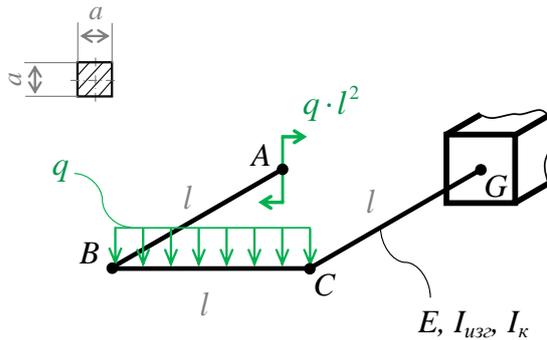


N-04 (ANSYS)

Формулировка задачи:

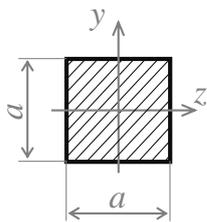


Дано: $E, q, a, l, I_{uz}, I_k, \nu=0,25$.

Консольная многосвязная плоскопространственная рама из стержней постоянного поперечного сечения, наружена внешним моментом и одной распределённой силой.

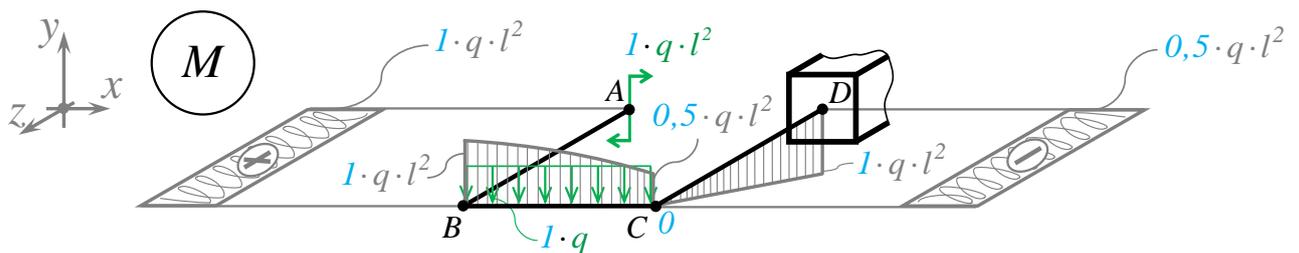
- Найти: 1) Построить эпюры внутреннего изгибающего M_z и внутреннего крутящего $M_{кр}$ моментов в поперечных сечениях стержней рамы;
- 2) Вертикальное перемещение точки A: δ_A .

Аналитический расчёт (см. [N-04](#)) даёт следующие решения:



$I_z = I_y = \frac{1}{12} \cdot a^4 = 0,08333 \cdot a^4$ - изгибные моменты инерции;

$I_k = 0,141 \cdot a^4 = 1,692 \cdot I_z$ - геометрическая жёсткость при кручении;



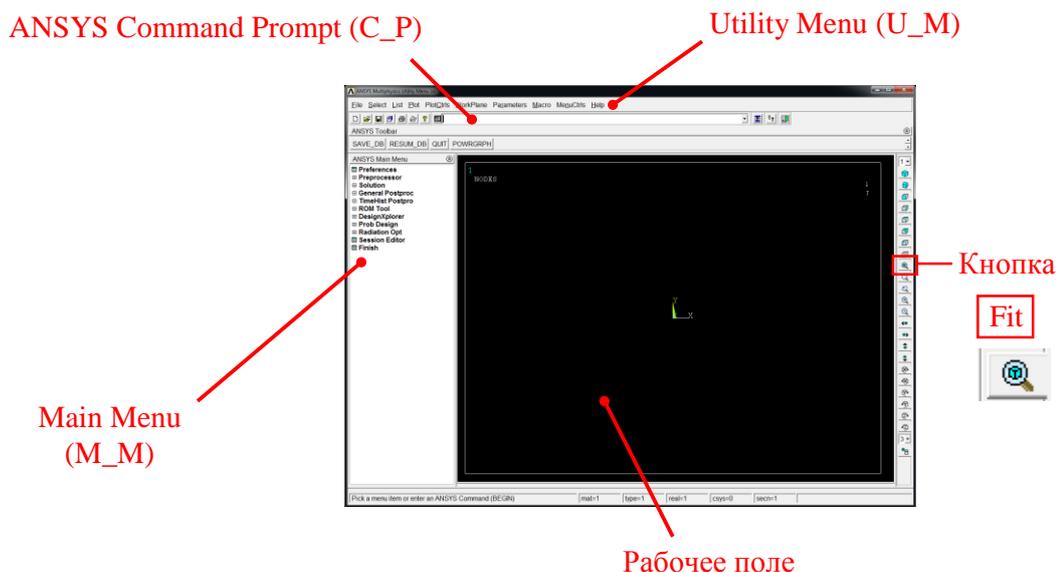
$$\delta_A = \frac{31}{24} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} = 1,292 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} \quad \text{-- вверх.}$$

Рис.1.

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multyphysics получить этот же результат методом конечных элементов.

Предварительные настройки:

Для решения задачи используется ANSYS Multiphysics 14.0:



С меню M_M и U_M работают мышью, выбирая нужные опции.

В окно C_P вручную вводят текстовые команды, после чего следует нажать на клавиатуре **Enter**.

