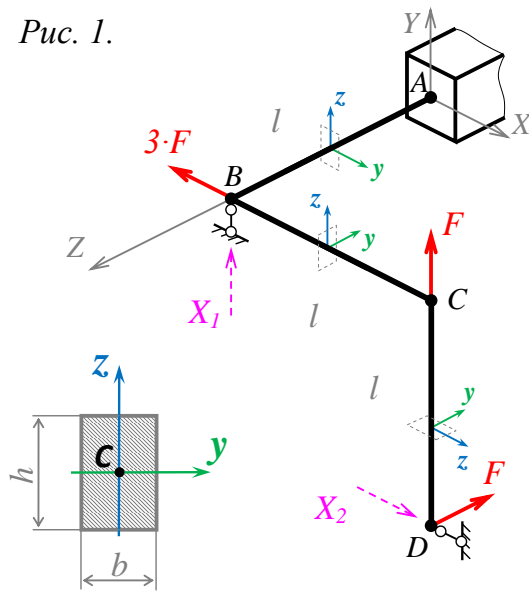


R-01 (ANSYS)

Формулировка задачи:

Рис. 1.



Дано: l , $b = \frac{l}{20}$, $h = \frac{3}{2} \cdot b$, F , E , $\nu = 0,25$.

Пространственная рама выполнена из трёх прямых стержней прямоугольного поперечного сечения; нагружена сосредоточенными внешними силами в узлах.

Требуется: построить эпюру M^Σ внутренних изгибающих и крутящих моментов.

Аналитический расчёт (см. [R-01](#)) даёт следующее решение:

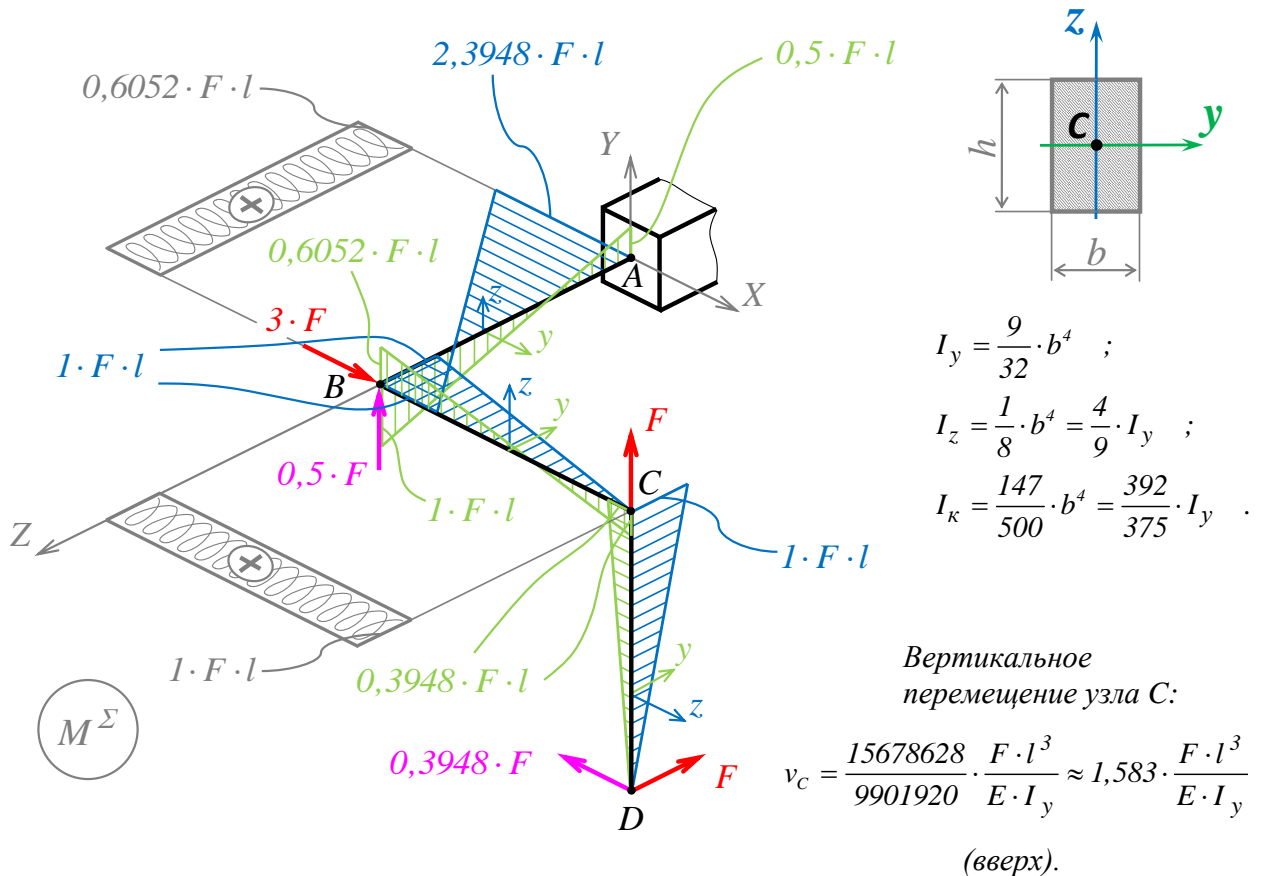


Рис. 2.

Значения реакций опор X_1 и X_2 в аналитическом расчёте получены из системы канонических уравнений метода сил (рис.3.).

