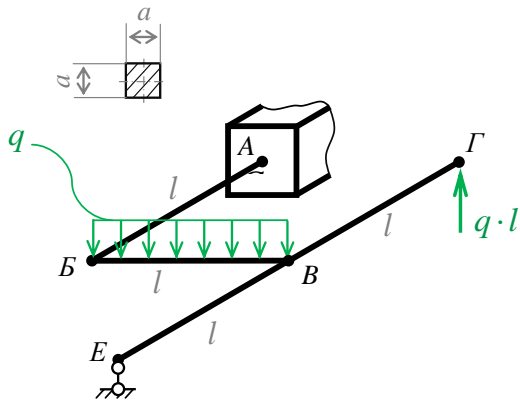


O-02 (ANSYS)

Формулировка задачи:



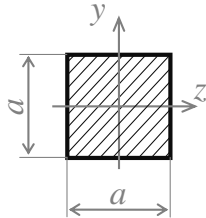
Дано: $E, a, q, l, \nu=0,25$

Многосвязная плоскопространственная рама постоянного поперечного сечения, нарушенная распределённой силой.

Найти:

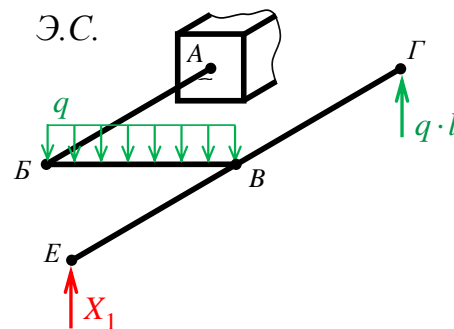
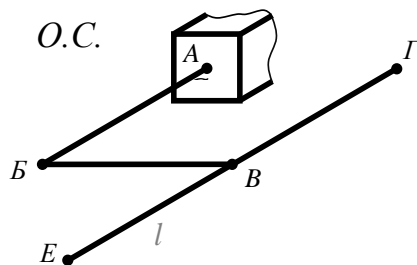
- 1) Коэффициенты канонического уравнения;
- 2) Эпюры внутренних моментов;
- 2) Вертикальное перемещение точки B: δ_B .

Аналитический расчёт (см. [O-02](#)) даёт следующие решения:



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

$$I_\varrho = 0,141 \cdot a^4 = 1,692 \cdot I_z \text{ - геометрическая жёсткость при кручении;}$$



$$X_1 \cdot \delta_{11} + \delta_{1F} = 0$$

$$\delta_{11} = 6 \cdot \frac{l^3}{E \cdot I_z};$$

$$\delta_{1F} = -\frac{49}{24} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} = -2,042 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z}$$

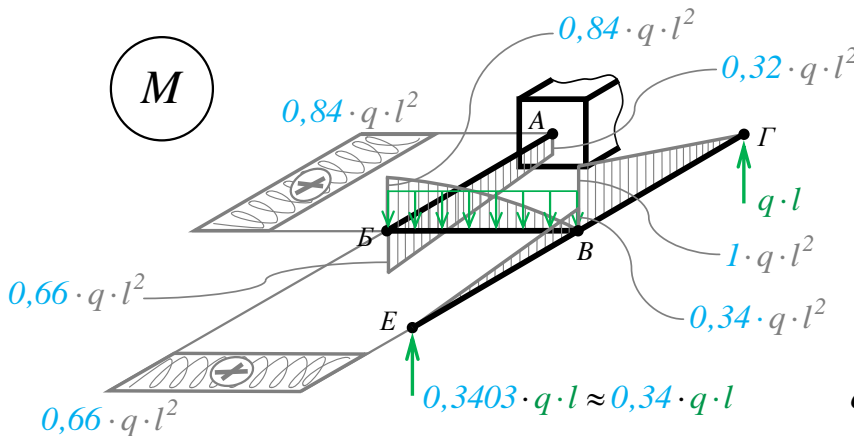


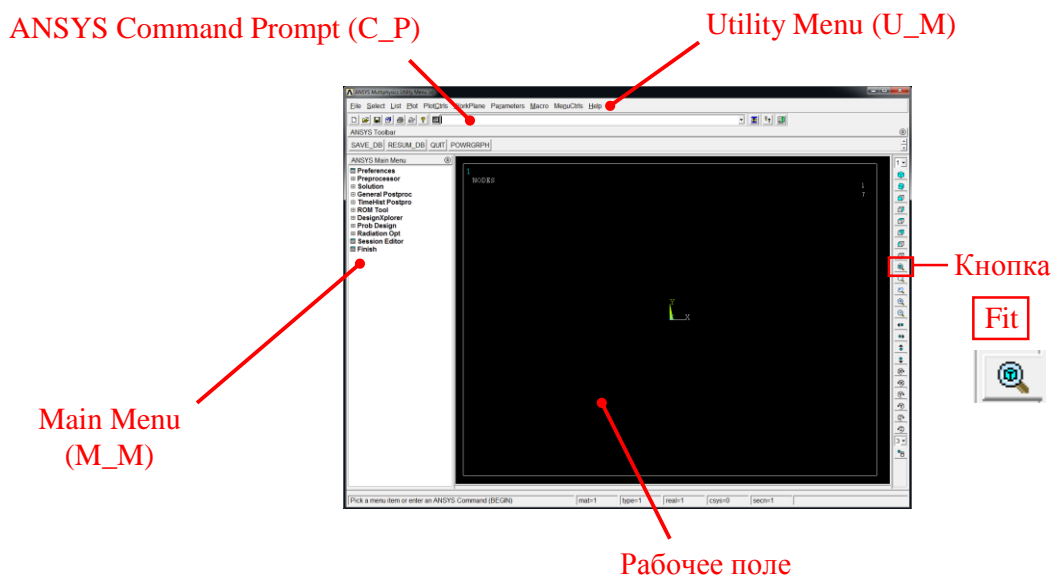
Рис. 1.

