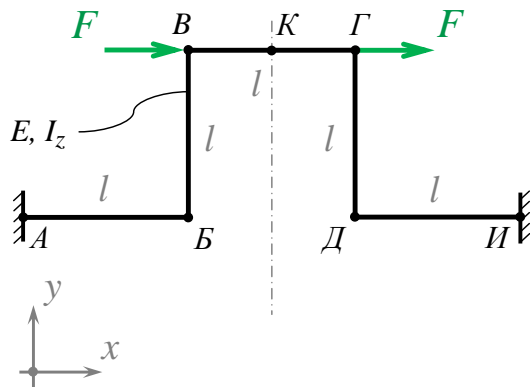


M-03 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: E, I_z, F, l .

Односвязная плоская рама,
нагруженная сосредоточенными
силами F .

E – модуль упругости материала;

I_z – изгибный момент инерции.

Найти: Эпюру внутреннего изгибающего момента M_z ;

Коэффициенты канонических уравнений δ_{ij} и неизвестные X_i при раскрытии статической неопределённости путём назначения избыточными внешних связей в точке И.

Аналитический расчёт (см. [M-03](#)) даёт следующие решения:

Суммарная эпюра внутреннего изгибающего момента:

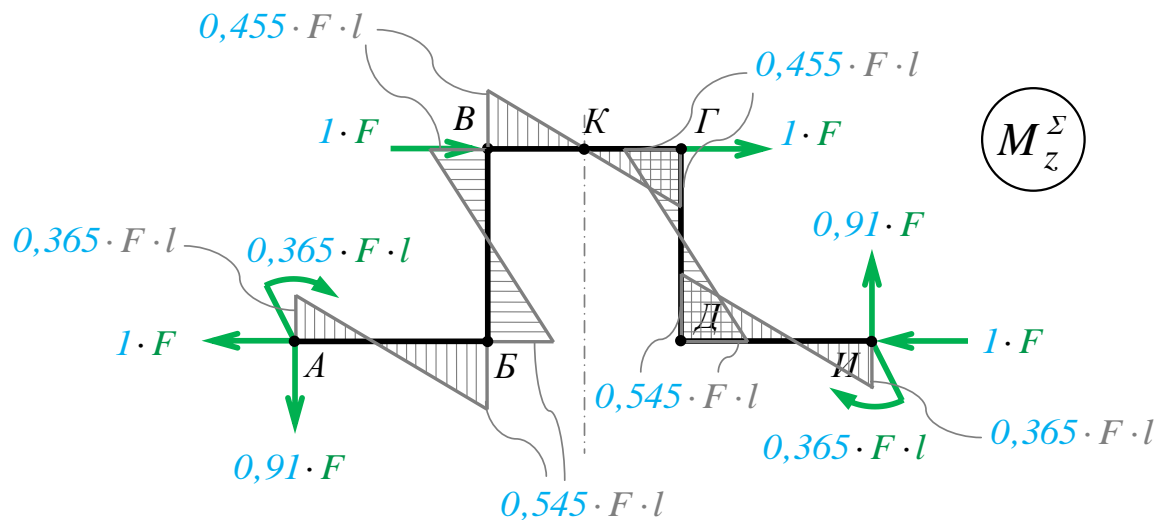
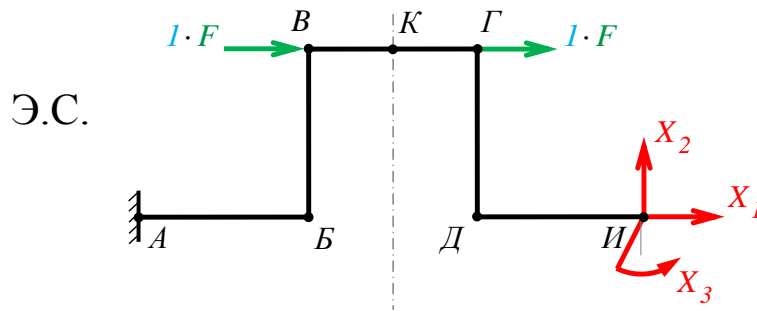


Рис. 1.

При решении задачи избыточными назначались внешние связи в точке И:



$$\begin{cases} X_1 \cdot \delta_{11} + X_2 \cdot \delta_{12} + X_3 \cdot \delta_{13} + \delta_{1F} = 0 & X_1 = -F ; \\ X_1 \cdot \delta_{21} + X_2 \cdot \delta_{22} + X_3 \cdot \delta_{23} + \delta_{2F} = 0 & X_2 = 0,91 \cdot F ; \\ X_1 \cdot \delta_{31} + X_2 \cdot \delta_{32} + X_3 \cdot \delta_{33} + \delta_{3F} = 0 & X_3 = -0,365 \cdot F \cdot l . \end{cases}$$

$$\delta_{1F} = -\frac{1}{3} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_x} = -0,3333 \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_x} ;$$

$$\delta_{2F} = -7 \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_x} ;$$

$$\delta_{3F} = -3 \cdot \frac{F \cdot l^2}{E \cdot I_x} ;$$

$$\delta_{11} = \frac{5}{3} \cdot \frac{l^3}{E \cdot I_x} = 1,667 \cdot \frac{l^3}{E \cdot I_x} ;$$

$$\delta_{21} = \delta_{12} = 3 \cdot \frac{l^3}{E \cdot I_x} ;$$

$$\delta_{31} = \delta_{13} = 2 \cdot \frac{l^2}{E \cdot I_x} ;$$

$$\delta_{22} = 14 \cdot \frac{l^3}{E \cdot I_x} ;$$

$$\delta_{32} = \delta_{23} = 7,5 \cdot \frac{l^2}{E \cdot I_x} ;$$

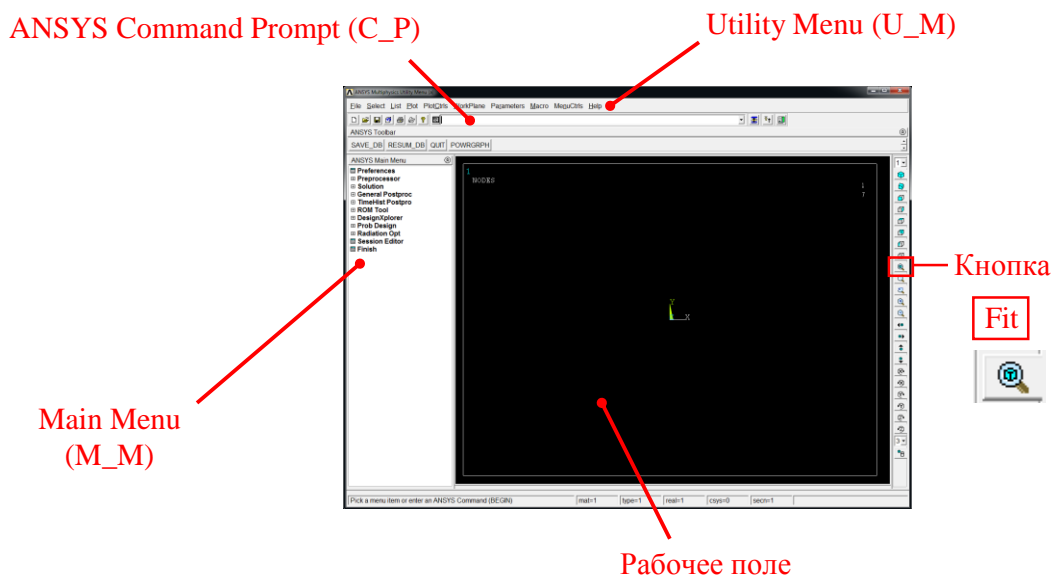
$$\delta_{33} = 5 \cdot \frac{l}{E \cdot I_x} .$$

Рис. 2.