Меняем чёрный цвет фона на белый следующими действиями:

```
U_M > PlotCtrls > Style > Colors > Reverse Video
```

В меню оставить только пункты, относящиеся к прочностным расчётам:

```
M_M > Preferences > Отметить "Structural" > OK
```

При построениях полезно видеть номера точек и линий твердотельной модели:

```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
```

```
Отметить KP, LINE ;
```

```
Установить Elem на "No numbering";
```

```
Установить [/NUM] на "Colors & numbers"> OK
```

Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >
```

```
Установить «Размер» на «22»> OK
```

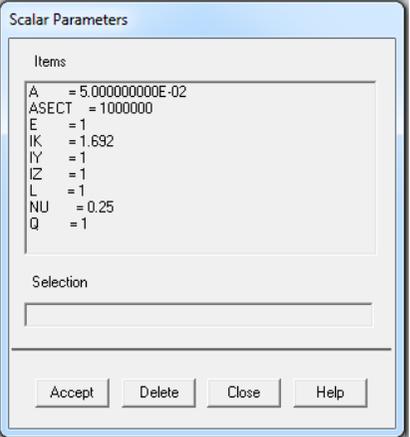
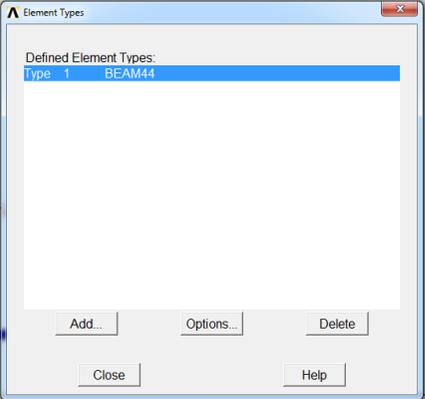
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```

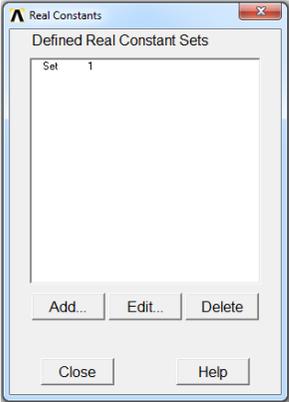
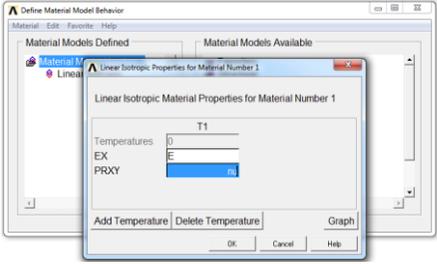
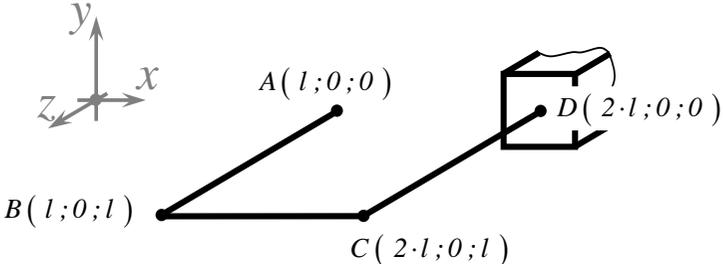
```
Установить «Размер» на «22»> OK
```

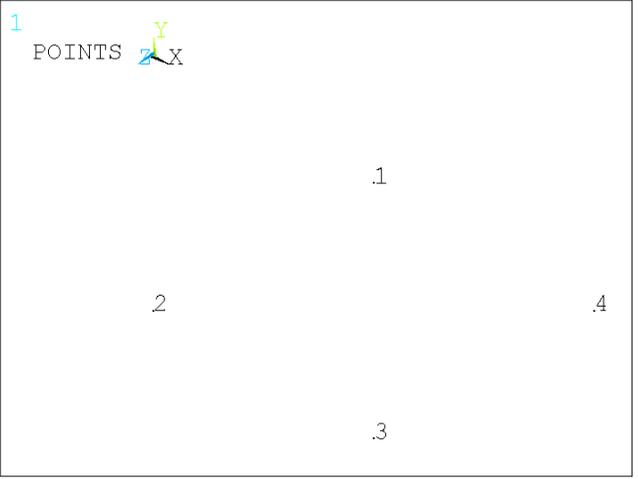
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

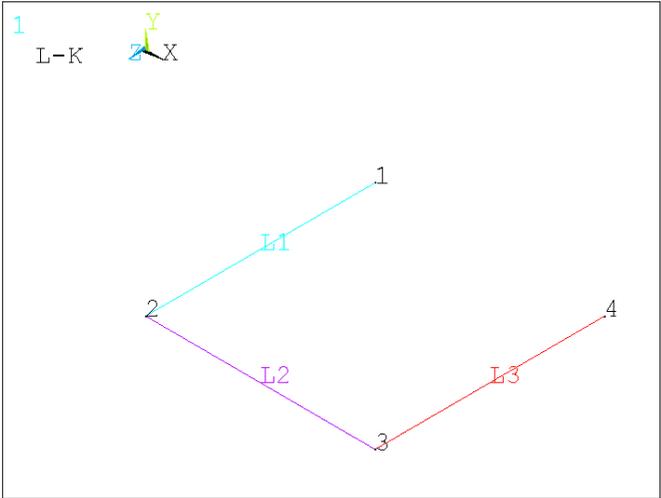
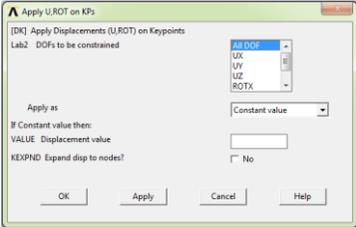
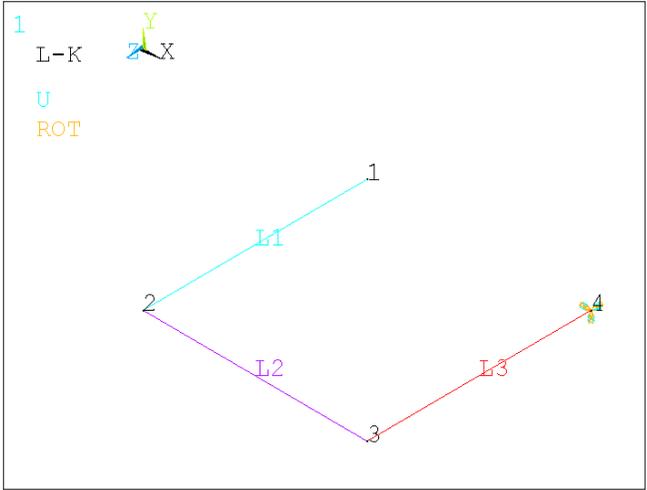
Решение задачи:

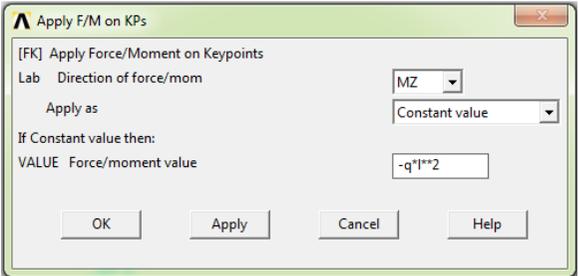
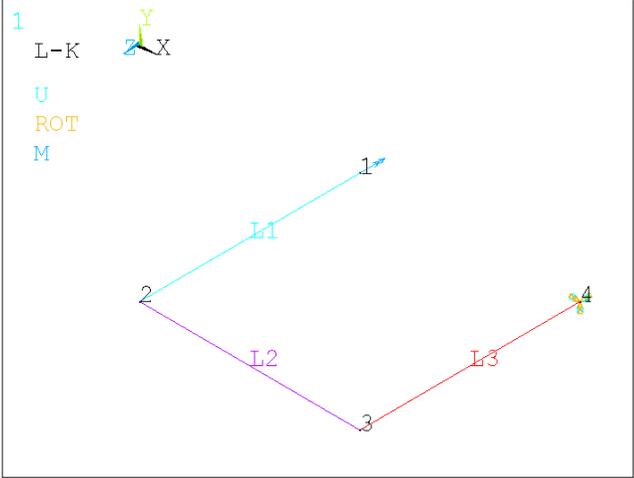
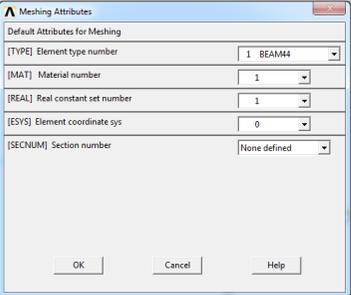
Параметрам задачи, входящим в формулы (E , q , l , E , I_z) присваиваем значение 1 . Тогда результатами расчёта будут коэффициенты перед формулами. Величину a задаём произвольно, она в формулы не входит.

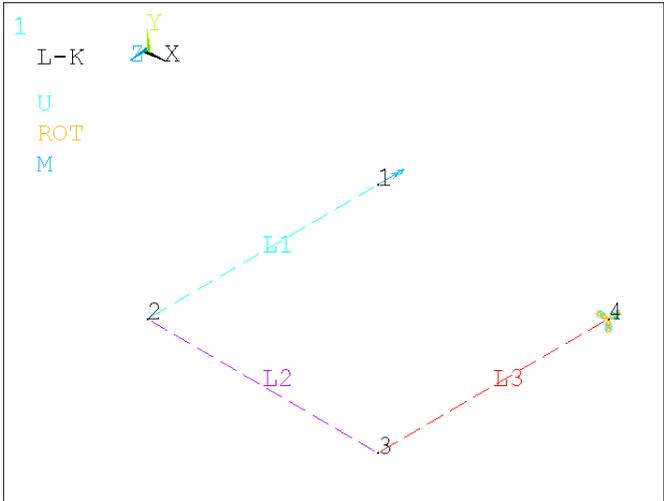
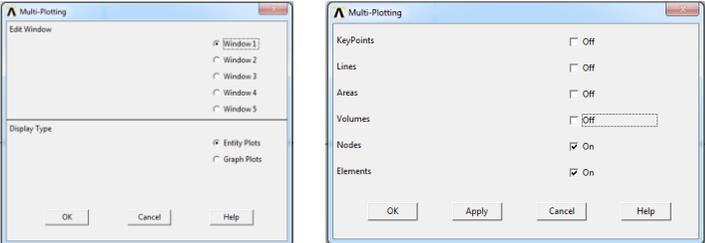
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <pre> U_M > Parameters > Scalar Parameters > E=1 > Accept > q=1 > Accept > l=1 > Accept > a=l/20 > Accept > Iz=1 > Accept > Iy=Iz > Accept > Ik=1.692*Iz > Accept > ASect=1e6 > Accept > nu=0.25 > Accept > > Close </pre>	