$$\delta_B = 0,22 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} \text{ - вниз.}$$

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multyphysics получить эти же результаты 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, узлов модели конечноэлементной:

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

```
Отметить KP, LINE, NODE ;
```

```
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
```

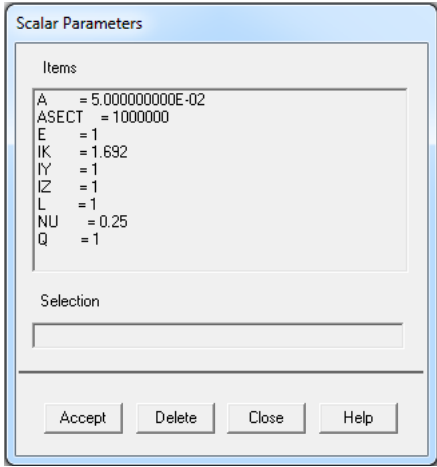
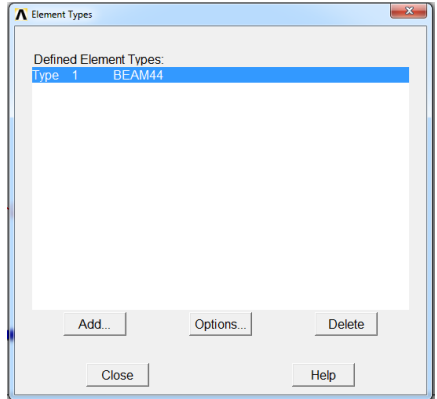
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```

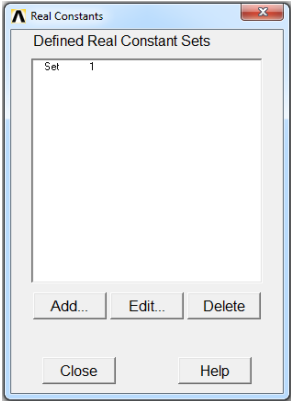
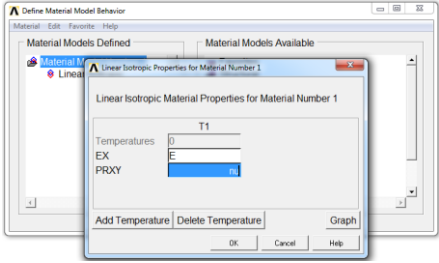
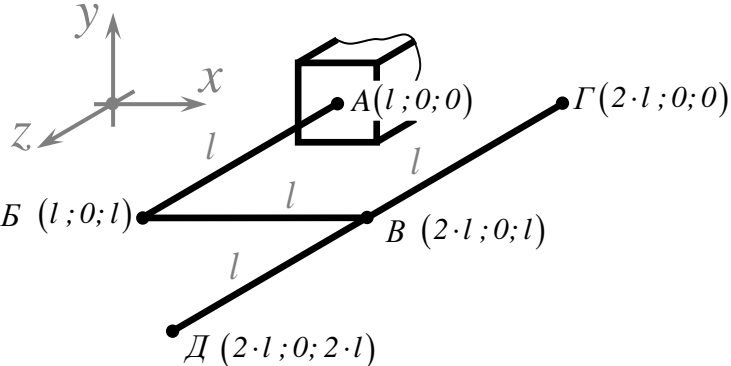
```
Установить «Размер» на «22»> OK
```



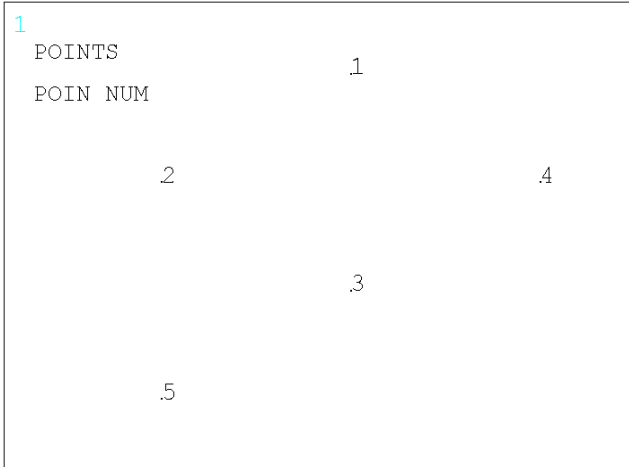
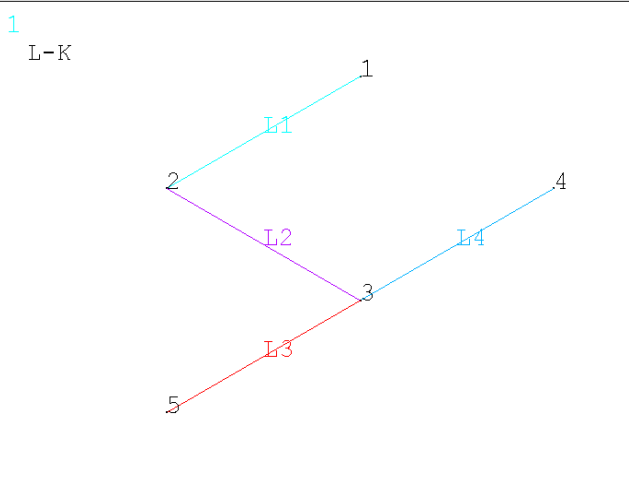
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