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:

```
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
```

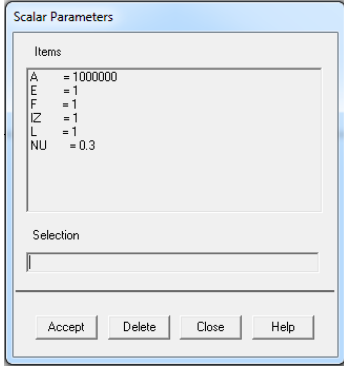
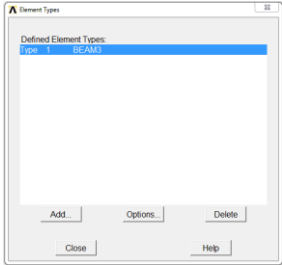
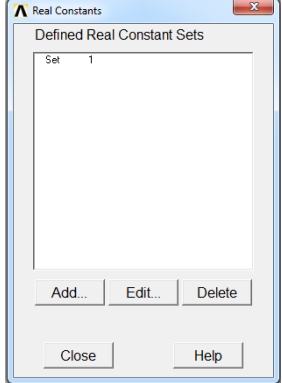
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```

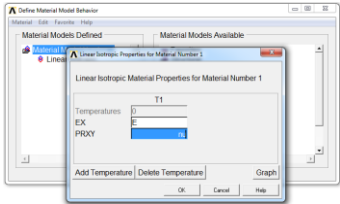
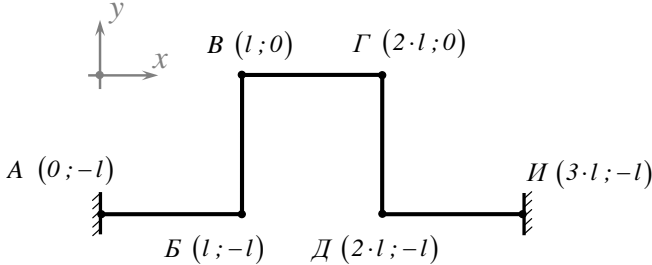
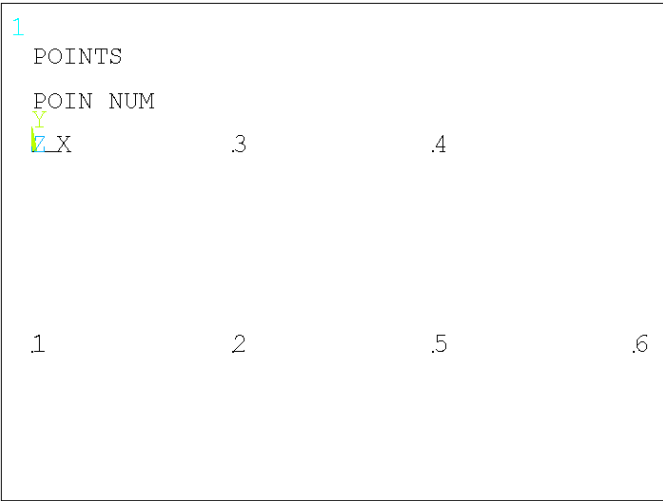
```
Установить «Размер» на «22»> OK
```

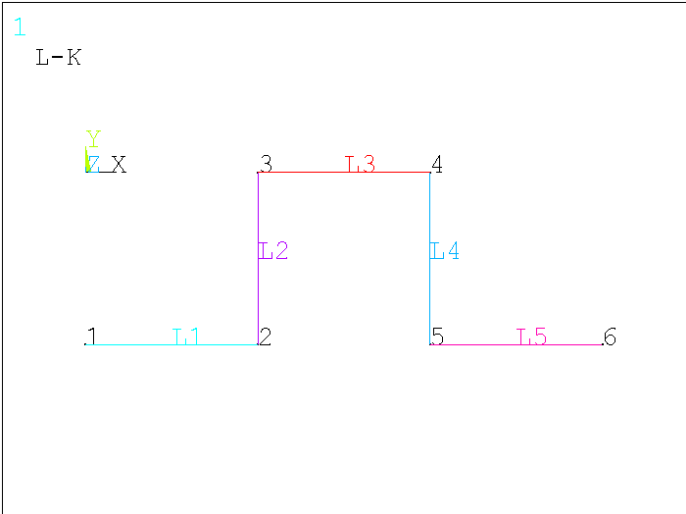
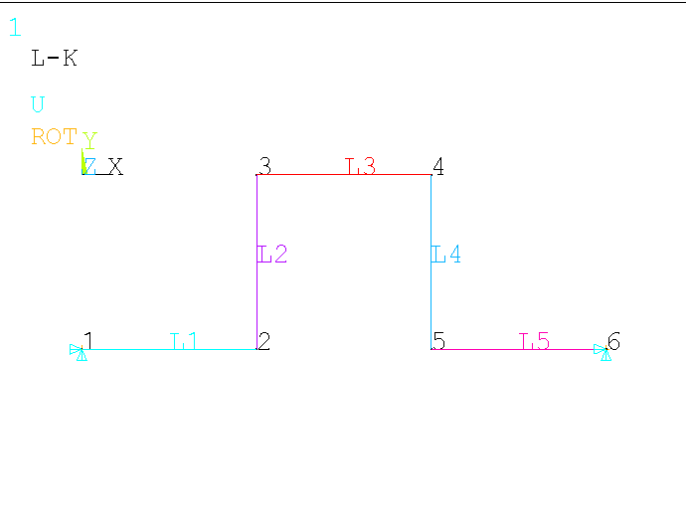
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

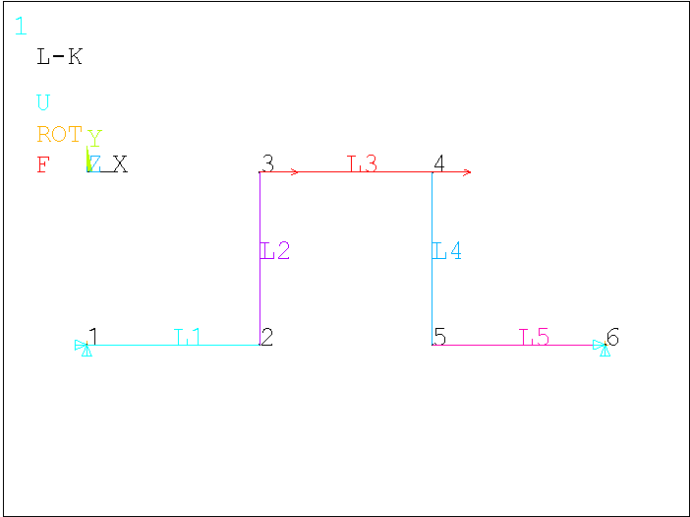
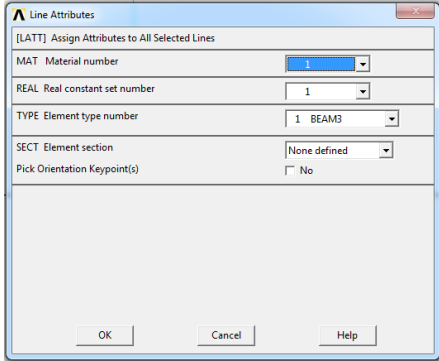
Решение задачи:

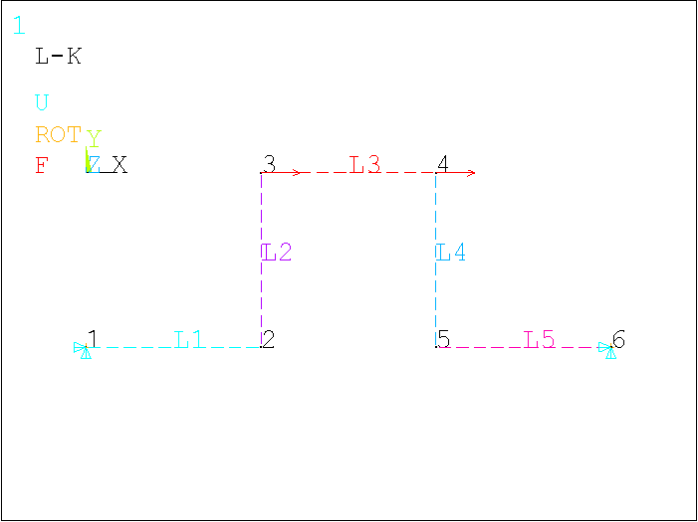
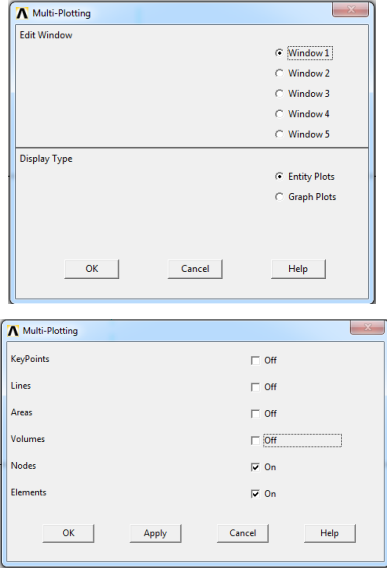
Приравняв E , I_z , F и l к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