2	<p><i>Первая строчка в таблице конечных элементов – балочный тип BEAM44:</i></p> <pre> M_M > Preprocessor C_P > ET, 1, BEAM44 > Enter </pre> <p>Посмотрим таблицу конечных элементов:</p> <pre> M_M > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Close </pre>	

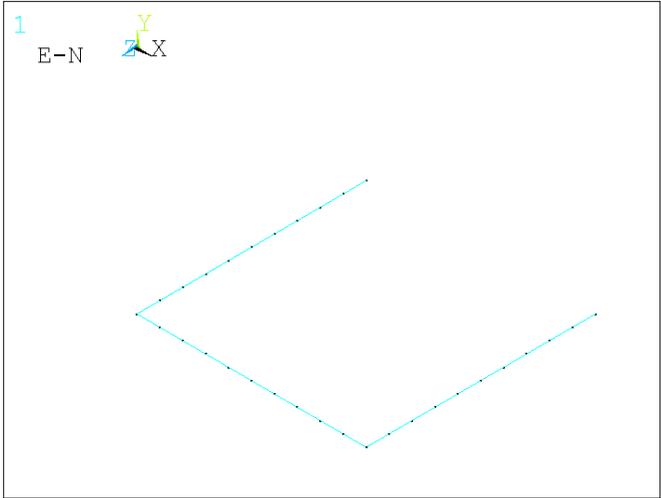
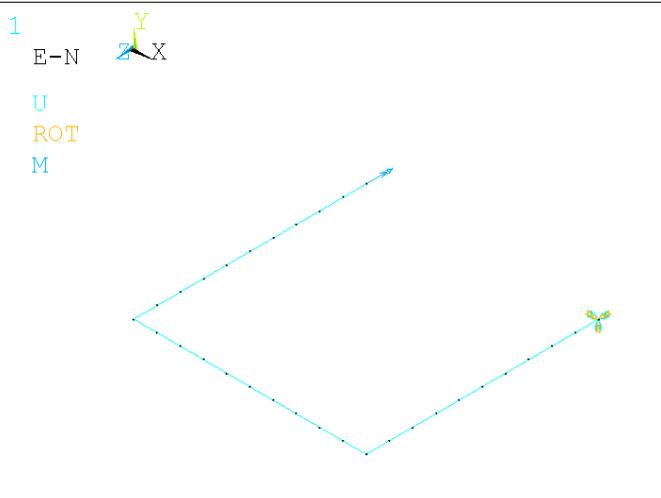
№	Действие	Результат
3	<p><i>Реальные константы для элемента BEAM44:</i></p> <p>C_P > R,1,ASect,Iz,Iy,a,a,Ik > Enter</p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант:</p> <p>M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Close</p>	
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic ></p> <p>В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu"</p> <p>> OK</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
Основная система. Трёхмерное моделирование:		
5	<p><i>Координаты узлов рамы:</i></p> <p>Создаём трёхмерную модель в плоскости x-z.</p> <p>Определяемся с положением узлов рамы относительно глобальной декартовой системы координат.</p>	

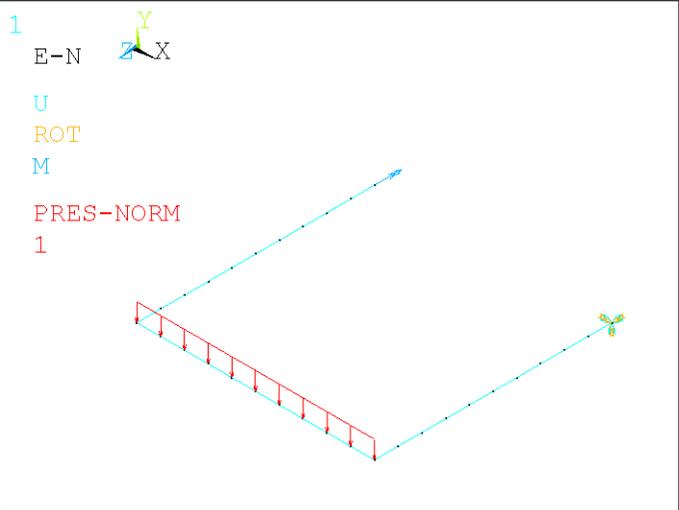
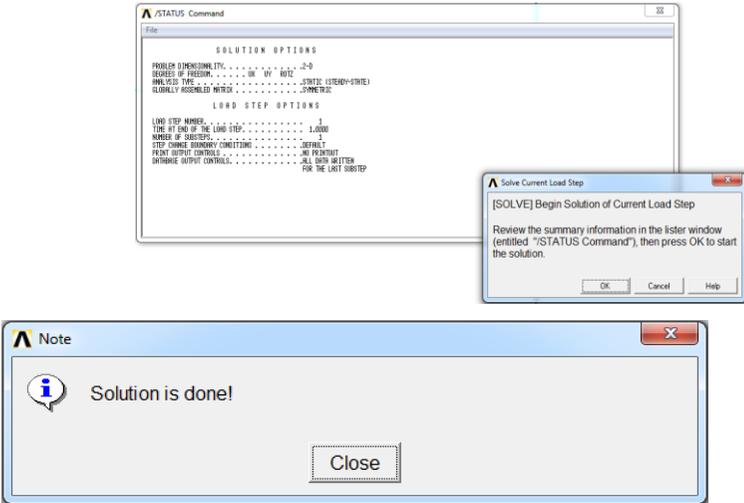
№	Действие	Результат
6	<p><i>Изометрия:</i></p>  - изометрия;  - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).	<p>1 NODES NODE NUM</p> 
7	<p><i>Ключевые точки A→1, B→2, C→3 и D→4:</i></p> <p>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Keypoints> In Active CS> NPT пишем 1 X,Y,Z пишем 1,0,0 > Apply > NPT пишем 2 X,Y,Z пишем 1,0,1 > Apply > NPT пишем 3 X,Y,Z пишем 2*1,0,1 > Apply > NPT пишем 4 X,Y,Z пишем 2*1,0,0 > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>  - автоформат.	<p>1 POINTS </p> 

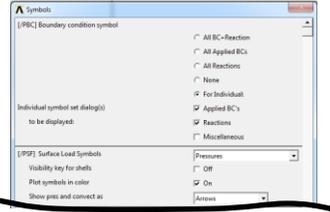
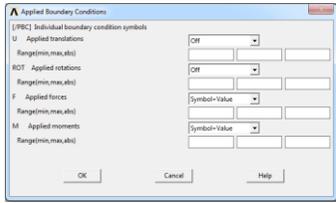
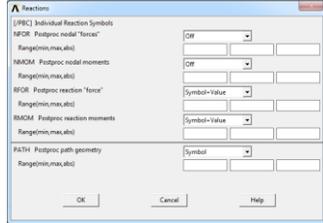
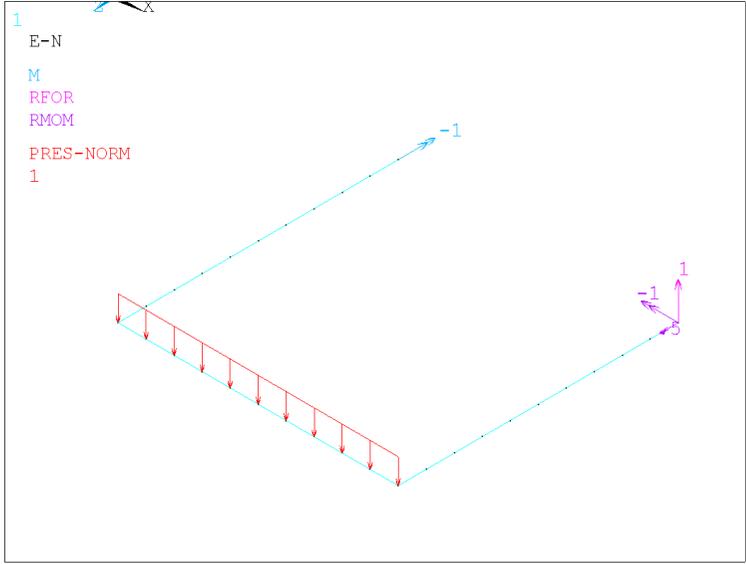
№	Действие	Результат