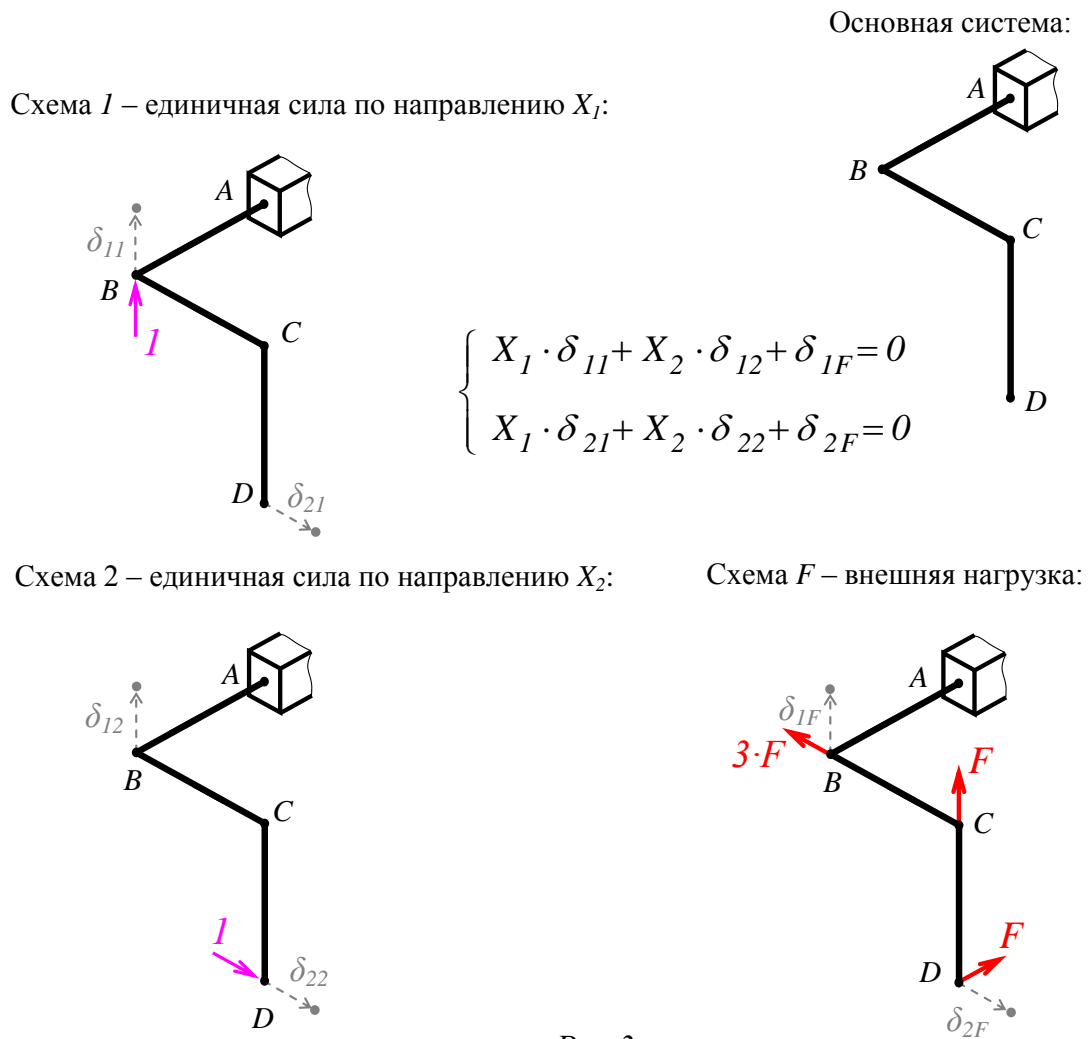


Рис.3.

Коэффициенты уравнений (перемещения δ_{ij}) были найдены методом Мора:

$$\delta_{11} = \frac{1}{3} \cdot \frac{l^3}{E \cdot I_y} = 0,3333 \cdot \frac{l^3}{E \cdot I_y};$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = 0;$$

$$\delta_{22} = \frac{10525}{2352} \cdot \frac{l^3}{E \cdot I_y} = 4,475 \cdot \frac{l^3}{E \cdot I_y};$$

$$\delta_{1F} = -\frac{1}{6} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_y} = -0,1667 \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_y};$$

$$\delta_{2F} = \frac{1385}{784} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_y} = 1,767 \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_y}.$$

Решение системы видно на (рис.1):

$$X_1 = \frac{1}{2} \cdot F = 0,5 \cdot F \quad ;$$

$$X_2 = \frac{831}{2105} \cdot F = 0,3948 \cdot F \quad .$$

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multyphysics получить эти же результаты (перемещение v_C , реакции X_i , эпюру внутренних моментов M^Σ , коэффициенты δ_{ij}) методом конечных элементов.

Предварительные настройки:

Для решения задачи используется ANSYS Multiphysics 14.0:

ANSYS Command Prompt (C_P)

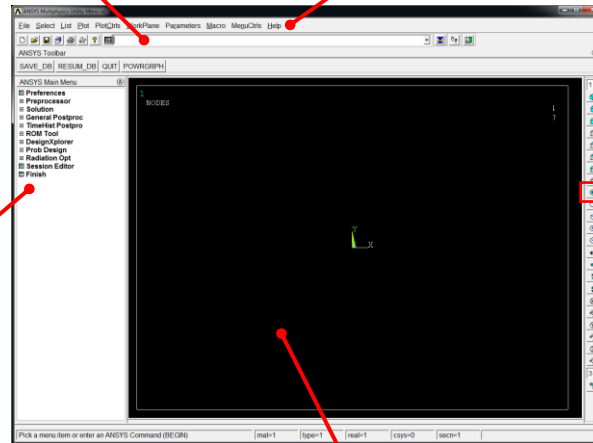
Utility Menu (U_M)

Main Menu (M_M)

Рабочее поле

Кнопка

Fit

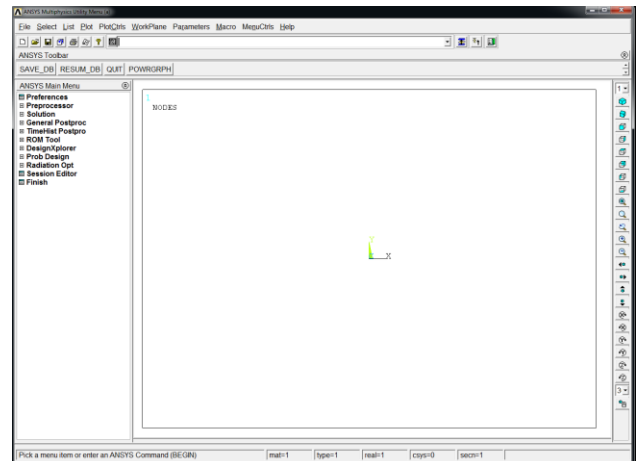


С меню M_M и U_M работают мышью, выбирая нужные опции.