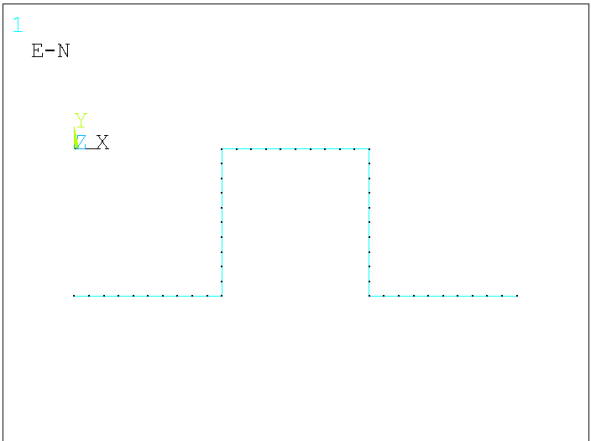
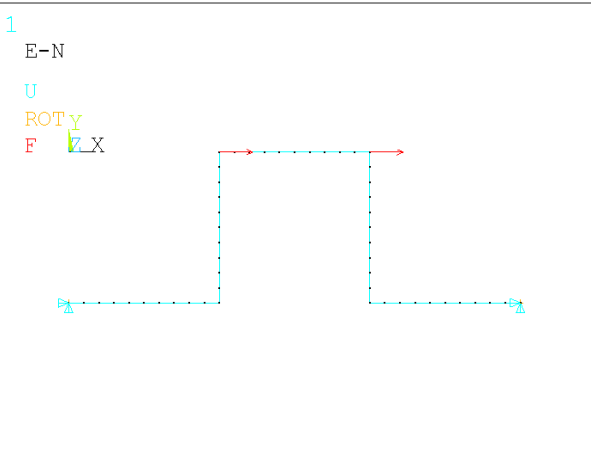
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters > E=1 > Accept > A=1e6 > Accept > Iz=1 > Accept > F=1 > Accept > l=1 > Accept > nu=0.3 > Accept > > Close</p>	
2	<p><i>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский балочный тип BEAM3:</i></p> <p>M_M > Preprocessor C_P > ET, 1, BEAM3 > Enter</p> <p>Посмотрим таблицу конечных элементов: M_M > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Close</p>	
3	<p><i>Первая строка в таблице параметров («реальных констант») выбранного типа конечного элемента: площадь поперечного сечения = A; момент инерции = Iz; высота = l/100.</i></p> <p>C_P > R, 1, A, Iz, L/100 > Enter</p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант: M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Close</p>	



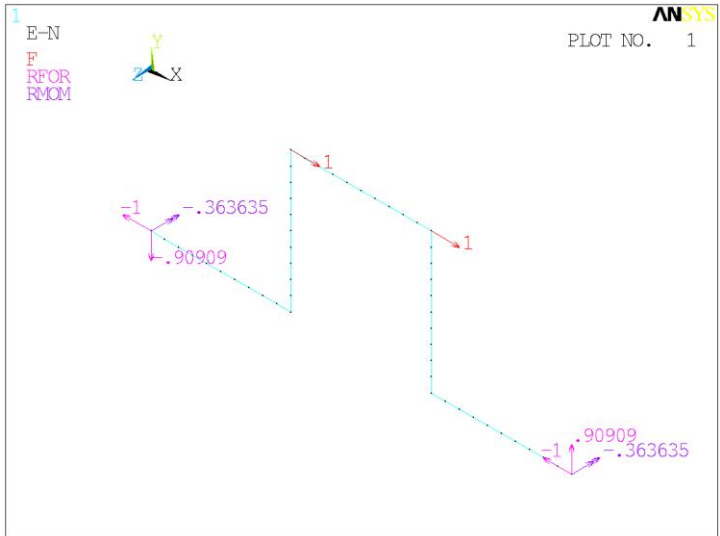
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>М_М > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic ></p> <p>В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu" > ОК</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
Твердотельное моделирование		
5	<p><i>Координаты узлов рамы:</i></p> <p>Определяемся с положением рамы относительно глобальной декартовой системы координат.</p>	
6	<p><i>Ключевые точки – границы участков: A → 1, B → 2, C → 3, D → 4, E → 5, F → 6 :</i></p> <p>М_М > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS ></p> <p>NPT пишем 1</p> <p>X, Y, Z пишем 0, -l, 0 > Apply ></p> <p>NPT пишем 2</p> <p>X, Y, Z пишем l, -l, 0 > Apply ></p> <p>NPT пишем 3</p> <p>X, Y, Z пишем l, 0, 0 > Apply ></p> <p>NPT пишем 4</p> <p>X, Y, Z пишем 2l, 0, 0 > Apply ></p> <p>NPT пишем 5</p> <p>X, Y, Z пишем 2l, -l, 0 > ОК</p> <p>NPT пишем 6</p> <p>X, Y, Z пишем 3l, -l, 0 > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_М > Plot > Multi-Plots</p>	 <pre> 1 POINTS POIN NUM Y X .3 .4 1 2 .5 .6 </pre>



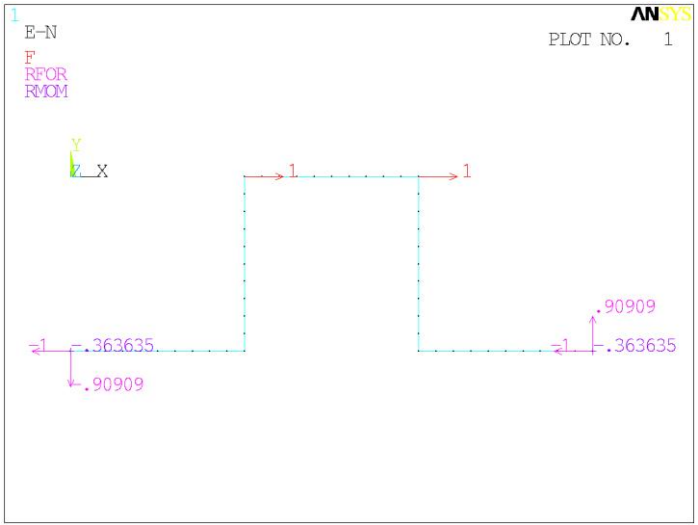
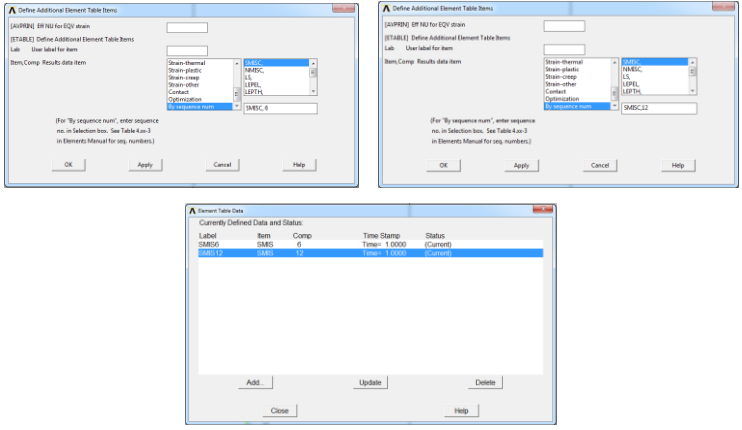
№	Действие	Результат
7	<p><i>Пять участков – пять линий:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line ></p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки:</p> <p>1 и 2 2 и 3 3 и 4 4 и 5 5 и 6</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p>	 <p>The screenshot shows a 2D frame structure with six nodes (1-6) and five line elements (L1-L5). Node 1 is at the bottom left, node 2 is to its right, node 3 is above node 2, node 4 is to the right of node 3, node 5 is below node 4, and node 6 is to the right of node 5. Line L1 connects nodes 1 and 2 (cyan), L2 connects 2 and 3 (purple), L3 connects 3 and 4 (red), L4 connects 4 and 5 (blue), and L5 connects 5 and 6 (magenta). A coordinate system with X and Y axes is shown at the top left.</p>
8	<p><i>Заделки:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 1 и 6 ключевые точки</p> <p>> OK ></p> <p>Lab2 установить "All DOF"</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p>	 <p>This screenshot is identical to the previous one, but with fixed support symbols (blue squares with a diagonal line) applied to nodes 1 and 6. The coordinate system and line elements remain the same.</p>