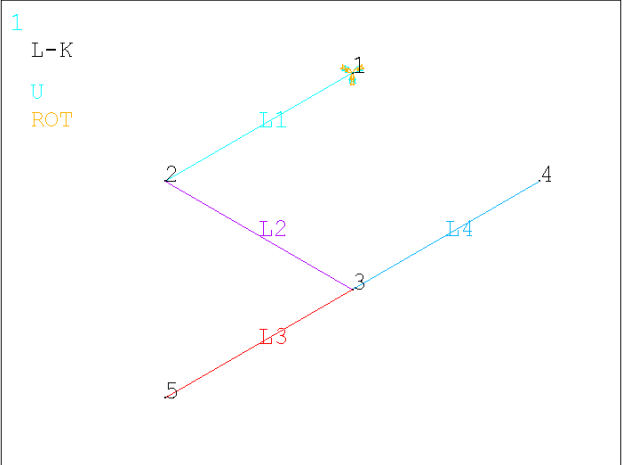
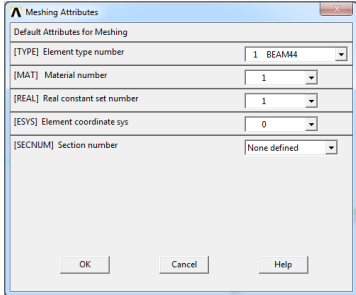
Решение задачи:

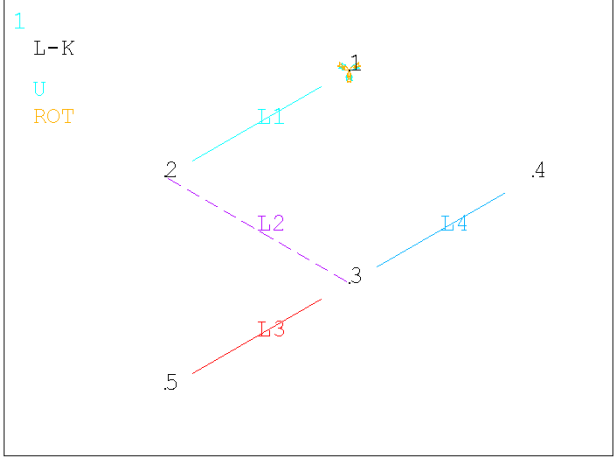
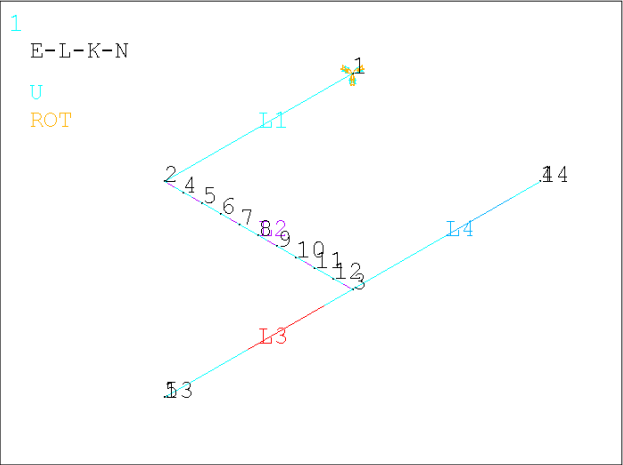
Параметрам задачи, входящим в формулы (E , q , l , E , I_z) присваиваем значение 1 . Тогда результатами расчёта будут коэффициенты перед формулами.

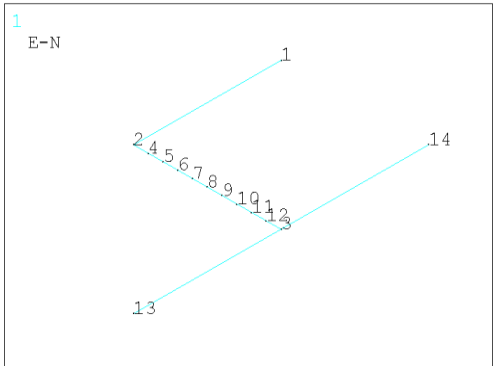
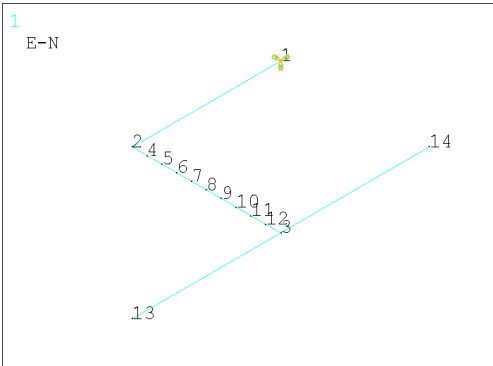



