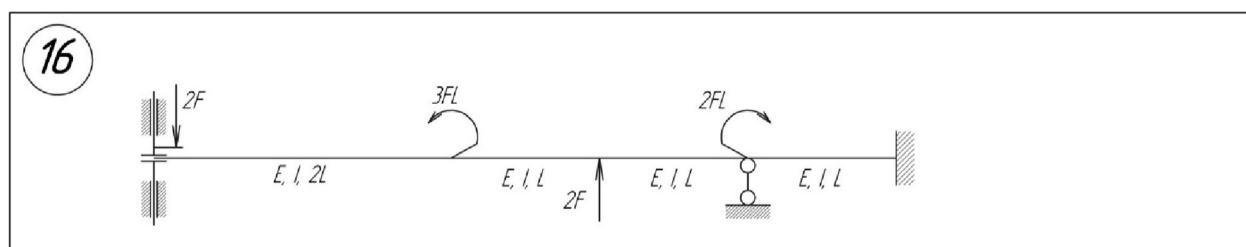


Рисунок 1. Поперечное сечение балки

Условие задачи:



Составление конечно-элементной программы в Matlab и решение исходной заданной системы *Задаем исходные данные:* ○ E – модуль

Юнга $\circ b, h, l$ – геометрические параметры балки $\circ F$ – величина нагрузки $\circ n_el$ – количество элементов $\circ n_node$ – количество узлов во всей балке $\circ uzl$ – количество узлов в одном конечном элементе $\circ n_dof$ – количество степеней свободы

Описание алгоритма:

- \circ Задаем вектор F , содержащий силы и моменты, которые прикладываются к узлам и вектор L – вектор длин каждого элемента, на которые мы разбили балку.
- \circ Создаем матрицу индексов m_Index , хранящую номера узлов в глобальной и локальной системе координат. \circ С помощью 3 циклов заполняем глобальную матрицу жесткости K_g на основе матриц жесткости отдельных конечных элементов K_e , которые предварительно считаются функцией k_eculc .
- \circ Накладываем кинематические условия, модифицируем матрицу жесткости. Для этого задается вектор u_flag с количеством элементов n_dof . В ячейке, где узел закреплен, ставим 0, в свободных узлах ставим 1. Обнуляем столбцы и строки, с - номер, соответствующим номеру элемента, равного нулю, в векторе u_flag . На пересечении этих столбцов и строк ставим 1.
- \circ Находим и выводим на экран вектор перемещений, который равен $U = pinv(K_g) * F$. Элементы $2*i-1$ отвечают за вертикальные перемещение узлов, а $2*i$ - за угол поворота.

Текст программы:

```
function main b=10e-3; h=20e-3; l=100e-3;
f=10;
E=2e11;
F=[2*f;0; 0;3*f*l; 2*f;0; 0;-2*f*l; 0;0;];
L=[2/5,1/5,1/5,1/5];

I=b*h^3/12; n_el=4;
n_node=5;
n_dof=2*n_node; uzl=2;
m_Index=[1,2;2,3;3,4;4,5;]
; K_g=zeros(n_dof); for
i=1:n_el
    K_e=k_eculc(E,I,L(i));
for j=1:uzl for k=1:uzl
    K_g(2*m_Index(i,j)-1:2*m_Index(i,j),2*m_Index(i,k)-
```

```

1:2*m_Index(i,k))=K_e(2*j-1:2*j,2*k-1:2*k)+K_g(2*m_Index(i,j)-
1:2*m_Index(i,j),2*m_Index(i,k)-1:2*m_Index(i,k));
end end end

```

```

u_flag=[1;0; 1;1; 1;1; 0;1; 0;0];

```

```

for i=1:length(u_flag) if
(u_flag(i)==0)
K_g(i,:)=0;
    K_g(:,i)=0;
    K_g(i,i)=1;
end end
U=pinv(K_g)*F
end

```

```

function K_e=k_eculc(E,I,L)
K_e=[12*E*I/L^3,6*E*I/L^2,-12*E*I/L^3,6*E*I/L^2;
    6*E*I/L^2,4*E*I/L,-6*E*I/L^2,2*E*I/L;
    -12*E*I/L^3,-6*E*I/L^2,12*E*I/L^3,-6*E*I/L^2;
    6*E*I/L^2,2*E*I/L,-6*E*I/L^2,4*E*I/L] end

```

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 x) и задаем размер.
- 3) Сохраняем файл.