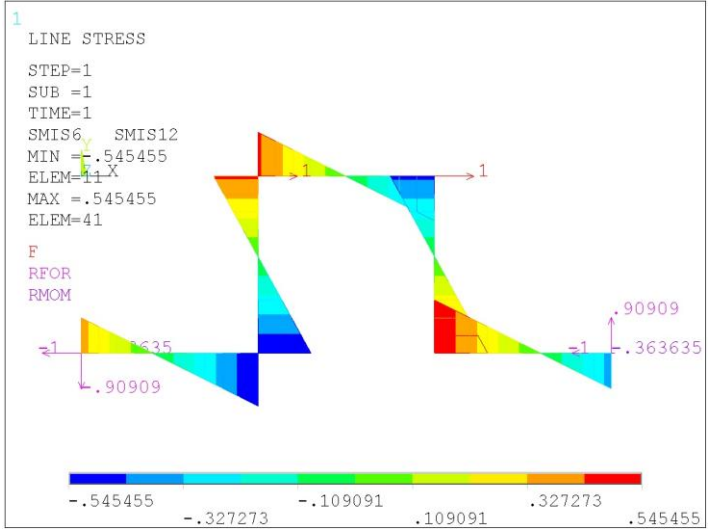
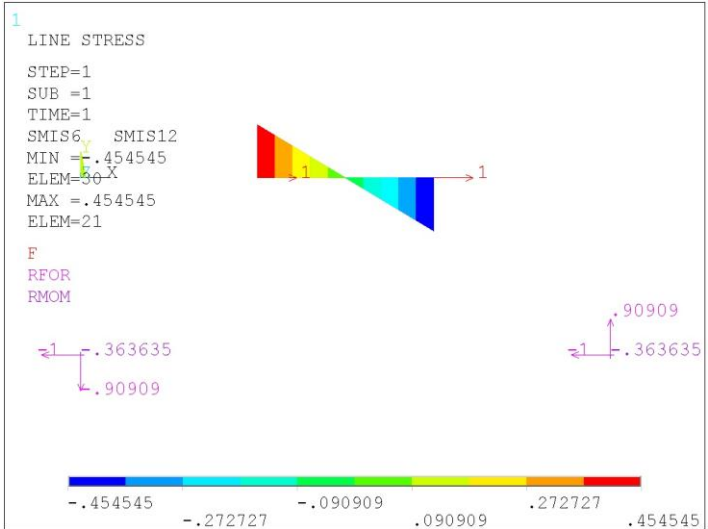
№	Действие	Результат
9	<p><i>Нагрузка:</i> M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints > Левой кнопкой мыши нажать на 3 и 4 ключевые точки > OK > Lab установить "FX" VALU пишем F > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
Конечноэлементная модель		
10	<p><i>Указываем материал, реальные константы и тип элементов:</i> M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Lines > MAT установить "1" REAL установить "1" TYPE установить "1 BEAM3" > OK</p>	

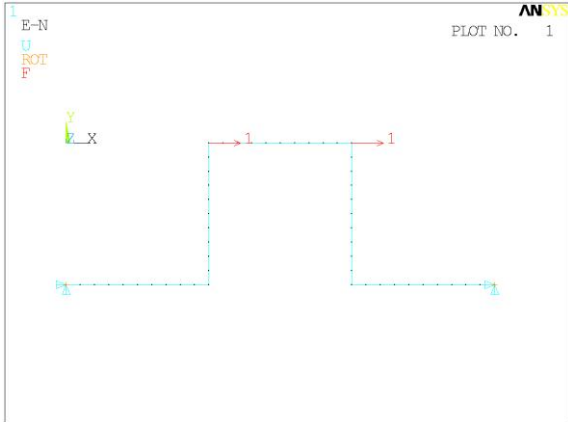
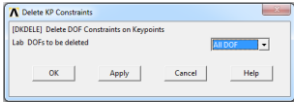
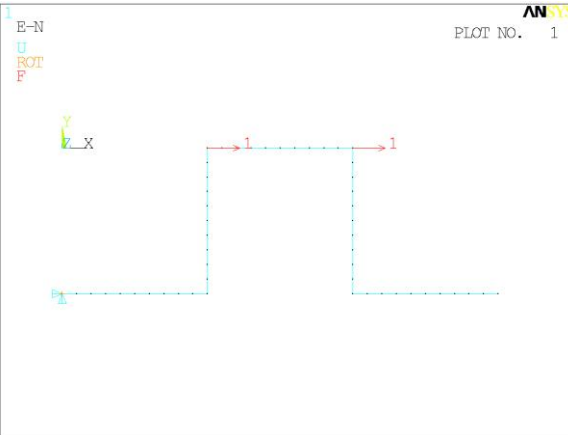
№	Действие	Результат
11	<p><i>Стержень без распределённой нагрузки можно бить одним конечным элементом, но при вычислении коэффициентов канонических уравнений для наглядности будет прорисовываться форма деформированной оси рамы, поэтому каждый участок лучше разбить несколькими балочными конечными элементами:</i></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>	
12	<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 ></p> <p>Появляется второе окно Multi-Plotting > Оставляем в нём отметки только напротив Nodes и Elements > OK</p>	

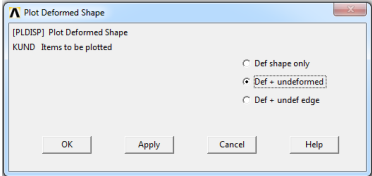
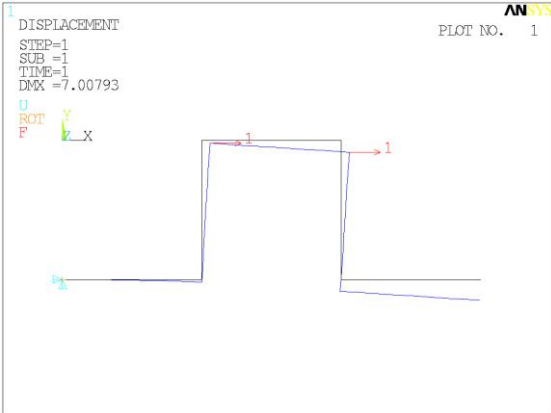
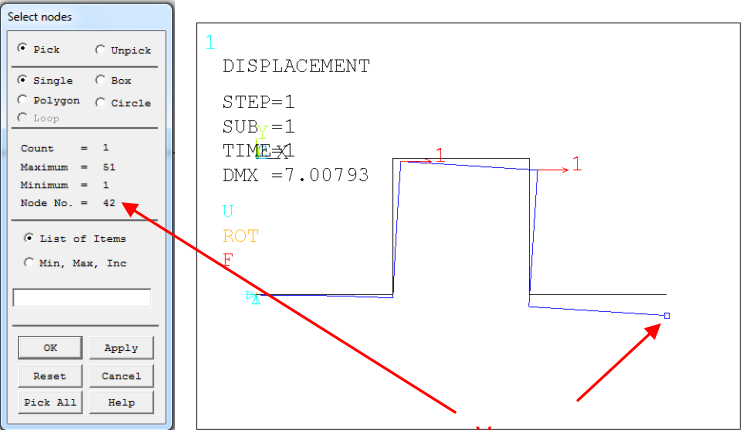
№	Действие	Результат
13	<p><i>Рабиваем линии на элементы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Pick All</p> <p><i>Обновляем изображение:</i></p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Бирюзовым цветом изображены балочные элементы. Чёрные точки – это их узлы.</p>	
14	<p><i>Переносим на 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>	
Расчёт		
15	<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. Ждём. Появится окно «Solution is done!». Закройте это окно. Расчёт окончен.</p>	