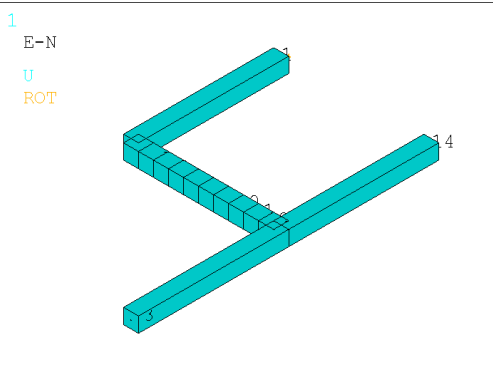
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <pre> U_M > Parameters > Scalar Parameters > E=1 > Accept > q=1 > Accept > l=1 > Accept > a=l/20 > Accept > Iz=1 > Accept > Iy=Iz > Accept > Ik=1.692*Iz > Accept > ASect=1e6 > Accept > nu=0.25 > Accept > > Close </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>	

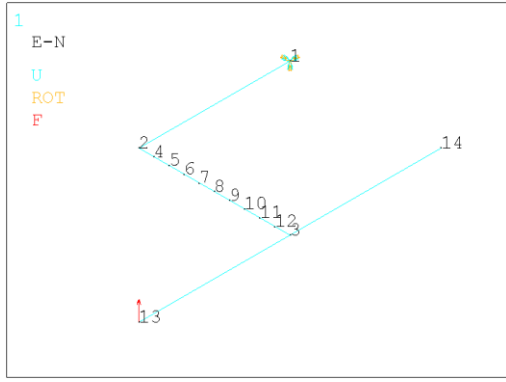
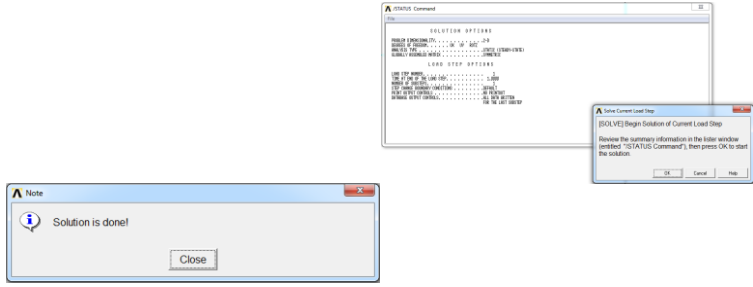
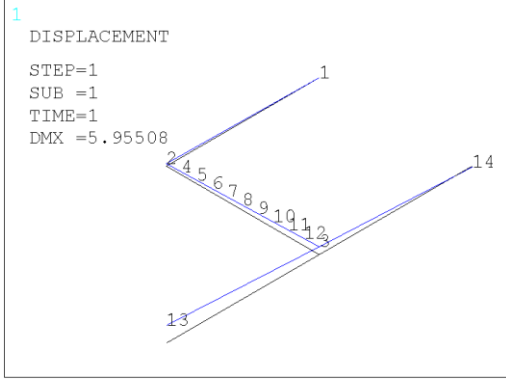
№	Действие	Результат
3	<p><i>Реальные константы для элемента BEAM44:</i></p> <p>C_P > R, 1, ASect, Iz, Iy, a, a, Ik > Enter</p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант:</p> <p>M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Close</p>	
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент 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 основной системы (О.С.).</p> <p>Определяемся с положением рамы относительно глобальной декартовой системы координат.</p>	

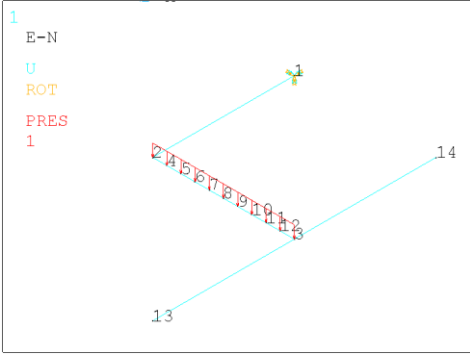
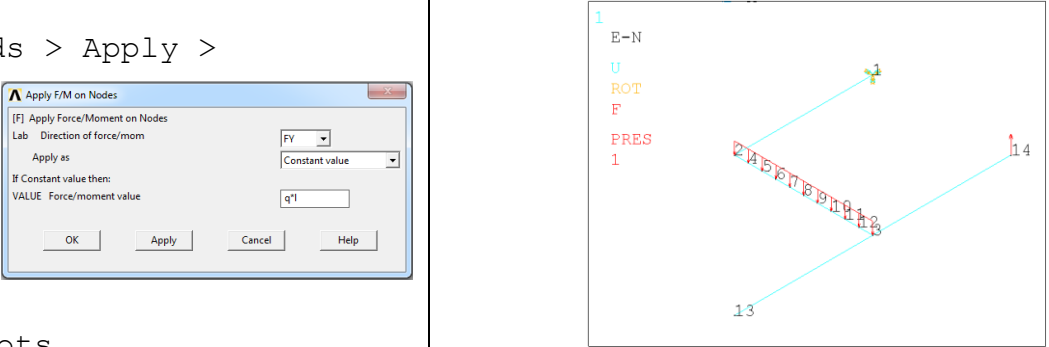
№	Действие	Результат
6	<p><i>Ключевые точки A→1, B→2, B→3, Г→4, Д→5:</i></p> <p>М_М> Preprocessor> Modeling> Create> Keypoints> In Active CS> NPT пишем 1 X,Y,Z пишем 1, 0, 0 > Apply > NPT пишем 2 X,Y,Z пишем 1, 0, 1 > Apply > NPT пишем 3 X,Y,Z пишем 2*1, 0, 1 > Apply > NPT пишем 4 X,Y,Z пишем 2*1, 0, 0 > Apply > NPT пишем 5 X,Y,Z пишем 2*1, 0, 2*1 > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_М > Plot > Multi-Plots</p>  - изометрия;  - автоформат.	
7	<p><i>Оси стержней рамы:</i></p> <p>М_М > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line > Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки: 1 и 2 2 и 3 3 и 5 4 и 3 > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_М > Plot > Multi-Plots</p>	