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

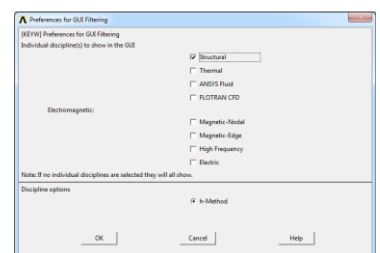
Чёрное рабочее поле не всегда приятно для глаза. Кроме того, оно неудобно для печати рисунков. Меняем чёрный цвет фона на белый следующими действиями:

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



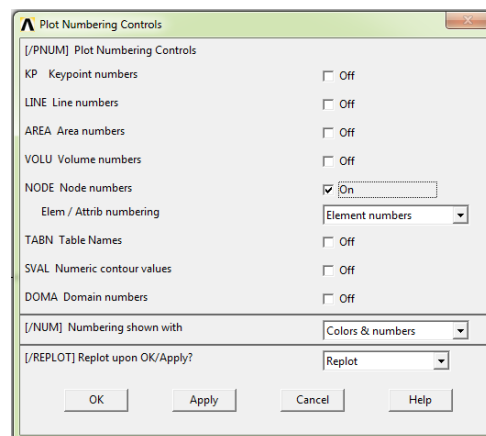
Убрать пункты меню, относящиеся к расплавам, магнитам и так далее, оставить только относящиеся к прочностным расчётам:

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



При построениях полезно видеть номера узлов и номера конечных элементов (один участок – один конечный элемент):

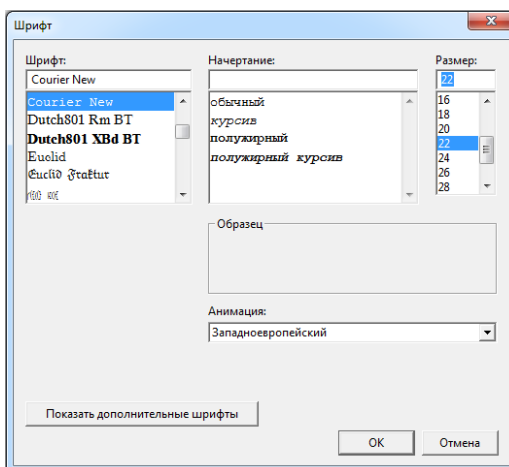
```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить NODE ;
Установить Elem на "Element numbers";
Установить [/NUM] на "Colors&numbers"
> ОК
```



Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

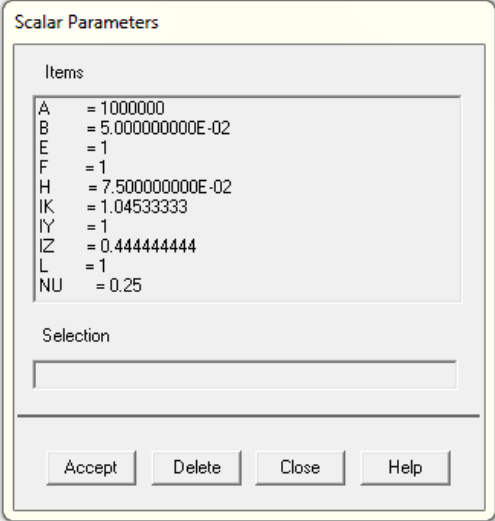
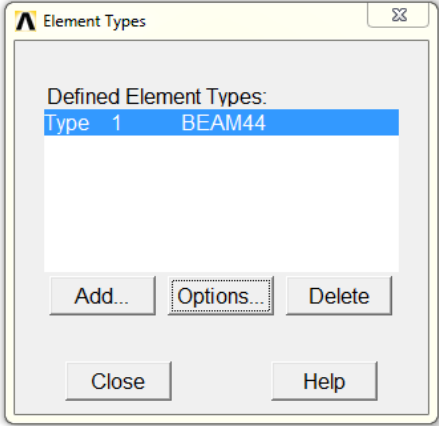
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >
Установить «Размер» на «22»
> ОК
```

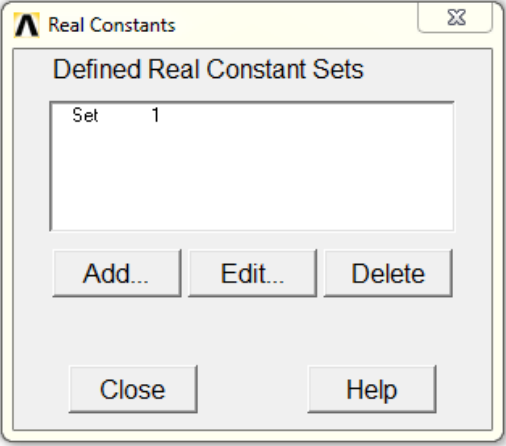
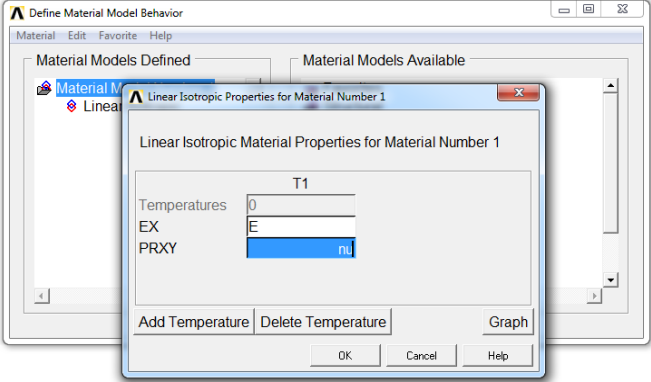
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
Установить «Размер» на «22»
> ОК
```