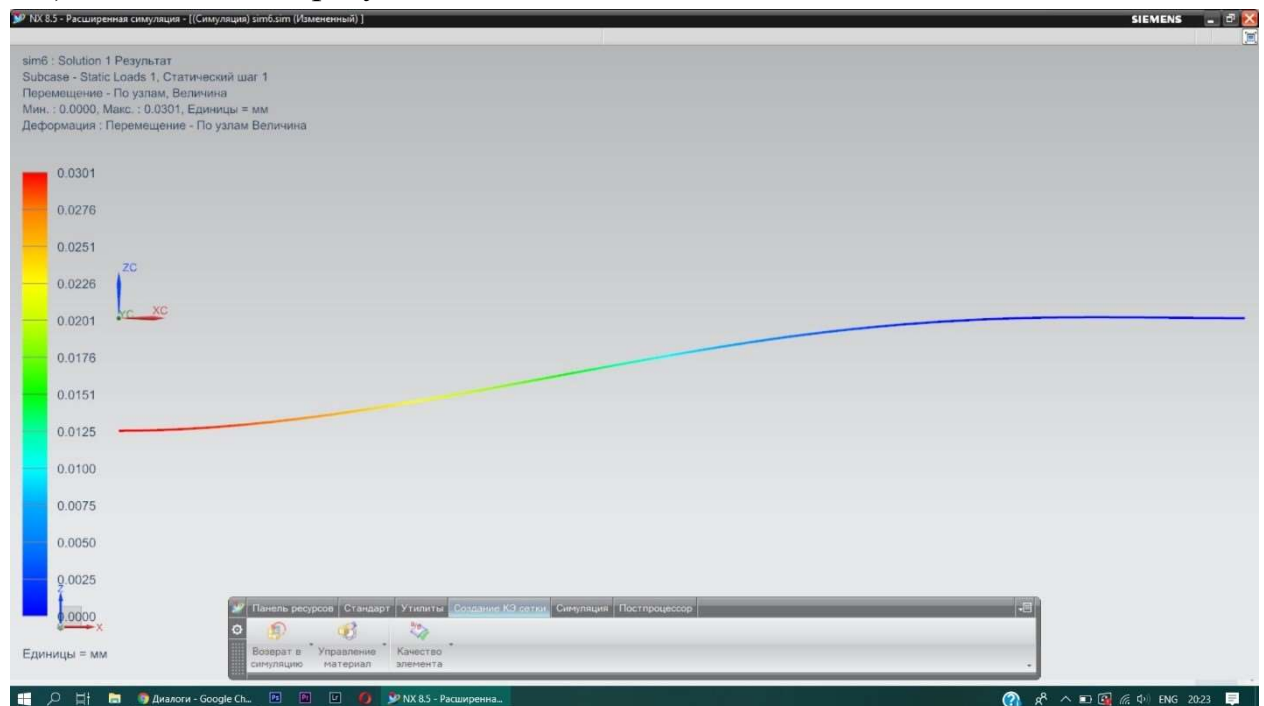
CAE-модуль, создание конечно-элементной модели кронштейна