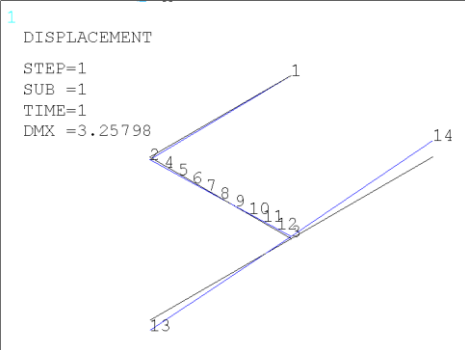
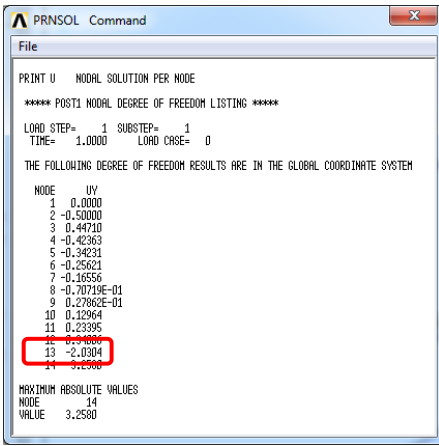
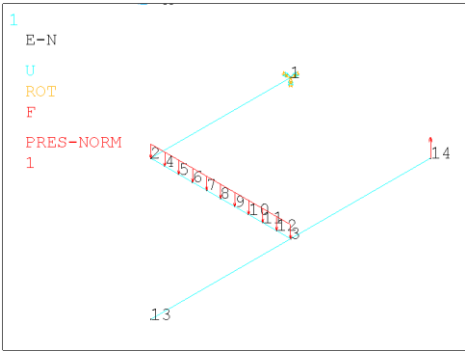
№	Действие	Результат
8	<p><i>Заделка в точке А:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints > левой кнопкой мыши нажать на 1 ключевую точку > OK > Lab2 установить "All DOF" > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
Конечноэлементная модель основной системы.		
9	<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>	

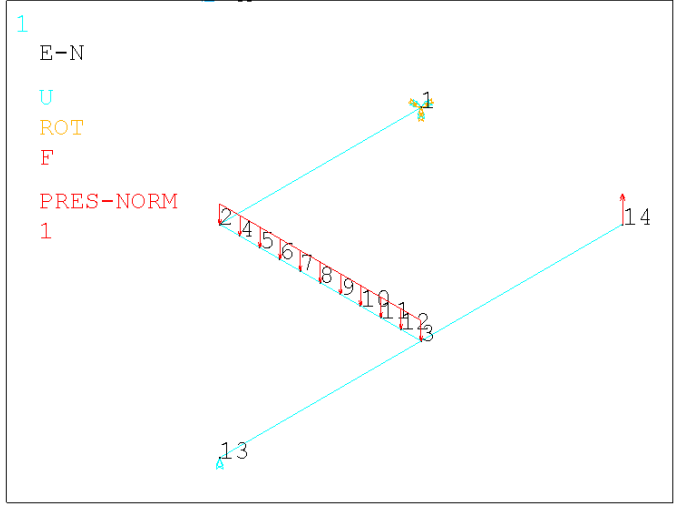
№	Действие	Результат
10	<p><i>Размер элементов:</i></p> <p>Линия L2 нагружена распределённой поперечной силой, её нужно разбить несколькими конечными элементами; остальные линии без распределённых нагрузок можно битть одним конечным элементом:</p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrl > ManualSize > Lines > Picked Lines ></p> <p>Левой кнопкой мыши кликаем на линию L2</p> <p>> OK</p> <p>NDIV пишем 10</p> <p>> Apply ></p> <p>Левой кнопкой мыши кликаем на линии L1, L3 и L4</p> <p>> OK ></p> <p>NDIV пишем 1</p> <p>> OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
11	<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>Видим сразу две модели - твердотельную и конечноэлементную.</p>	