8	<p><i>Линии - оси стержневой рамы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line ></p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки: 1 и 2 2 и 3 4 и 3 > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
9	<p><i>Заделка в точке D:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 4 ключевую точку > ОК ></p> <p>Lab2 установить "All DOF" > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> 	

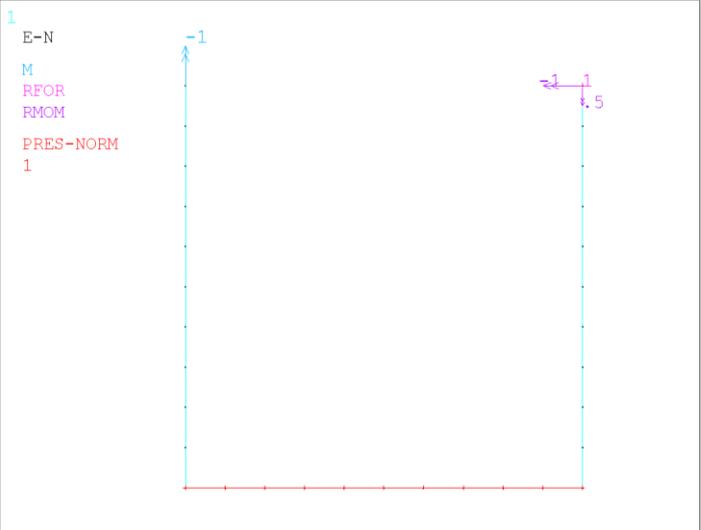
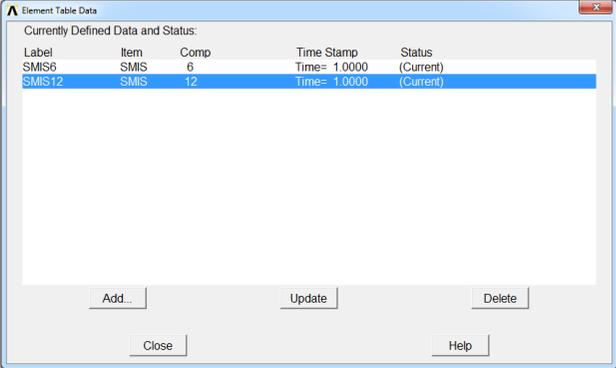
№	Действие	Результат
10	<p><i>Сосредоточенный внешний момент:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints > Left mouse button click on 1 keypoint > OK > Lab установить "MZ" VALU пишем $-q \cdot l \cdot l^2$ > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> 	
Конечноэлементная модель основной системы.		
11	<p><i>Указываем материал, тип элементов и номер поперечного сечения:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Lines > [TYPE] установить "1 BEAM44" [MAT] установить "1" [REAL] установить "1" > OK</p>	

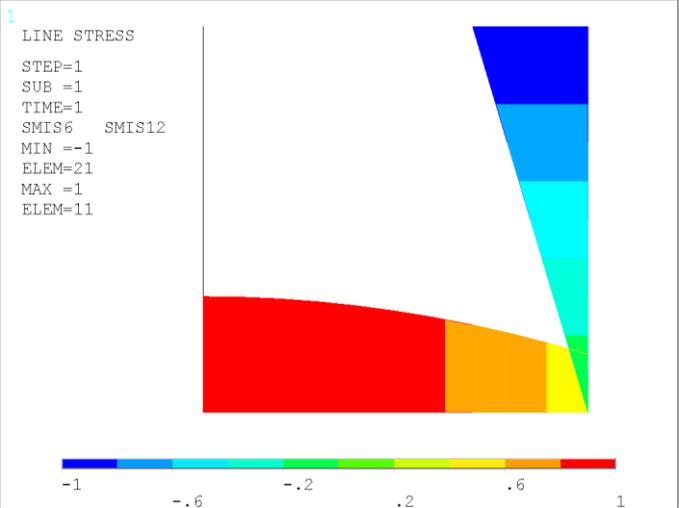
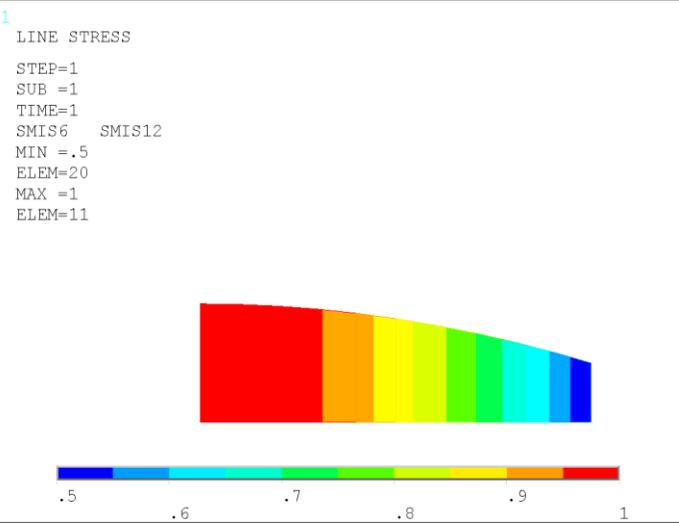
№	Действие	Результат
12	<p><i>Размер элементов:</i></p> <p>Линии без распределённых нагрузок можно бить одним конечным элементом. Но форма изогнутой оси будет выглядеть красиво, если каждый стержень будет разбит несколькими элементами:</p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Lines > All Lines > NDIV пишем 10 > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
13	<p><i>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Multi-Plot Controls... > Появляется первое окно Multi-Plotting > OK > Появляется второе окно Multi-Plotting > Оставляем в нём отметки только напротив Nodes и Elements > OK</p>	

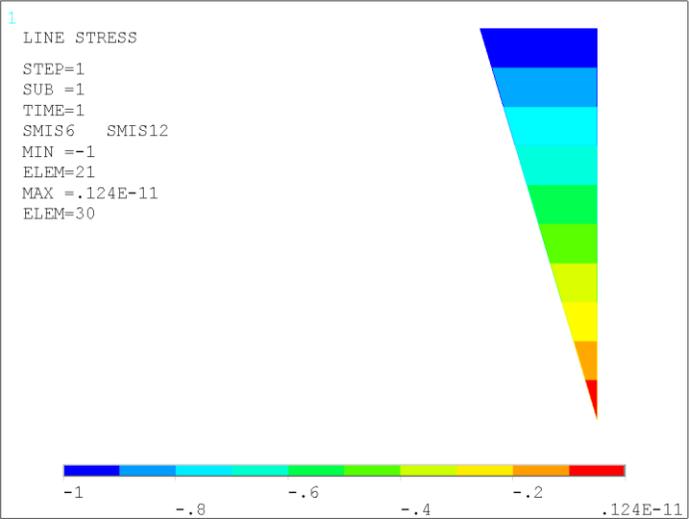
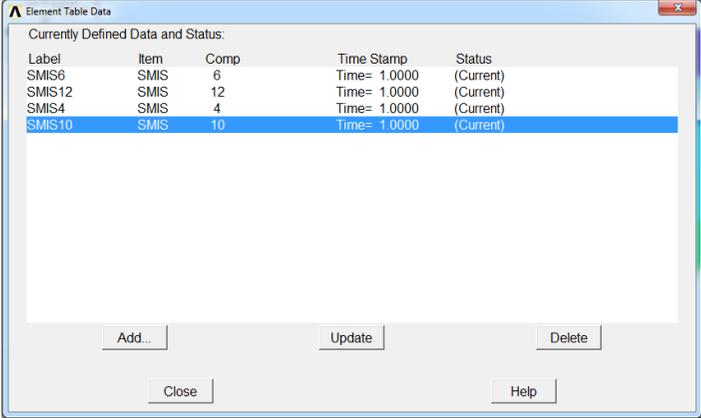
<p>14</p>	<p><i>Рабиваем линии на элементы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Pick All</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