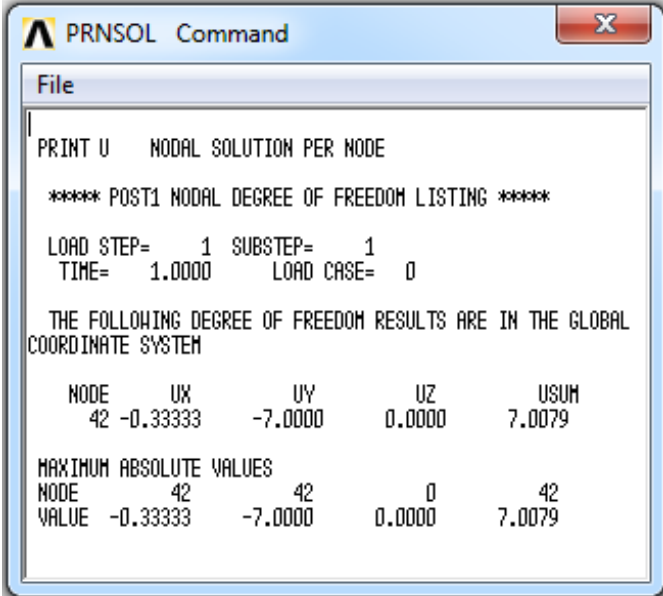
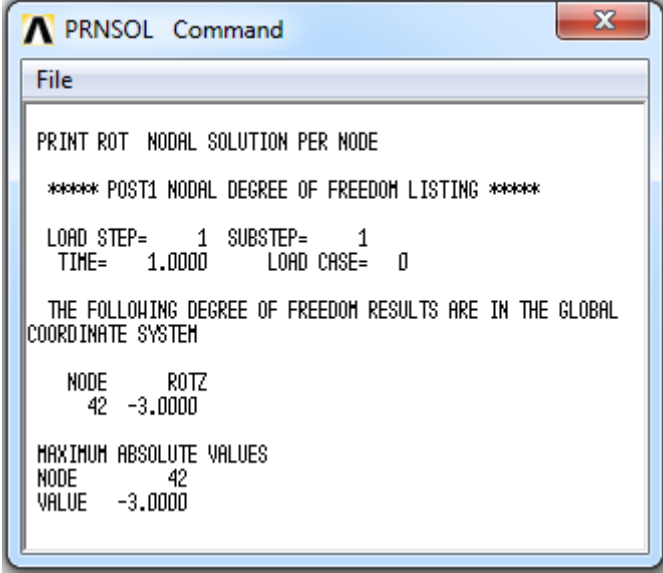
№	Действие	Результат
Просмотр результатов		
16	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual" Убираем галочку с "Miscellaneous" Surface Load Symbols устанавливаем Pressures Show pres and convect as устанавливаем Arrows > OK ></p> <p>В окне "Applied Boundary Conditions"</p> <p>U установить "Off" Rot установить "Off" F установить "Symbol+Value" M установить "Symbol+Value" > OK ></p> <p>В окне "Reactions"</p> <p>NFOR установить "Off" NMOM установить "Off" RFOR установить "Symbol+Value" RMOM установить "Symbol+Value" > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Elements</p> <p> - изометрия;  - автоформат.</p> <p>Полное совпадение силовой схемы с <i>рис. 1</i> (числа, выделенные синим цветом) за исключением реактивных моментов: $\Delta=(0,365-0,364)/0,365*100\%=0,3\%$.</p> <p>В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Красным цветом начерчены внешние силы; - Фиолетовым цветом - вектора реактивных моментов; - Малиновым цветом нарисованы реактивные силы. 	

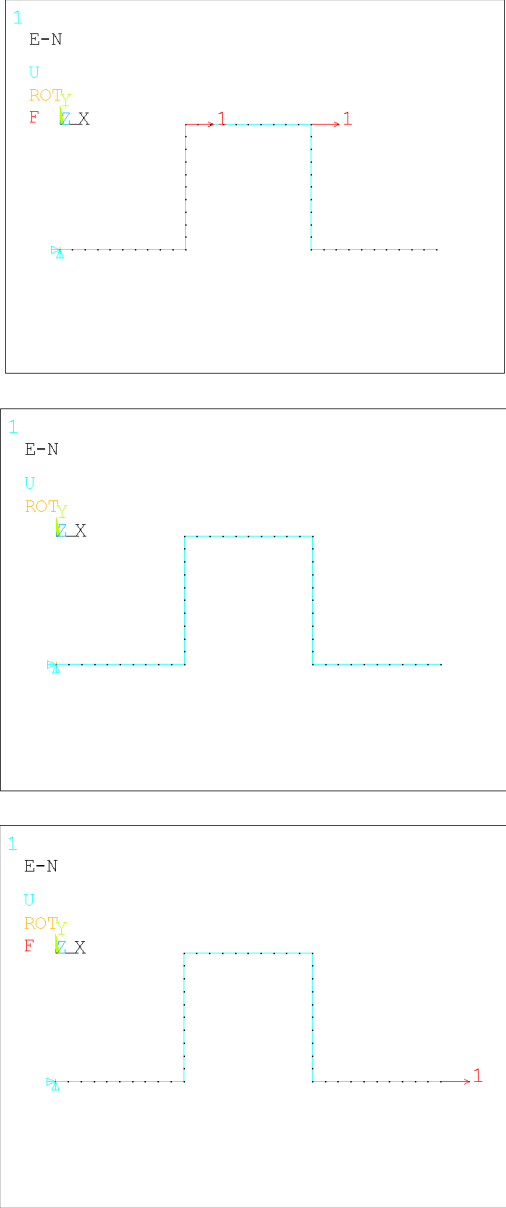
№	Действие	Результат															
17	<p>Возвращаемся к фронтальному виду:</p>  - вид спереди;  - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).																
18	<p>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10 > OK</p>																
19	<p>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента:</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="1554 1251 1935 1474"> <thead> <tr> <th>Label</th> <th>Item</th> <th>Comp</th> <th>Time Stamp</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SMISC,6</td> <td>SMISC</td> <td>6</td> <td>Time = 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMISC,12</td> <td>SMISC</td> <td>12</td> <td>Time = 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> </tbody> </table>	Label	Item	Comp	Time Stamp	Status	SMISC,6	SMISC	6	Time = 1.0000	(Current)	SMISC,12	SMISC	12	Time = 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status													
SMISC,6	SMISC	6	Time = 1.0000	(Current)													
SMISC,12	SMISC	12	Time = 1.0000	(Current)													