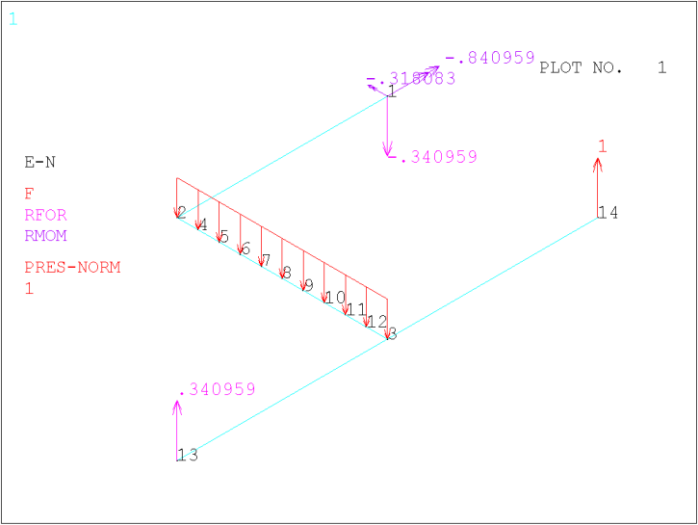
№	Действие	Результат
12	<p>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде <i>Multi-Plots</i>:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Multi-Plot Controls > Появляется первое окно Multi-Plotting > OK > Появляется второе окно Multi-Plotting > Оставляем в нём отметки только напротив Nodes и Elements > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots Теперь видим только конечноэлементную модель.</p>	
13	<p>Переносим на конечноэлементную модель нагрузки и закрепления с модели твердотельной:</p> <p>M_M > Loads > Define Loads > Operate > Transfer to FE > All Solid Lds > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
14	<p>Проверяем ориентацию поперечного сечения:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Size and Shape > [/ESHAPE] установить отметку "on" > OK</p> <p>Корректируйте масштаб кнопками ,  или .</p> <p>Видно, что плоскость рамы параллельна меньшей стороне сечения, как и должно быть. Убираем прорисовку сечения:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Size and Shape > [/ESHAPE] убрать отметку, установив "off" > OK</p>	



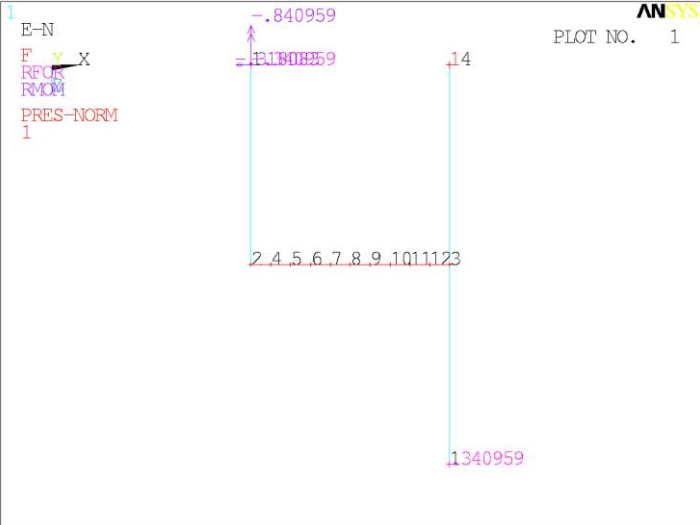
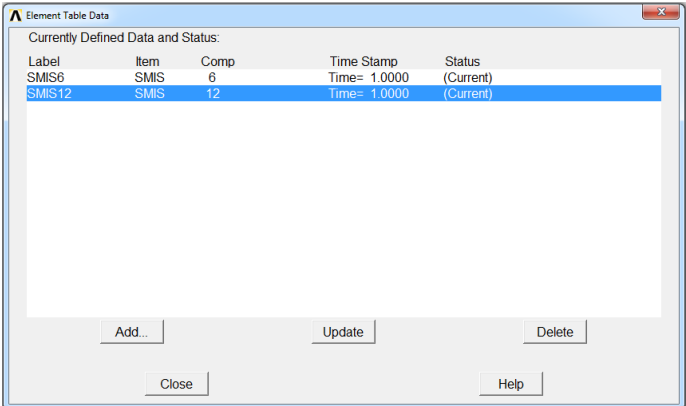
№	Действие	Результат
<p>Вычисление податливости δ_{11}:</p>		
<p>15</p>	<p><i>Единичная сила по направлению X_1:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Nodes > Left button of mouse marks node 13 > OK > Lab установить "FY" > OK > VALUE пишем 1 > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
<p>16</p>	<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. Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно. Расчёт окончен.</p>	
<p>17</p>	<p><i>Форма деформированной упругой оси рамы:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > OK</p> <p>Собственно, уже здесь видно максимальное перемещение (очевидно, в узле 13): 5,955 вверх.</p>	