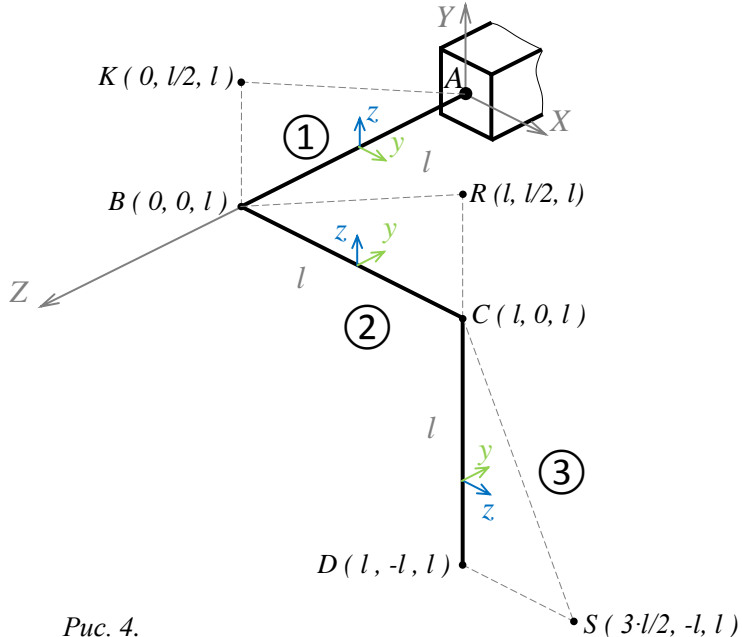




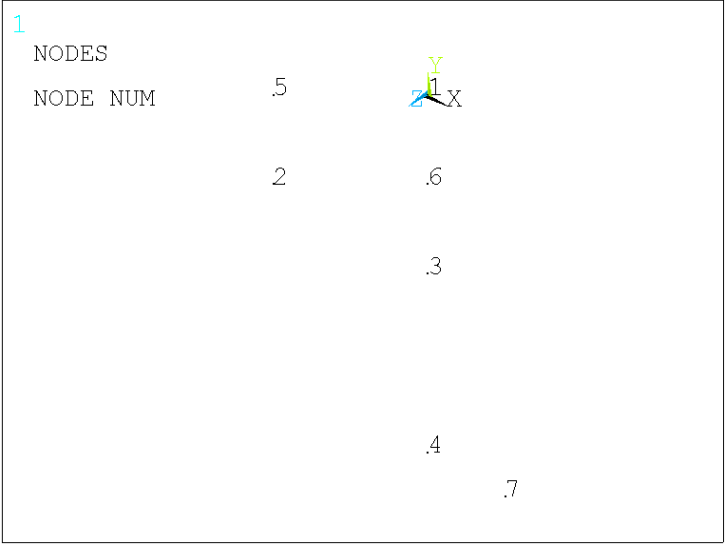
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

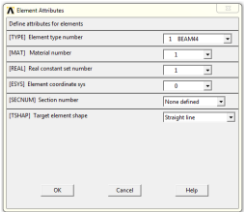
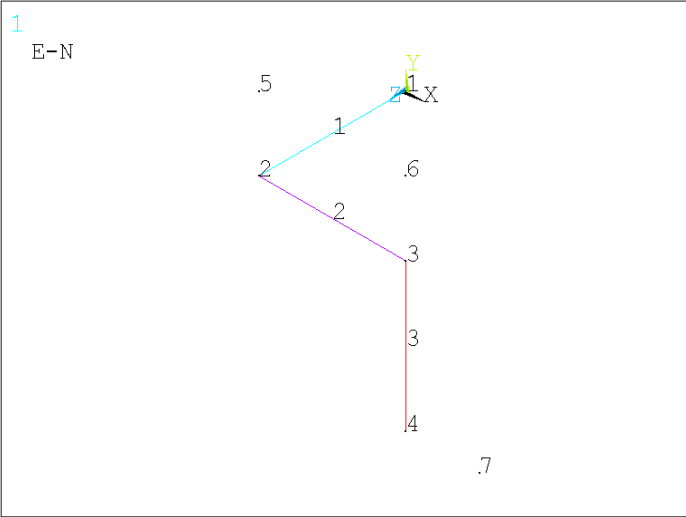
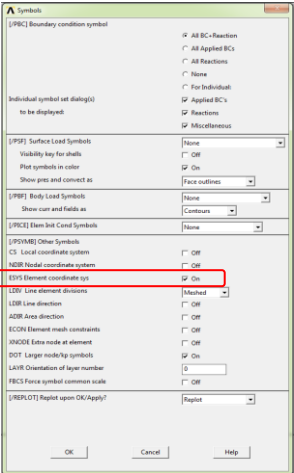
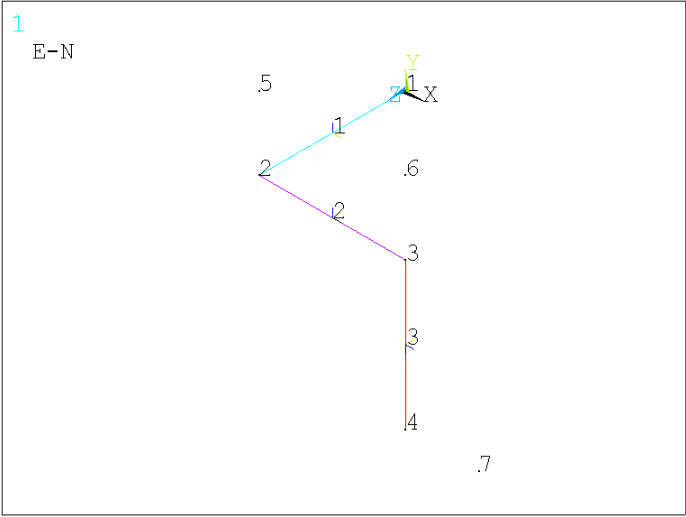
Решение задачи: Приравняв I , I_y , F и E к единице, результаты получим в виде коэффициентов перед формулами. Площадь поперечного сечения A задаём очень большой, дабы вклад в перемещения вносил только изгиб без растяжения/сжатия.

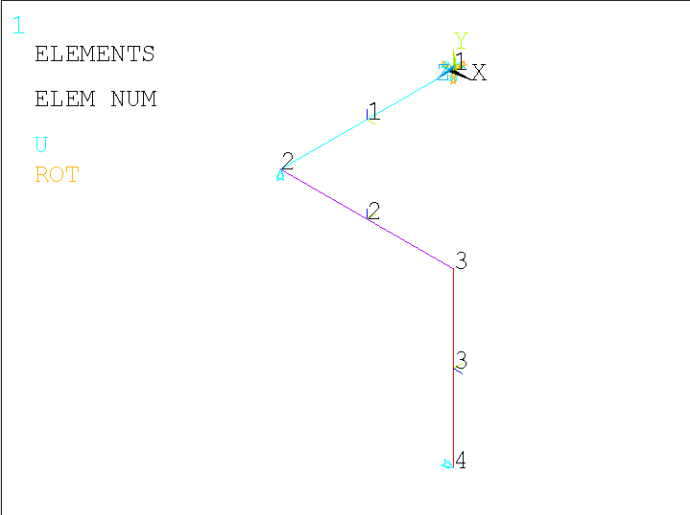
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <pre> U_M > Parameters > Scalar Parameters > l=1 > Accept > b=1/20 > Accept > h=3/2*b > Accept > Iy=1 > Accept > Iz=4/9*Iy > Accept > Ik=392/375*Iy > Accept > F=1 > Accept > E=1 > Accept > nu=0.25 > Accept > A=1e6 > Accept > > Close </pre>	
2	<p><i>Первая и единственная строка в таблице конечных элементов – трёхмерный балочный 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>	