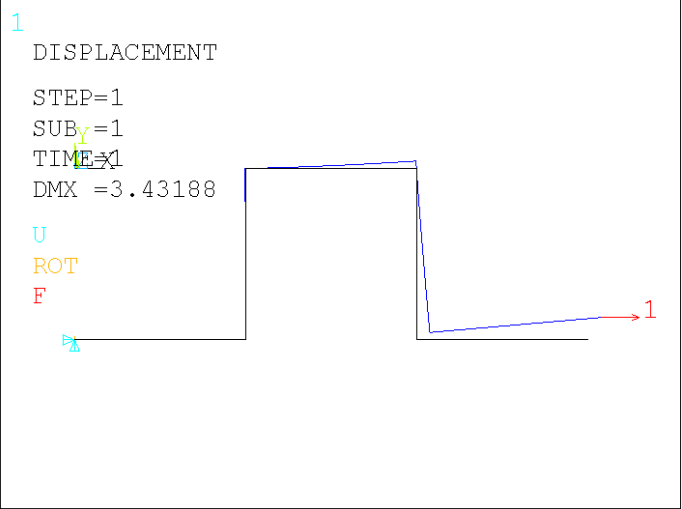
№	Действие	Результат
20	<p>Прорисовка эпюры внутреннего изгибающего момента:</p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > LabI установить "SMIS6" LabJ установить "SMIS12" Fact пишем 1 > OK</p> <p>Сравниваем с <i>рис.1</i>.</p> <p>В точках А и И высота эпюры равна значениям реактивных моментов (0,364); в точках В и Д высота эпюры 0,545 (это видно по цветовой шкале). Высоты эпюры в точках В и Г можно определить лишь приблизительно, по их попаданию в соответствующий цветовой интервал.</p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS6 SMIS12 MIN = -.545455 ELEM=11 MAX = .545455 ELEM=41 F RFOR RMOM </pre>
21	<p>Участок между точками В и Г:</p> <p>Выделяем конечные элементы участка:</p> <p>U_M > Select > Entities > Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick" Селектор на "From Full" > OK</p> <p>Последовательно кликаем левой кнопкой мыши на каждый из десяти элементов > OK</p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>Виден тот же результат, что и на <i>рис. 1</i>. на участке В-Г (0,454). Значения показывает цветовая шкала.</p> <p>Выделяем сё, что есть: U_M > Select > Everything Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS6 SMIS12 MIN = -.454545 ELEM=30 MAX = .454545 ELEM=21 F RFOR RMOM </pre>

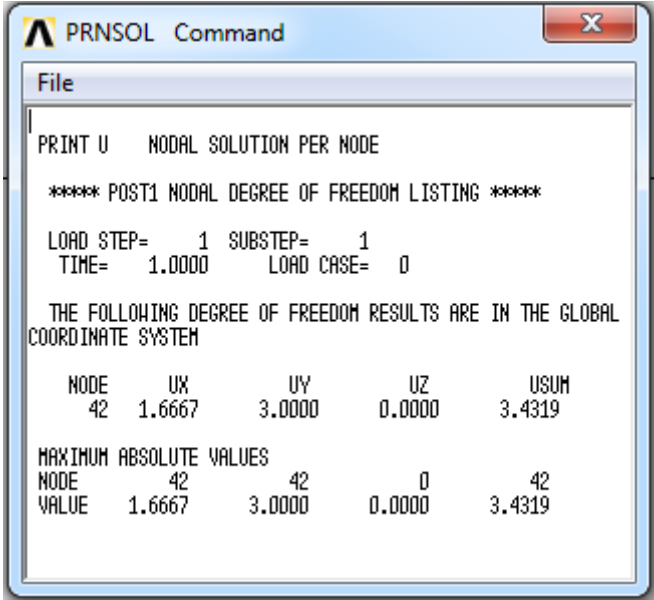
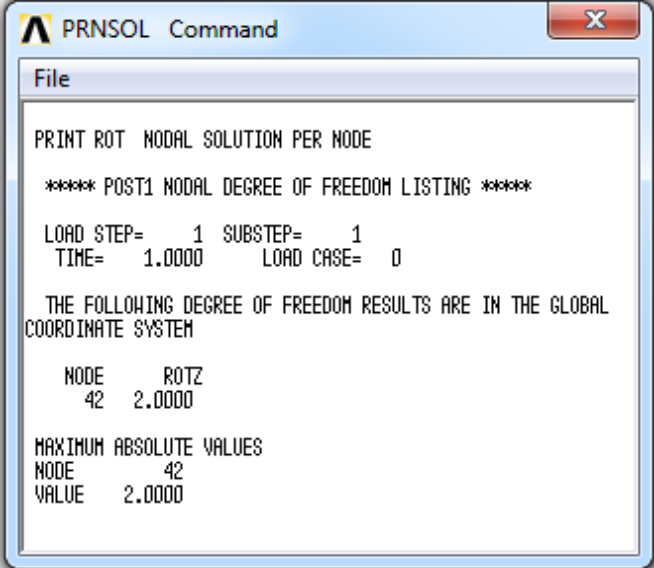
№	Действие	Результат
22	<p><i>Прорисовываем закрепления и внешние силы:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual" Убираем галочку с "Miscellaneous" Surface Load Symbols устанавливаем Pressures Show pres and convect as устанавливаем Arrows > OK ></p> <p>В окне "Applied Boundary Conditions" U установить "Symbol" Rot установить "Symbol" F установить "Symbol+Value" M установить "Symbol+Value" > OK ></p> <p>В окне "Reactions" NFOR установить "Off" NMOM установить "Off" RFOR установить "Off" RMOM установить "Off" > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	 <p>The image shows an ANSYS plot window titled 'E-N PLOT NO. 1'. It displays a stepped profile with a coordinate system (X, Y, Z) and various boundary conditions and forces indicated by arrows and labels.</p>
23	<p><i>Убираем заделку в точке И, получается ОС с приложенной внешней нагрузкой:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Delete > Structural > Displacement > On Keypoints > Левой кнопкой мыши нажать на точку с правой заделкой > OK ></p> <p>Lab DOFs to be deleted установить "All DOF" > OK</p>  <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	 <p>The image shows the same ANSYS plot window as in the previous step, but with the constraint removed, resulting in a different boundary condition configuration.</p>

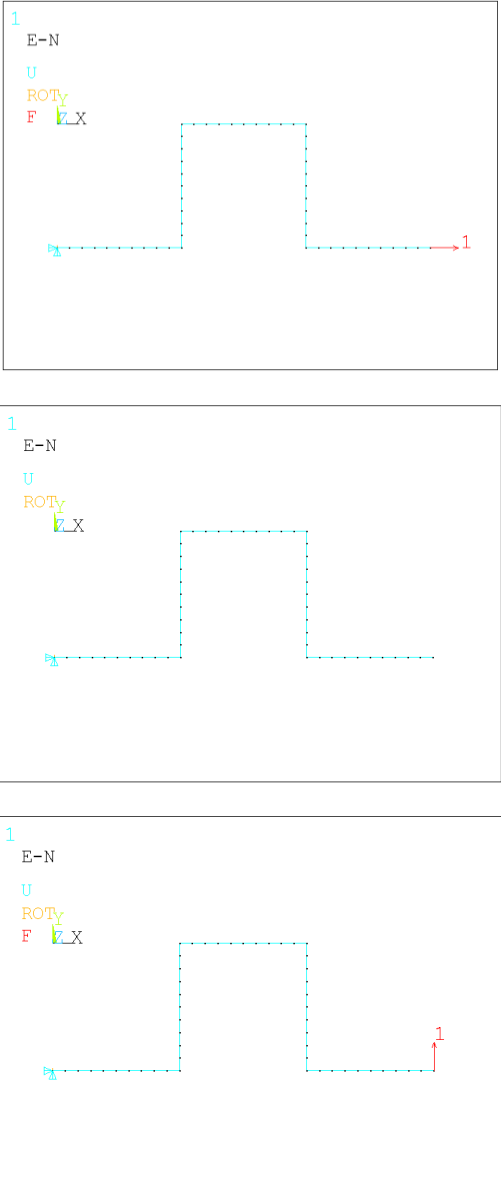
№	Действие	Результат
24	<p><i>Расчёт :</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS > OK > Close</p>	
25	<p><i>Деформированная форма:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > OK</p>  <p>Ни сил ни заделок не видно, поэтому повторяем также действие №23.</p> <p>Видим недеформированную форму упругой оси рамы (чёрная) и деформированную форму (синяя) в некотором масштабе.</p>	
26	<p><i>Выделяем узел в точке И:</i></p> <p>U_M > Select > Entities > Устанавливаем "Nodes", "By Num/Pick" и "From Full" > OK</p> <p>Кликаем на крайнюю правую точку деформированной формы</p> <p>В окошке Select nodes припишется номер узла «Node No. = 42» > OK</p>	