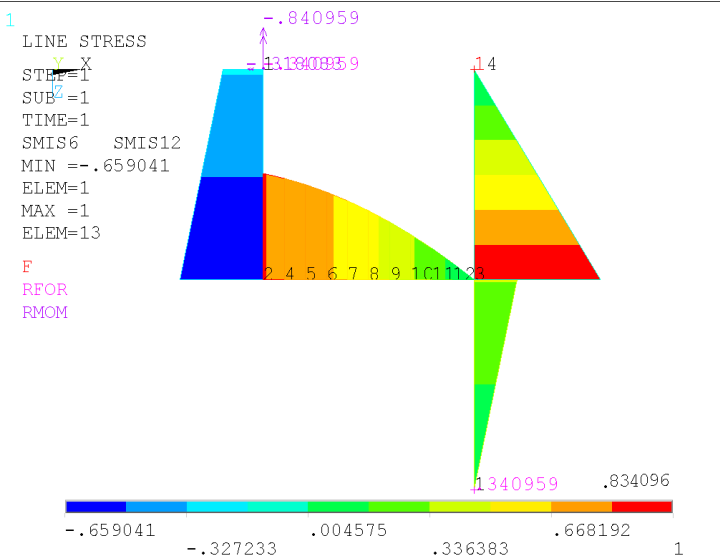
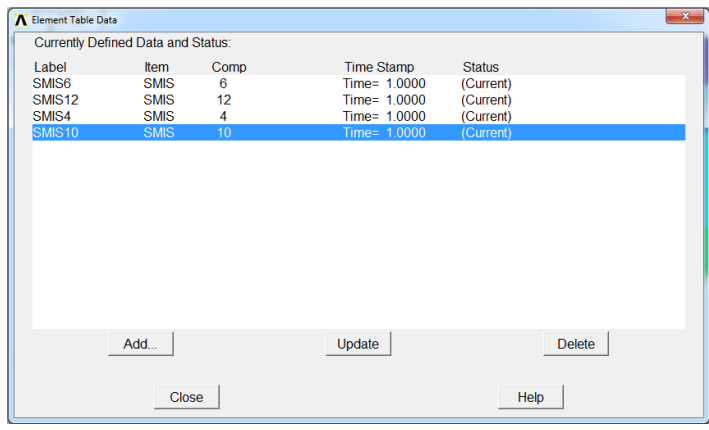
№	Действие	Результат
20	<p><i>Распределённая нагрузка ·q:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Beams > Left mouse button we mark 10 elements of the cross-section > Apply > LKEY we write 2 > VALI we write q > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
21	<p><i>Сосредоточенная сила ·q·l :</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Nodes > Left mouse button we mark node 14 > OK > Lab set to "FY" > VALU we write q*l > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
22	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS > OK > OK</p>	

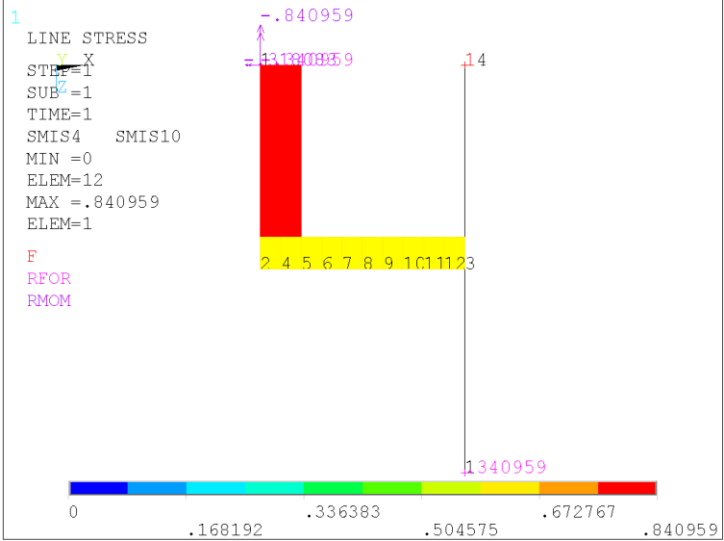
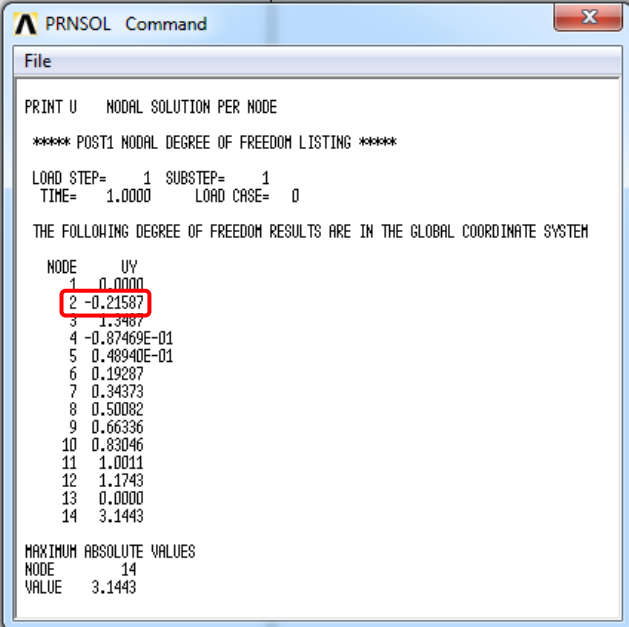
№	Действие	Результат
23	<p>Форма деформированной упругой оси рамы:</p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > OK</p>	
24	<p>Перемещение узла 13 по направлению X_1 от внешней нагрузки, приложенной к основной системе:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of displacement > OK</p> <p>Пропечаталась величина вертикального перемещения:</p> $UY = \delta_{1F} = 2,03 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} - \text{в } \delta_1 \text{ } \delta_2 \text{ } \delta_3 \text{ } \delta_4 \text{ } \delta_5 \text{ } \delta_6 \text{ } \delta_7 \text{ } \delta_8 \text{ } \delta_9 \text{ } \delta_{10} \text{ } \delta_{11} \text{ } \delta_{12} \text{ } \delta_{13} \text{ } \delta_{14}$ <p>Расхождение с результатом аналитического расчёта (см. рис. 1.) составляет 0,6%.</p>	
25	<p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots U_M > PlotCtrls > Symbols > Селектор [/PBC] устанавливаем на “All Applied BC” [/PSF] Surface Load Symbols устанавливаем “Pressures” > OK</p>	