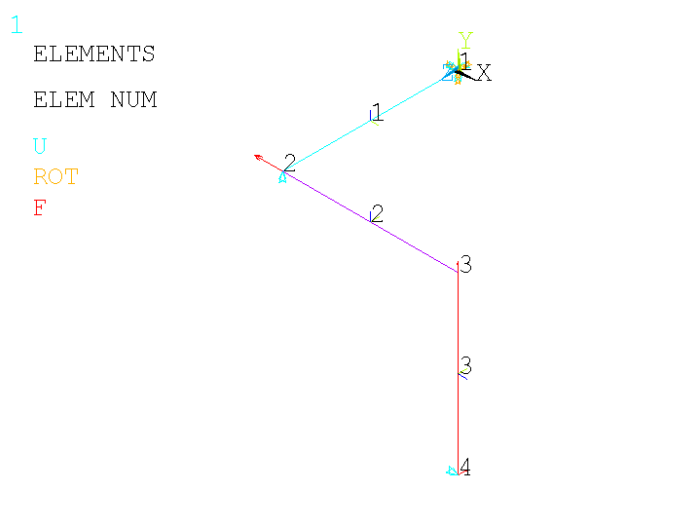
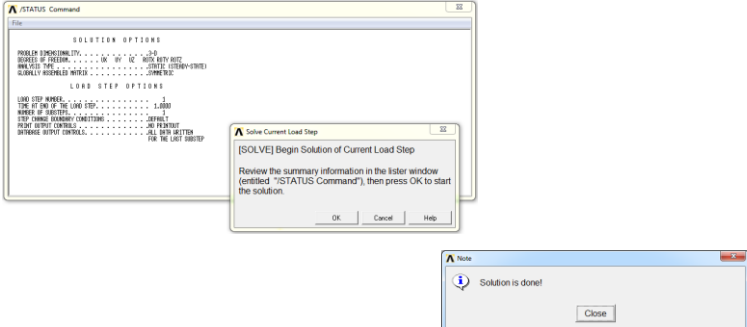
№	Действие	Результат
3	<p><i>Первая и единственная строчка в таблице наборов реальных констант :площадь поперечного сечения = A; моменты инерции = Iz и Iy; высота сечения в обе стороны от осей изгиба = zmax и ymax; и геометрическая жёсткость при кручении = Ik:</i></p> <p>C_P > R,1,A,Iz,Iy,h/2,b/2,Ik > Enter</p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант: 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 > EX пишем "E", PRXY пишем "nu" > OK Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	

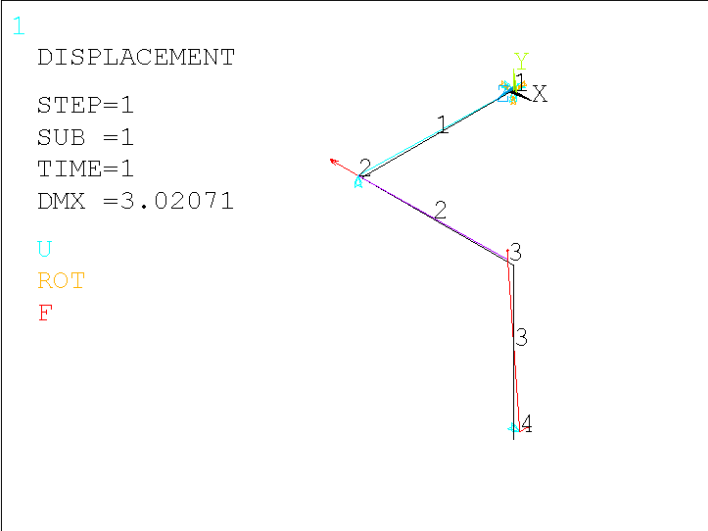
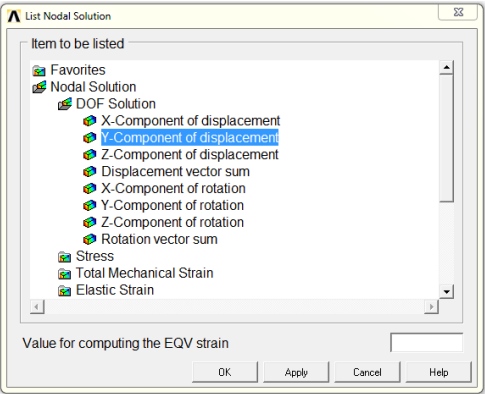
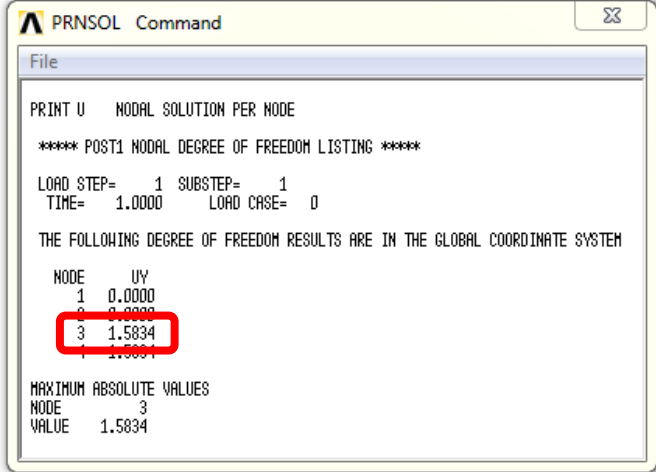
№	Действие	Результат
Конечноэлементная модель		
5	<p><i>Координаты узлов рамы:</i></p> <p>Определяемся с положением узлов рамы относительно глобальной декартовой системы координат. Начало отсчёта поместим, например, в заделке рамы.</p> <p>A, B, C и D – узлы конструктивные;</p> <p>K, R и S – узлы ориентационные, вместе с осью стержня они задают плоскость, в которой будет лежать ось z его поперечного сечения.</p>	 <p><i>Рис. 4.</i></p>