<p>15</p>	<p><i>Переносим на конечноэлементную модель нагрузки и закрепления с модели твердотельной:</i></p> <p>M_M > Loads > Define Loads > Operate > Transfer to FE > All Solid Lds > OK</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

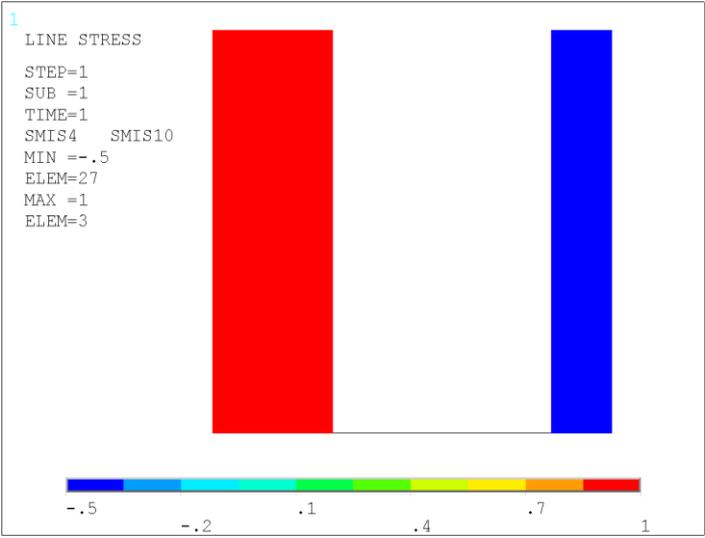
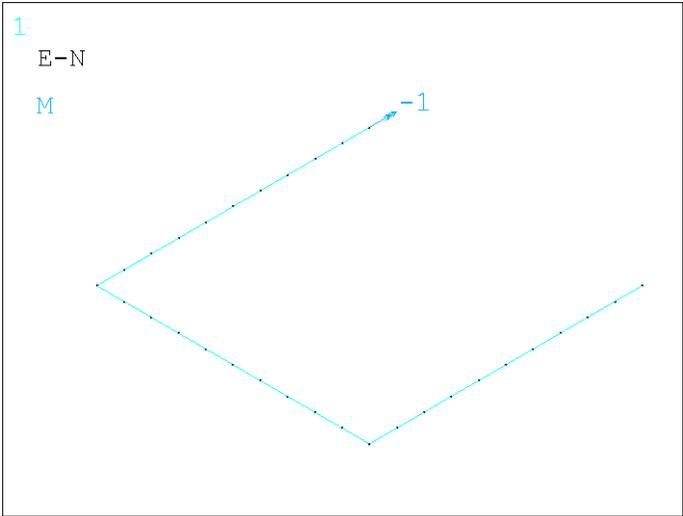
№	Действие	Результат
16	<p><i>Распределённая нагрузка q:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Beams > Left mouse button we mark 10 elements of the cross-section > Apply > LKEY we write 2 > VALI we write q > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
Расчёт		
17	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS</p> <p>Синхронно появляются два окна: белое информационное и серое исполнительное. Белое закрываем, на сером нажимаем ОК. Расчёт пошёл.</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p> <p>Расчёт окончен.</p>	

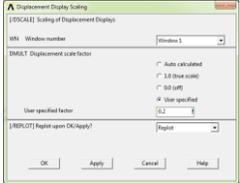
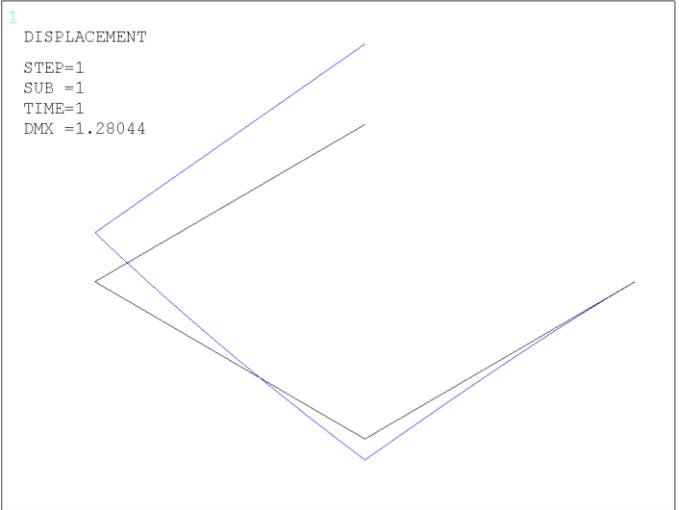
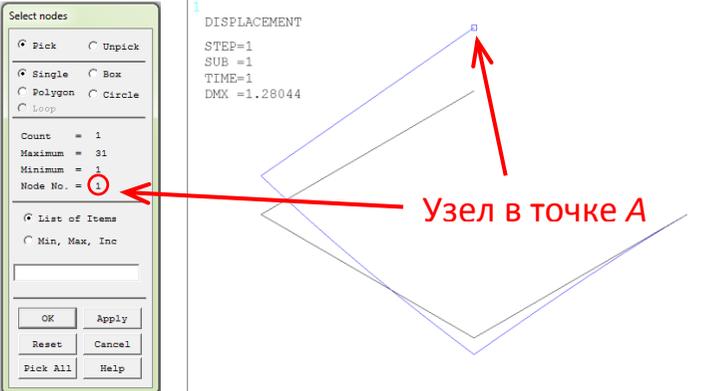
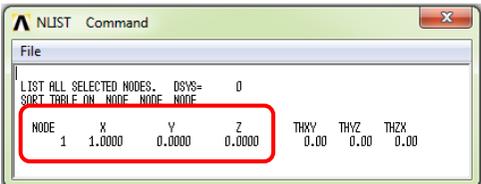
№	Действие	Результат
18	<p>Силовая схема:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous"</p> <p>Surface Load Symbols устанавливаем Pressures</p> <p>Show pres and convect as устанавливаем Arrows</p> <p>> OK ></p> <p>В окне "Applied Boundary Conditions"</p> <p>U установить "Off"</p> <p>Rot установить "Off"</p> <p>F установить "Symbol+Value"</p> <p>M установить "Symbol+Value"</p> <p>> OK ></p> <p>В окне "Reactions"</p> <p>NFOR установить "Off"</p> <p>NMOM установить "Off"</p> <p>RFOR установить "Symbol+Value"</p> <p>RMOM установить "Symbol+Value"</p> <p>> OK ></p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Elements</p> <p>При необходимости корректируйте масштаб кнопками  или .</p> <p>Реакции в заделке хорошо согласуются со значением внутренних моментов в точке D на <i>рис. 1</i>.</p> <p>В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Красным цветом начерчена распределённая внешняя сила; - Синим цветом начерчен распределённая внешняя сила; - Фиолетовым цветом начерчен вектор реактивного момента; - Малиновым цветом нарисована реактивная сила. 	   