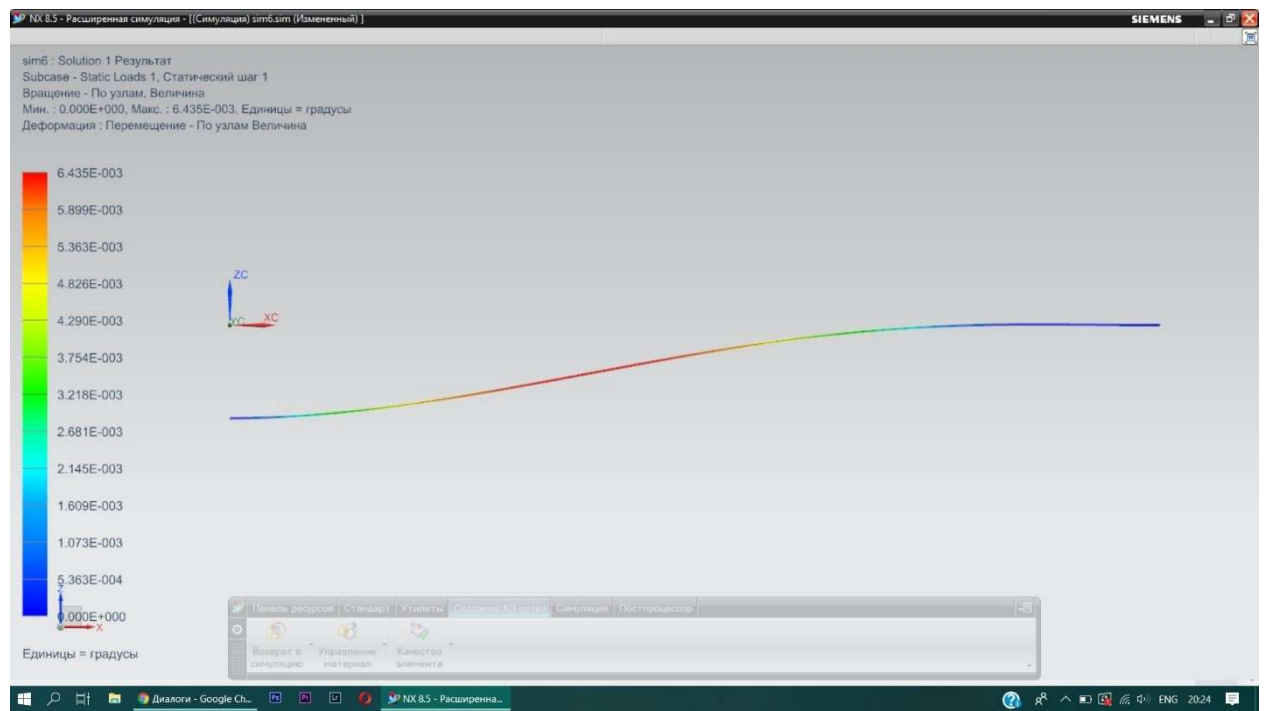
- 1) Создаем новый файл (NXNastranКЭ модель)
- 2) Связываем файл с моделью (В появившемся окне: «Геометрия» -> «Опции геометрии» -> «прямые». Нажимаем «ОК».)
- 3) Создаем конечно-элементную сетку. Выбираем параметр "1D сетка" и применяем к нашей модели. Число элементов выбираем равным 50. Допуск объединения узлов выбираем равным 1.
- 4) Создаем поперечное сечение.

5) Выбираем тип материала "AISI_STEEL_1005". 6) Сохраняем файл.