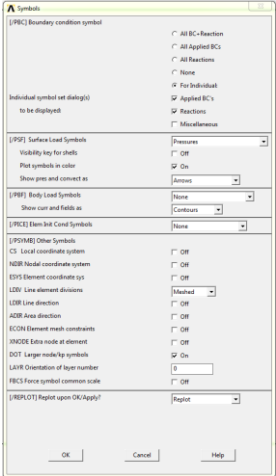
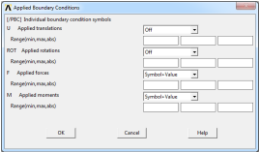
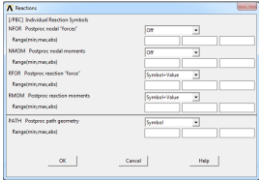
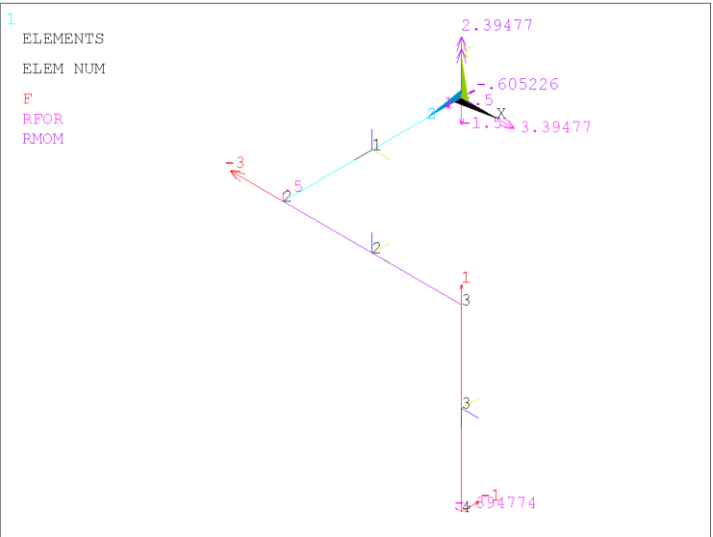
№	Действие	Результат
6	<p>Проставляем узлы модели $A \rightarrow 1, B \rightarrow 2, C \rightarrow 3, D \rightarrow 4, K \rightarrow 5, R \rightarrow 6$ и $S \rightarrow 7$:</p> <p>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Nodes> In Active CS> NPT пишем 1 X, Y, Z пишем 0, 0, 0 > Apply > NPT пишем 2 X, Y, Z пишем 0, 0, 1 > Apply > NPT пишем 3 X, Y, Z пишем 1, 0, 1 > Apply > NPT пишем 4 X, Y, Z пишем 1, -1, 1 > Apply > NPT пишем 5 X, Y, Z пишем 0, 1/2, 1 > Apply > NPT пишем 6 X, Y, Z пишем 1, 1/2, 1 > Apply > NPT пишем 7 X, Y, Z пишем $3 \cdot 1/2, -1, 1$ > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Изометрия:  Автоформат: </p>	

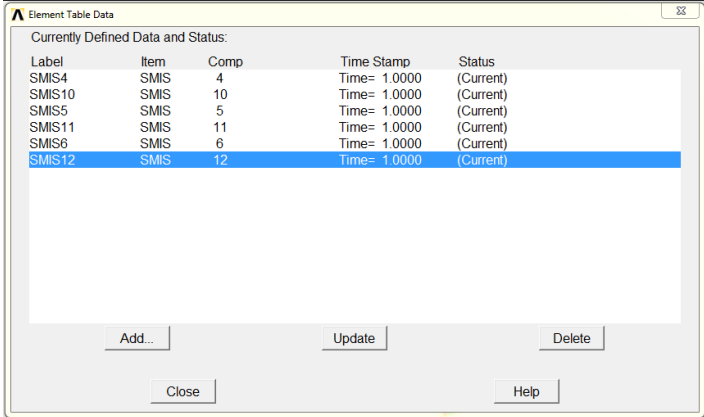
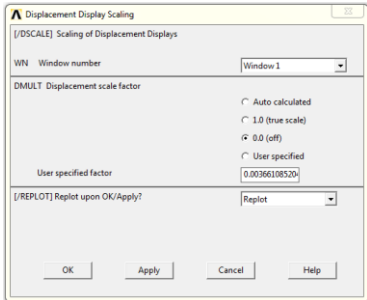
№	Действие	Результат
7	<p><i>Балочные конечные элементы (протягиваем по направлениям осей X, Y и Z):</i></p> <p>Свойства будущих конечных элементов:</p> <pre>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Elements> ElemAttributes> [TYPE]установить "1 BEAM4" [MAT]установить "1" [REAL]установить "1" > ОК</pre>  <p>Элементы ①, ② и ③:</p> <pre>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > > Auto Numbered > Thru Nodes > Левой кнопкой мыши последовательно кликаем на узлы 1, 2, 5 > Apply > 2, 3, 6 > Apply > 3, 4, 7 > ОК</pre> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
8	<p><i>Проверяем ориентацию поперечного сечения на стержнях рамы:</i></p> <p>Прорисовка осей систем координат балочных конечных элементов:</p> <pre>U_M > PlotCtrls > Symbols > ESYS ставим галочку On > ОК</pre> <p>Оси z (синяя чёрточка) и y (зелёная чёрточка) расположены так, как нужно, в соответствии с <i>рис.3</i>.</p> 	