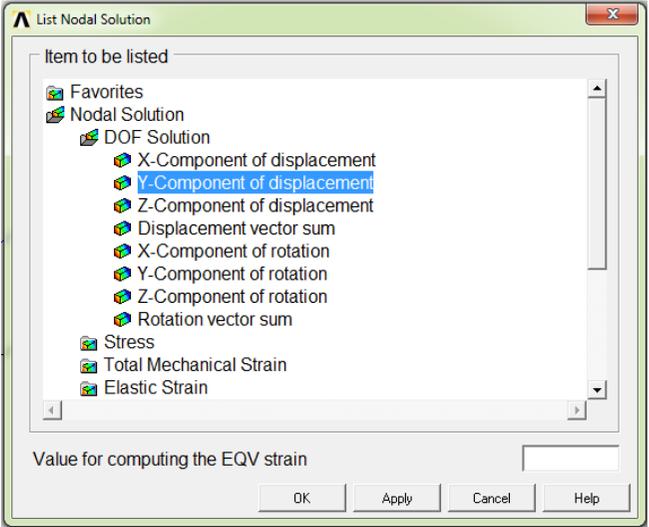
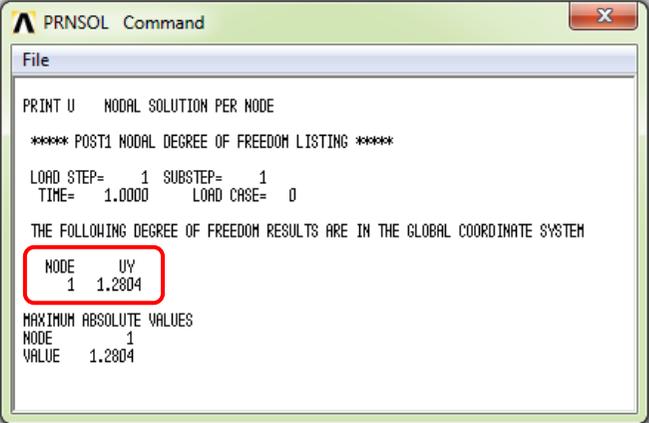
№	Действие	Результат
19	<p>Вид сверху:</p>  - вид сверху;  - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).	
20	<p>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10 > OK</p>	
21	<p>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента Мизг:</p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "6" > Apply > "By sequence num", "SMISC,", "12" > OK > > Close</p> <p>Смотрим таблицу результатов: M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Close</p>	

№	Действие	Результат
22	<p><i>Прорисовка эпюры Мизг:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > LabI установить "SMIS6" LabJ установить "SMIS12" Fact пишем 1 > ОК</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1</i>. (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала.</p> <p>Можете рисунок эпюры сделать крупнее: коэффициент Fact установите 2 или 3.</p>	
23	<p><i>Эпюра на перекладине элементах:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>Выделяем нужные конечные элементы:</p> <p>U_M > Select > Entities > Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick" Селектор на "From Full" > ОК</p> <p>Кликаем левой кнопкой мыши на конечные элементы центрального стержня > ОК</p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>Видим часть общей эпюры на выделенном элементе. Значение показывают MIN и MAX.</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M > Select > Everything</p>	

№	Действие	Результат