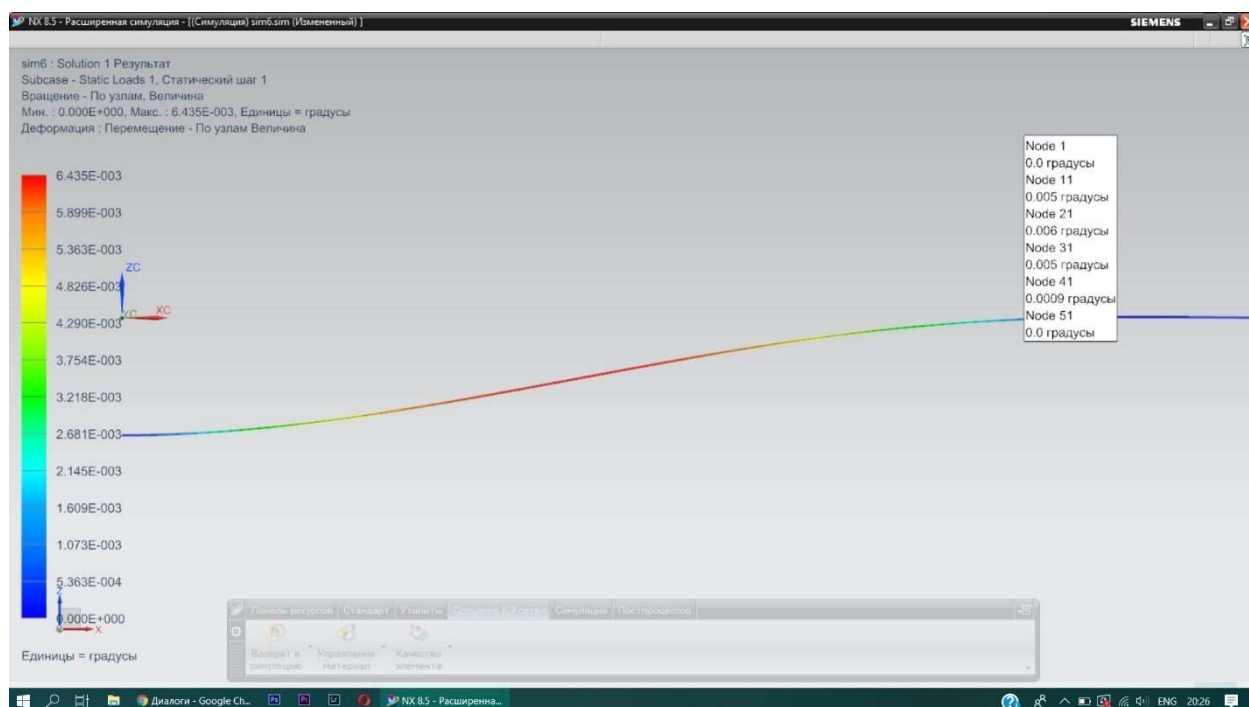
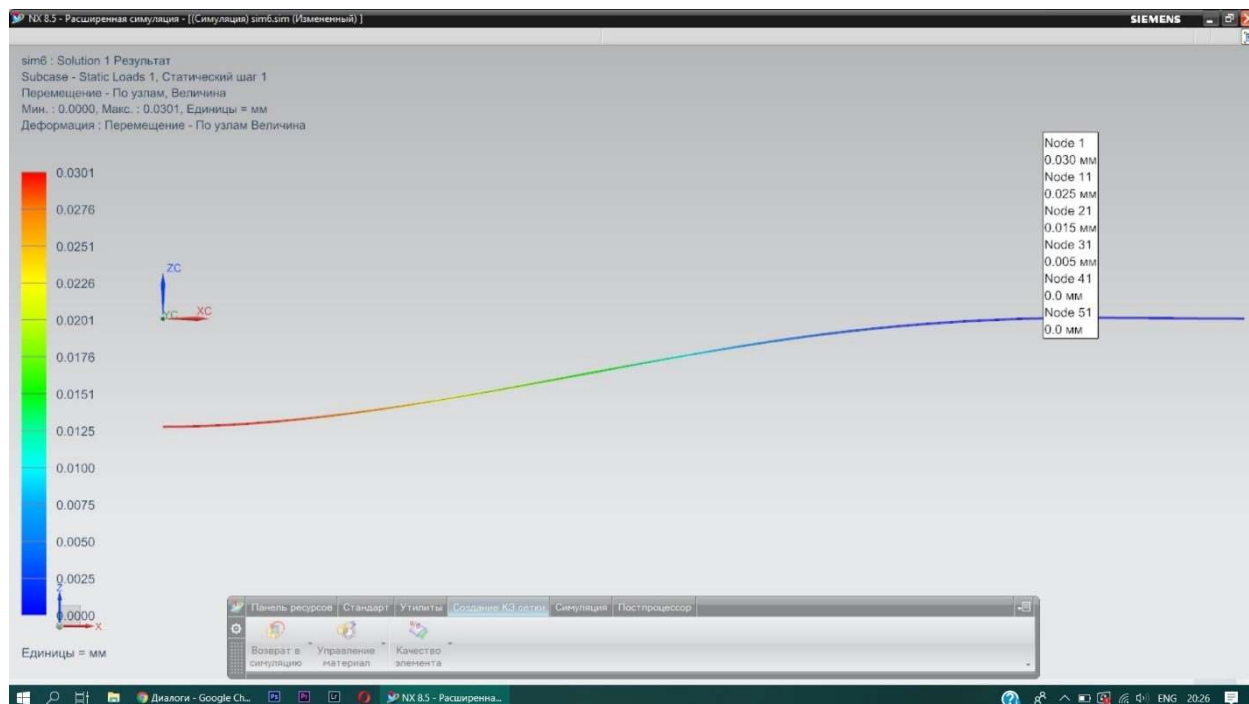
CAE-модуль, решение прочностной задачи

- 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.





Для получения точных результатов в NX воспользуемся инструментом "аннотация" в режиме просмотра результатов расчета для явного отображения значений в узлах.



Вращение по узлам (радианы)	MatLab	0	0.87664 * 1.0e-06	0.10471 * 1.0e-03	0.87664 * 1.0e-06	0.15707* 1.0e-06	0
	NX	0	0.87664 * 1.0e-06	0.10471 * 1.0e-03	0.87664 * 1.0e-06	0.15707* 1.0e-06	0
Перемещение по узлам (м)	MatLab	0.03*1.0e03	0.025 * 1.0e-03	0.015 * 1.0e-03	0.005 * 1.0e-03	0	0
	NX	0.03*1.0e03	0.025 * 1.0e-03	0.015 * 1.0e-03	0.005 * 1.0e-03	0	0

Вывод:

Из приведенный выше данных можно сделать вывод о том, что при решении двумя методами (в NX и в MatLab) были получены примерно одинаковые результаты.