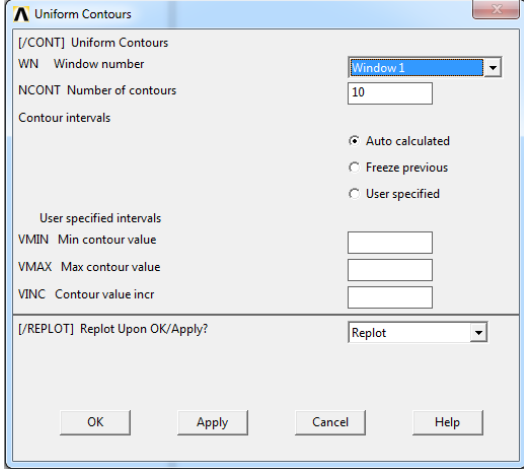
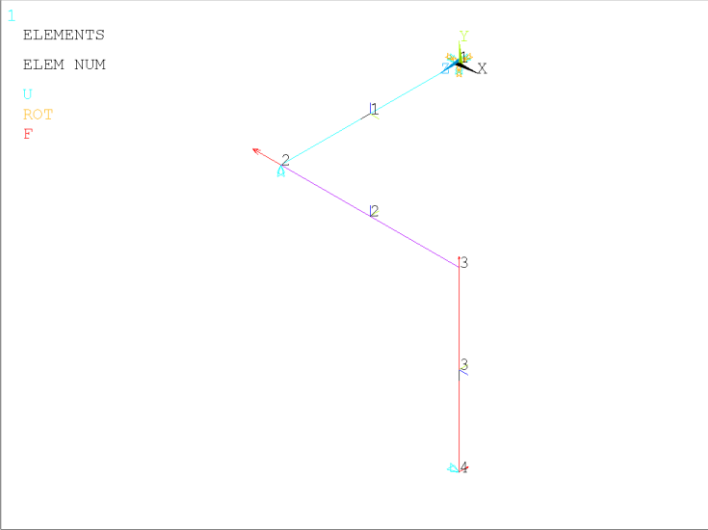
№	Действие	Результат
9	<p>Закрепления:</p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > > Structural > Displacement > On Nodes ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на узел 1 > OK ></p> <p>Lab2 установить "All DOF" > Apply ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на узел 2 > OK ></p> <p>Lab2 установить "UY" > Apply ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на узел 4 > OK ></p> <p>Lab2 установить "UX" > OK ></p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

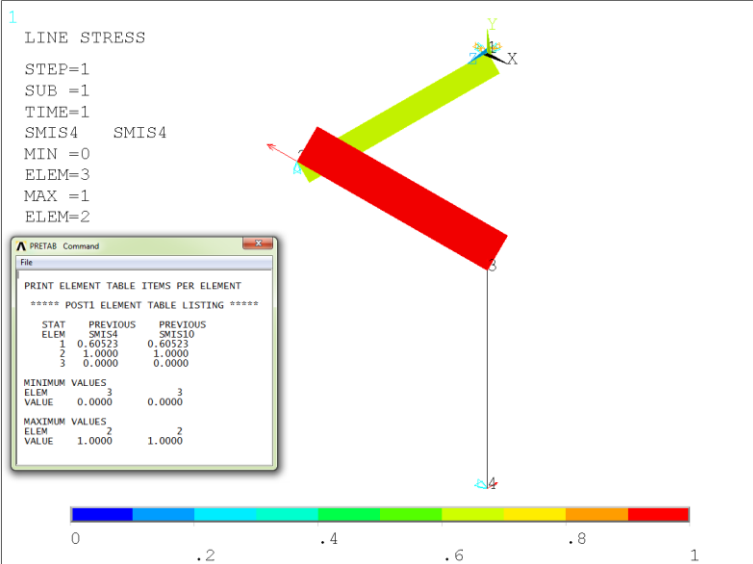
№	Действие	Результат
10	<p><i>Нагрузка (внешние сосредоточенные силы):</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > > Structural > Force/Moment > On Nodes > Левой кнопкой мыши кликнуть на узел 2 > OK > Lab установить "FX" VALUE установить "-3*F" > Apply > Левой кнопкой мыши кликнуть на узел 3 > OK > Lab установить "FY" VALUE установить "F" > Apply > Левой кнопкой мыши кликнуть на узел 4 > OK > Lab установить "FZ" VALUE установить "-F" > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	<p>Результат</p> 
Расчёт		
11	<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>	

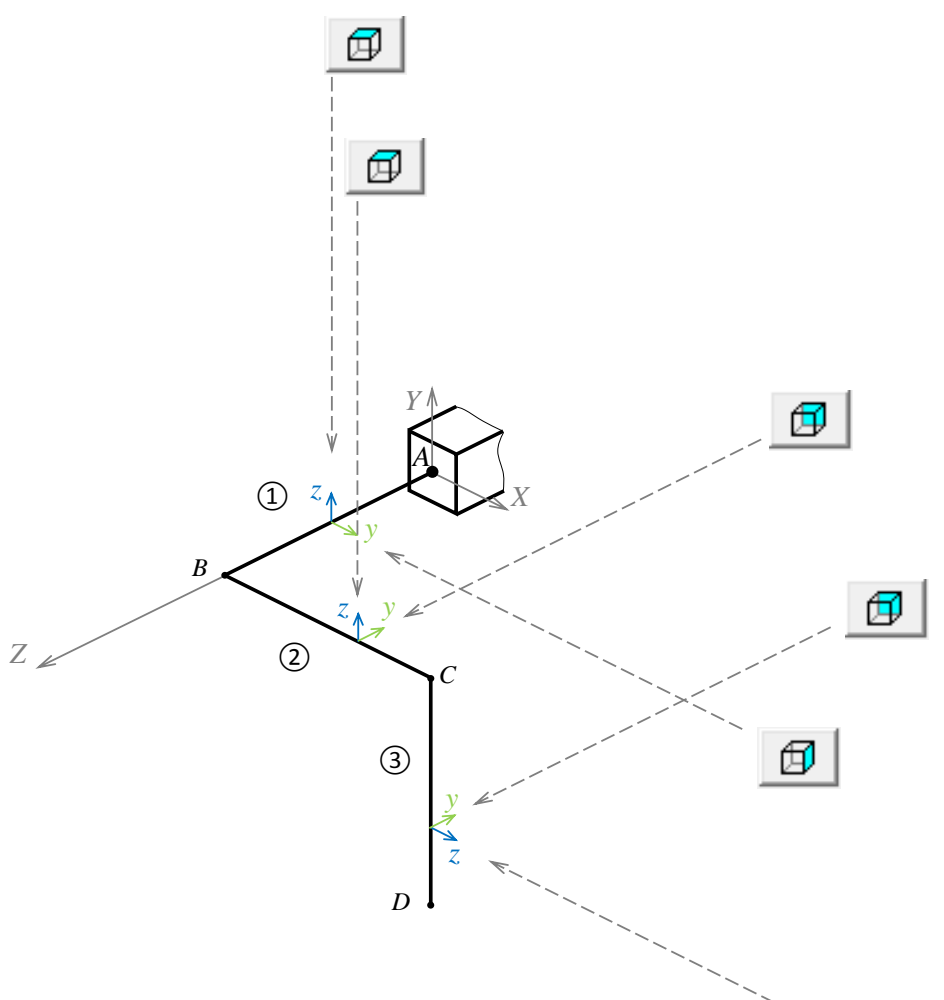
№	Действие	Результат
Просмотр результатов:		
12	<p><i>Форма упругой оси нагруженной рамы:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > OK</p> <p>Некоторые символы пропадают. Восстановим их: U_M > PlotCtrls > Symbols > Boundary condition устанавливаем "All Applied BCs" > OK</p> <p>Форма стержня до нагружения (недеформированная) изображена сеткой чёрным цветом, форма после нагружения (деформированная) изображена цветными осями балочных конечных элементов.</p> <p>Оси локальных систем координат на элементах, как видите, не прорисовываются.</p>	
13	<p><i>Вертикальное перемещение узла C (узел №3 модели):</i></p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of displacement > OK</p>  $v_C = UY_3 = 1,583 \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_y} .$ <p>Вертикальное перемещение третьего узла UY_3 положительное, то есть, вверх. Этот результат полностью совпадает с результатом аналитического расчёта (рис..2.).</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 0.0000 3 1.5834 4 1.0000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 3 VALUE 1.5834 </pre>