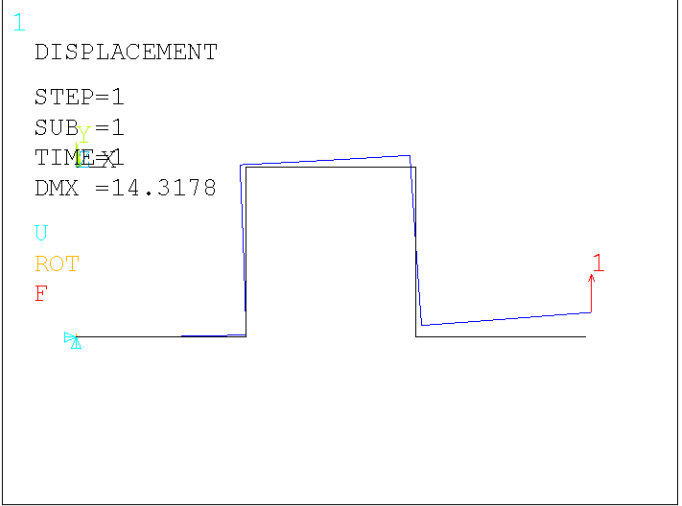
№	Действие	Результат
27	<p>Податливости δ_{1F}, δ_{2F}, и δ_{3F}:</p> <p>Линейные перемещения узла №42:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement vector sum > ОК</p> <p>Видим:</p> $UX = -0,3333 \Rightarrow \delta_{1F} = -0,3333 \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_x};$ $UY = -7 \Rightarrow \delta_{2F} = -7 \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_x}.$ <p>Что полностью совпадает с результатами, представленными на <i>рис.2</i>.</p> <p>Угловое перемещение узла №42:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Z-Component of rotation > ОК</p> <p>Видим:</p> $ROTZ = -3 \Rightarrow \delta_{3F} = -3 \cdot \frac{F \cdot l^2}{E \cdot I_x}.$ <p>И тут совпадение с <i>рис.2</i>. налицо.</p> <p>Выделяем сё, что есть: U_M > Select > Everything</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 UX UY UZ USUM 42 -0.33333 -7.0000 0.0000 7.0079 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 42 VALUE -0.33333 -7.0000 0.0000 7.0079 </pre>  <pre> PRNSOL Command File PRINT ROT 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 ROTZ 42 -3.0000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 42 VALUE -3.0000 </pre>

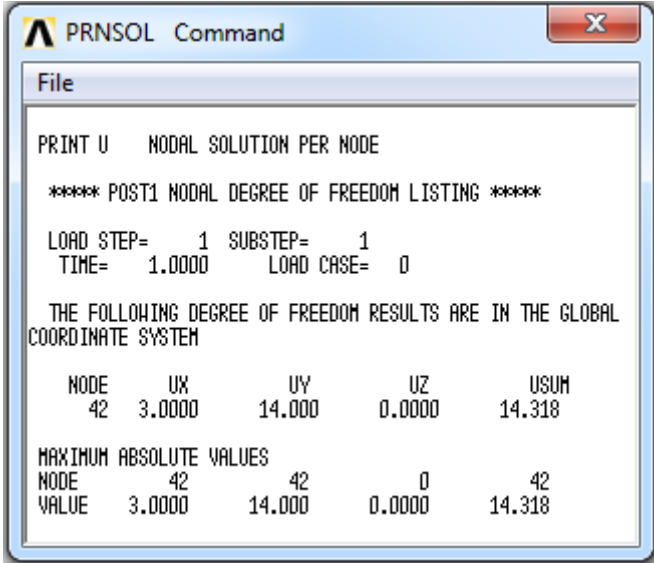
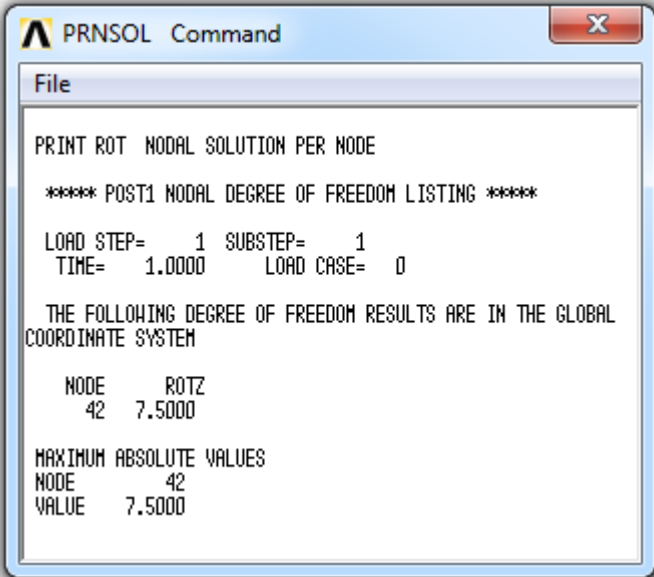
№	Действие	Результат
28	<p><i>Подготовка модели – ОС, нагруженная единичной силой по первому направлению:</i></p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Очистка прошлой нагрузки: M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Delete > Structural > Force/Moment > On Keypoints > Pick All > Lab установить All > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Единичная сила по первому направлению: M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Nodes > Левой кнопкой мыши нажать на узел №42 (в точке И) > OK > Lab установить "FX" VALU пишем 1 > OK Возникнет предупреждающее окно, закройте его.</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	 <p>The 'Результат' column contains three screenshots illustrating the process of applying a unit force to a model. Each screenshot shows a coordinate system with axes E-N, U, ROTy, and F. The force is applied at node 42 (point И) and is directed along the X-axis (FX). The screenshots show the force being applied to the nodes and the resulting state of the model.</p>



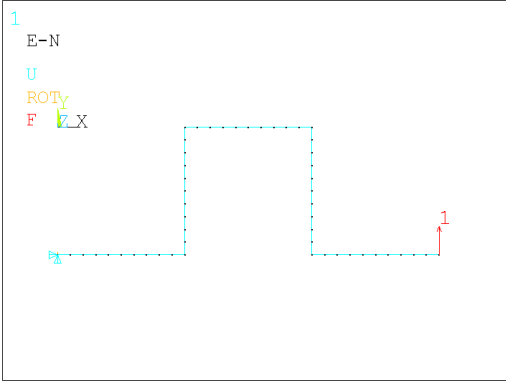
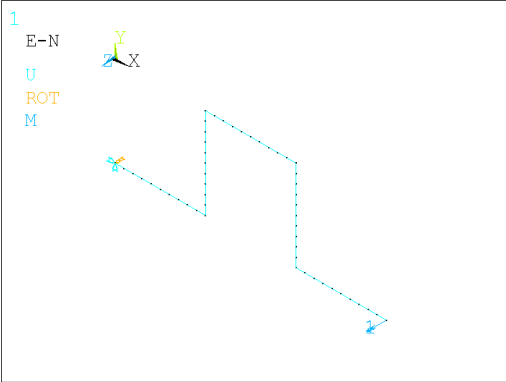
№	Действие	Результат
29	<p><i>Расчёт :</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS > OK > Close</p>	
30	<p><i>Деформированная форма:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > OK</p> <p>Ни сил ни заделок не видно, поэтому повторяем также действие №23.</p> <p>Видим недеформированную форму упругой оси рамы (чёрная) и деформированную форму (синяя) в некотором масштабе.</p>	
31	<p><i>Выделяем узел в точке И:</i></p> <p>U_M > Select > Entities > Устанавливаем "Nodes", "By Num/Pick" и "From Full" > OK</p> <p>Кликаем на крайнюю правую точку деформированной формы > OK</p>	