24	<p><i>Эпюра на центральных конечных элементах:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>Выделяем нужные конечные элементы:</p> <p>U_M > Select > Entities ></p> <p>Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick"</p> <p>Селектор на "From Full"</p> <p>> ОК</p> <p>Кликаем левой кнопкой мыши на конечные элементы правого стержня</p> <p>> ОК</p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M > Select > Everything</p>	
25	<p><i>Составление эпюры внутреннего крутящего момента Mкр:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add ></p> <p>"By sequence num", "SMISC,", "4"</p> <p>> Apply ></p> <p>"By sequence num", "SMISC,", "10"</p> <p>> ОК ></p> <p>> Close</p> <p>Смотрим таблицу результатов:</p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Close</p>	

№	Действие	Результат
26	<p><i>Прорисовка эпюры Мкр:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > LabI установить "SMIS4" LabJ установить "SMIS10" Fact пишем 1 > ОК</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1.</i> (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала.</p>	 <p>1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS4 SMIS10 MIN =-.5 ELEM=27 MAX =1 ELEM=3</p>
27	<p><i>Прорисовываем конечноэлементную модель, возвращаемся к изометрии:</i></p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p>  	 <p>1 E-N M</p>

№	Действие	Результат														
28	<p><i>Форма деформированной упругой оси рамы под нагрузкой:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot M_M > General Postproc > Plot Results > > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > OK</p> <p>Это точная форма изогнутой оси.</p> <p>Для наглядности увеличиваем масштаб: U_M > PlotCtrls > Style > Displacement Scaling > DMULT устанавливаем "User specified" User specified factor увеличиваем в пять раз с 0.03904 до 0.2 > OK</p> 															