№	Действие	Результат
Расчётная схема рамы:		
26	<p><i>Опора в точке Д:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Nodes > Левой кнопкой мыши нажать на узел №13 > OK > Lab2 установить "UY" > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
27	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS > OK > OK</p>	

№	Действие	Результат
28	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual" Убираем галочку с "Miscellaneous" Surface Load Symbols устанавливаем Pressures Show pres and convect as устанавливаем Arrows > ОК ></p> <p>В окне "Applied Boundary Conditions" U установить "Off" Rot установить "Off" F установить "Symbol+Value" M установить "Symbol+Value" > ОК ></p> <p>В окне "Reactions" NFOR установить "Off" NMOM установить "Off" RFOR установить "Symbol+Value" RMOM установить "Symbol+Value" > ОК</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1</i>. (реакция в точке Д отличается от результата аналитического расчёта на 0,2%).</p> <p>В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Красным цветом начерчены внешние силы; - Малиновым цветом нарисованы реактивные силы; - Фиолетовым начерчены векторы реактивных моментов: изгибаемого (поперёк оси короткого стержня) и крутильного (вдоль его оси). 	

№	Действие	Результат															
29	<p>Вид сверху:</p>  - вид сверху;  - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).																
30	<p>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10 > OK</p>																
31	<p>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента <i>Мизг</i>:</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:</p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Close</p>	 <table border="1" data-bbox="1402 1054 2085 1461"> <thead> <tr> <th>Label</th> <th>Item</th> <th>Comp</th> <th>Time Stamp</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SMIS6</td> <td>SMIS</td> <td>6</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS12</td> <td>SMIS</td> <td>12</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> </tbody> </table>	Label	Item	Comp	Time Stamp	Status	SMIS6	SMIS	6	Time= 1.0000	(Current)	SMIS12	SMIS	12	Time= 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status													
SMIS6	SMIS	6	Time= 1.0000	(Current)													
SMIS12	SMIS	12	Time= 1.0000	(Current)													

№	Действие	Результат																									
32	<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>	 <p>1 LINE STRESS STEP=1 SUBC=1 TIME=1 SMIS6 SMIS12 MIN = -.659041 ELEM=1 MAX =1 ELEM=13 F RFOR RMOM</p> <p>-.659041 -.327233 .004575 .336383 .668192 1</p>																									
33	<p><i>Составление эпюры внутреннего крутящего момента Мкр:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "4" > Apply > "By sequence num", "SMISC,", "10" > ОК > > Close</p> <p>Смотрим таблицу результатов:</p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Close</p>	 <p>Element Table Data</p> <p>Currently Defined Data and Status:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Label</th> <th>Item</th> <th>Comp</th> <th>Time Stamp</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SMIS6</td> <td>SMIS</td> <td>6</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS12</td> <td>SMIS</td> <td>12</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS4</td> <td>SMIS</td> <td>4</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS10</td> <td>SMIS</td> <td>10</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> </tbody> </table> <p>Add... Update Delete</p> <p>Close Help</p>	Label	Item	Comp	Time Stamp	Status	SMIS6	SMIS	6	Time= 1.0000	(Current)	SMIS12	SMIS	12	Time= 1.0000	(Current)	SMIS4	SMIS	4	Time= 1.0000	(Current)	SMIS10	SMIS	10	Time= 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status																							
SMIS6	SMIS	6	Time= 1.0000	(Current)																							
SMIS12	SMIS	12	Time= 1.0000	(Current)																							
SMIS4	SMIS	4	Time= 1.0000	(Current)																							
SMIS10	SMIS	10	Time= 1.0000	(Current)																							

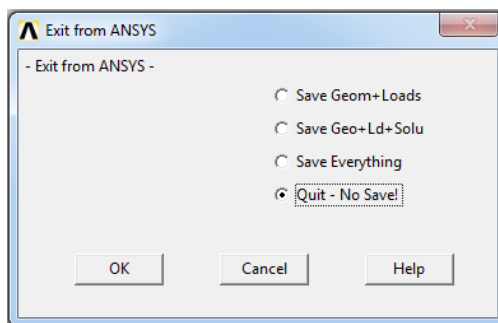
№	Действие	Результат
34	<p><i>Прорисовка эпюры Mкр:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res ></p> <p>LabI установить "SMIS4"</p> <p>LabJ установить "SMIS10"</p> <p>Fact пишем 1</p> <p>> ОК</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1.</i> (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала.</p>	
35	<p><i>Вертикальное перемещение узла №2 (точка Б)</i></p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of displacement ></p> <p>> ОК</p> <p>Получаем методом конечных элементов:</p> $UY_2 = \delta_2 = \delta_A = 0,22 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} \quad \text{аí è ç (î ò ð è ò à ò ä è ü ü û é);}$ <p>что в точности совпадает с результатом аналитического расчёта (<i>рис. 1.</i>).</p>	 <pre> PRNSOL Command File PRINT U NODAL SOLUTION PER NODE **** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING **** LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM NODE UY 1 0.0000 2 -0.21582 3 1.3487 4 -0.87469E-01 5 0.48940E-01 6 0.19287 7 0.34373 8 0.50082 9 0.66336 10 0.83046 11 1.0011 12 1.1743 13 0.0000 14 3.1443 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 14 VALUE 3.1443 </pre>

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.