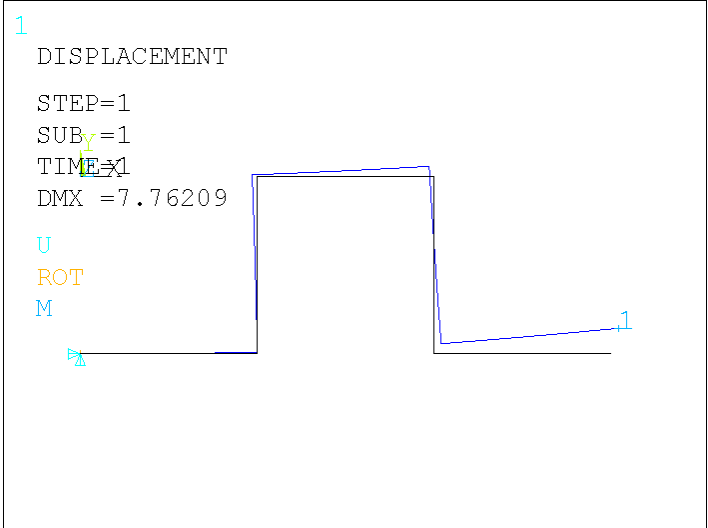
№	Действие	Результат
32	<p>Податливости δ_{11}, δ_{21}, и δ_{31}:</p> <p>Линейные перемещения узла №42:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement vector sum > ОК</p> <p>Видим:</p> $UX = 1,667 \Rightarrow \delta_{11} = 1,667 \cdot \frac{l^3}{E \cdot I_x};$ $UY = 3 \Rightarrow \delta_{21} = 3 \cdot \frac{l^3}{E \cdot I_x}.$ <p>Полное совпадение с <i>рис.2</i>.</p> <p>Угловое перемещение узла №42:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Z-Component of rotation > ОК</p> <p>Видим:</p> $ROTZ = 2 \Rightarrow \delta_{31} = 2 \cdot \frac{l^2}{E \cdot I_x}.$ <p>Полное совпадение с <i>рис.2</i>.</p> <p>Выделяем сѐ, что есть: U_M > Select > Everything</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 UX UY UZ USUM 42 1.6667 3.0000 0.0000 3.4319 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 42 VALUE 1.6667 3.0000 0.0000 3.4319 </pre>  <pre> PRNSOL Command File PRINT ROT 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 ROTZ 42 2.0000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 42 VALUE 2.0000 </pre>

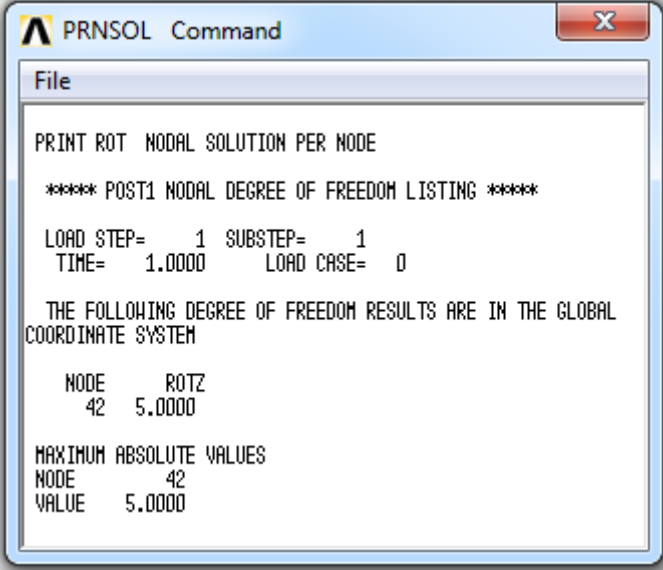
№	Действие	Результат
33	<p><i>Подготовка модели – ОС, нагруженная единичной силой по второму направлению:</i></p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Очистка прошлой нагрузки: M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Delete > Structural > Force/Moment > On Nodes > Pick All > Lab установить All > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Единичная сила по второму направлению: M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Nodes > Левой кнопкой мыши нажать на узел №42 (в точке И) > OK > Lab установить "FY" VALU пишем 1 > OK Если возникнет предупреждающее окно, закройте его.</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	 <p>The figure consists of three vertically stacked screenshots of a finite element analysis software interface. Each screenshot shows a coordinate system with X and Y axes and a legend with labels: E-N, U, ROTy, and F. A red arrow labeled '1' indicates the direction and magnitude of a unit force applied at a specific node. In the first screenshot, the force is applied in the positive X direction. In the second screenshot, the force is removed. In the third screenshot, the force is applied in the positive Y direction.</p>

№	Действие	Результат
34	<p><i>Расчёт :</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS > OK > Close</p>	
35	<p><i>Деформированная форма:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > OK</p> <p>Ни сил ни заделок не видно, поэтому повторяем также действие №23.</p> <p>Видим недеформированную форму упругой оси рамы (чёрная) и деформированную форму (синяя) в некотором масштабе.</p>	 <p>1 DISPLACEMENT STEP=1 SUB=1 TIME=1 DMX =14.3178 U ROT F</p>
36	<p><i>Выделяем узел в точке II:</i></p> <p>U_M > Select > Entities > Устанавливаем "Nodes", "By Num/Pick" и "From Full" > OK</p> <p>Кликаем на крайнюю правую точку деформированной формы > OK</p>	

№	Действие	Результат
37	<p>Податливости δ_{22} и δ_{32}:</p> <p>Линейные перемещения узла №42:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement vector sum > OK</p> <p>Видим:</p> $UY = 14 \Rightarrow \delta_{22} = 14 \cdot \frac{l^3}{E \cdot I_x}.$ <p>Полное совпадение с <i>рис.2</i>.</p> <p>Угловое перемещение узла №42:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Z-Component of rotation > OK</p> <p>Видим:</p> $ROTZ = 7,5 \Rightarrow \delta_{32} = 7,5 \cdot \frac{l^2}{E \cdot I_x}.$ <p>Полное совпадение с <i>рис.2</i>.</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M > Select > Everything</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 UX UY UZ USUM 42 3.0000 14.0000 0.0000 14.318 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 42 VALUE 3.0000 14.0000 0.0000 14.318 </pre>  <pre> PRNSOL Command File PRINT ROT 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 ROTZ 42 7.5000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 42 VALUE 7.5000 </pre>

№	Действие	Результат
38	<p>Подготовка модели – ОС, нагруженная единичной силой по третьему направлению:</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Очистка прошлой нагрузки: M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Delete > Structural > Force/Moment > On Nodes > Pick All > Lab установить All > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Единичный момент по третьему направлению: M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Nodes > Левой кнопкой мыши нажать на узел №42 (в точке И) > OK > Lab установить "MZ" VALU пишем 1 > OK Если возникнет предупреждающее окно, закройте его.</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Для лучшего просмотра посмотрите на модель в изометрии, потом вернитесь к фронтальному виду:</p> <p> - изометрия;  - фронтальный вид.</p>	  

№	Действие	Результат
39	<p><i>Расчёт :</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS > OK > Close</p>	
40	<p><i>Деформированная форма:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > OK</p> <p>Ни сил ни заделок не видно, поэтому повторяем также действие №23.</p> <p>Видим недеформированную форму упругой оси рамы (чёрная) и деформированную форму (синяя) в некотором масштабе.</p>	
41	<p><i>Выделяем узел в точке И:</i></p> <p>U_M > Select > Entities > Устанавливаем "Nodes", "By Num/Pick" и "From Full" > OK</p> <p>Кликаем на крайнюю правую точку деформированной формы > OK</p>	

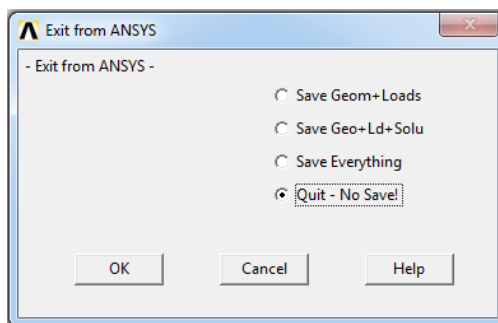
№	Действие	Результат
42	<p>Податливость δ_{33} :</p> <p>Угловое перемещение узла №42:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Z-Component of rotation > > OK</p> <p>Видим:</p> $ROTZ = 5 \Rightarrow \delta_{33} = 5 \cdot \frac{l}{E \cdot I_x}.$ <p>Полное совпадение с <i>рис.2</i>.</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M > Select > Everything</p>	 <pre> PRNSOL Command File PRINT ROT NODAL SOLUTION PER NODE ***** POST1 MODAL 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 ROTZ 42 5.0000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 42 VALUE 5.0000 </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” и “.stat”.

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