29	<p><i>Выделяем мышью узел конечноэлементной модели, соответствующий точке А:</i></p> <p>U_M > Select > Entities... > В окошке Select Entities установить "Nodes" и "By Num/Pick" Точку селектора установить на «From Full» > OK ></p>  <p>Левой кнопкой мыши кликнуть на точку А на деформированной форме.</p> <p>Кстати, при этом в окошке Select nodes припишется номер узла в этой точке «Node No. = 1» > OK</p> <p>Проверяем, действительно ли выделен узел с координатой $X=1*l=1$, $Y=0$ и $Z=0$</p> <p>U_M > List > Nodes... > OK</p> <p>Закрываем окно NLIST Command</p>	  <table border="1" data-bbox="1503 1297 1984 1481"> <thead> <tr> <th>NODE</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th>THXV</th> <th>THYZ</th> <th>THZX</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1.0000</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	NODE	X	Y	Z	THXV	THYZ	THZX	1	1.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
NODE	X	Y	Z	THXV	THYZ	THZX										
1	1.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00										

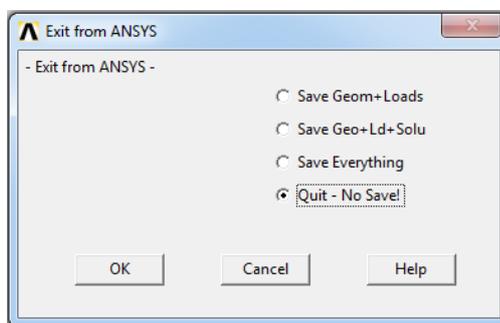
№	Действие	Результат
30	<p><i>Вертикальное перемещения узла №1:</i></p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of displacement > OK</p> <p>Пропечатались величины линейных перемещений узла №1:</p> $UY = \delta_A = 1,2804 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} \quad (> 0, \text{ то есть вверх});$ <p>Расхождение с результатом аналитического расчёта (рис.1.) составляет:</p> $\Delta = 0,9\%$	 

Сохраняем проделанную работу:

U_M > File > Save as Jobname.db

Закройте ANSYS:

U_M > File > Exit > Quit - No Save! > OK



После выполнения указанных действий в рабочем каталоге остаются файлы с расширениями “.BCS”, “.db”, “.emat”, “.err”, “.esav”, “.full”, “.log”, “.mntr”, “.rst”, “.stat” и “.SECT”.

Интерес представляют “.db” (файлы модели), “.rst” (файл результатов расчёта) и файл “.SECT” (поперечное сечение), остальные файлы промежуточные, их можно удалить.