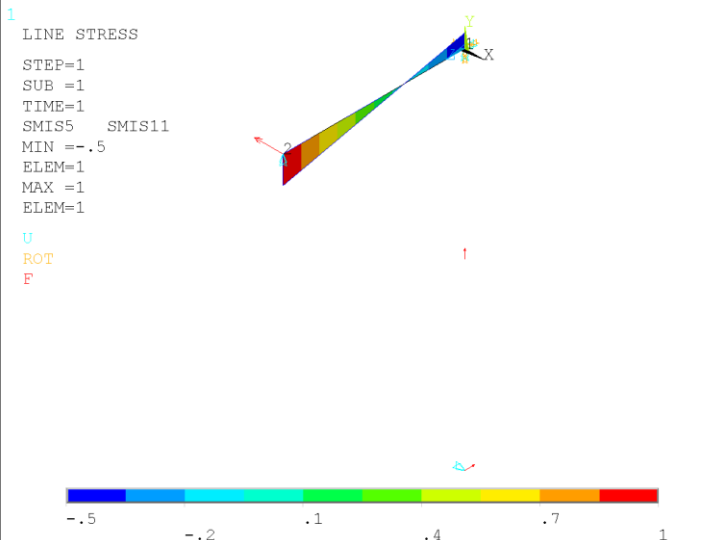


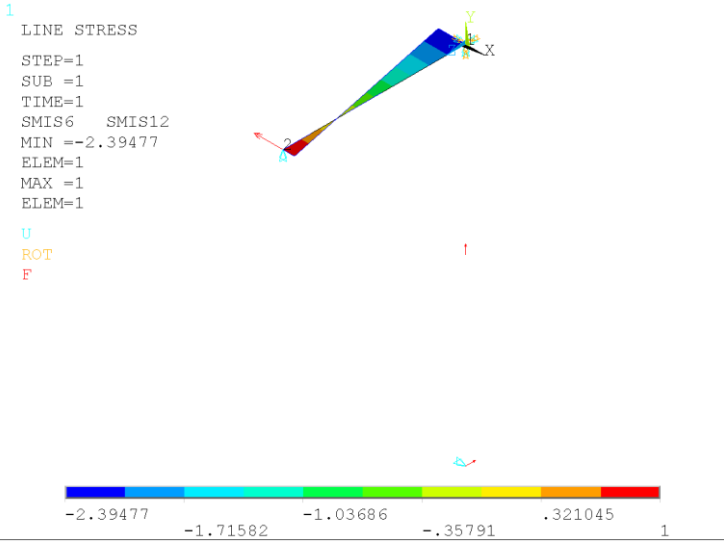
№	Действие	Результат
14	<p>Силовая схема:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous"</p> <p>Surface Load Symbols устанавливаем Pressures</p> <p>Show pres and connect as устанавливаем Arrows</p> <p>> OK ></p> <p>В окне "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>В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Красным цветом начерчены внешние силы; - Малиновым цветом начерчены реактивные силы - Фиолетовым цветом начерчены реактивные моменты. <p>Реакции в узлах №2 и №4 по своим абсолютным значениям и по направлениям совпадают с результатами аналитического расчёта, показанными на рис. 1. Минус означает направление вектора против глобальной декартовой оси.</p>	    <p>1 ELEMENTS ELEM NUM F RFOR RMOM</p> <p>2.39477 -0.605226 1.5 3.39477 1 2 3 4</p>



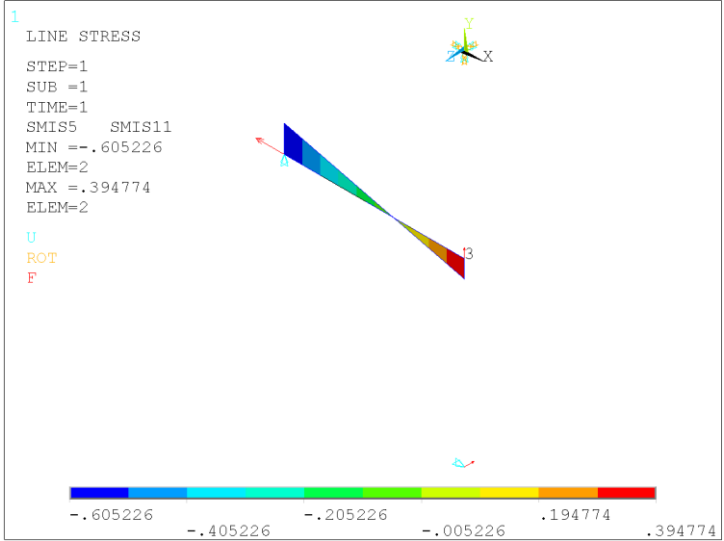


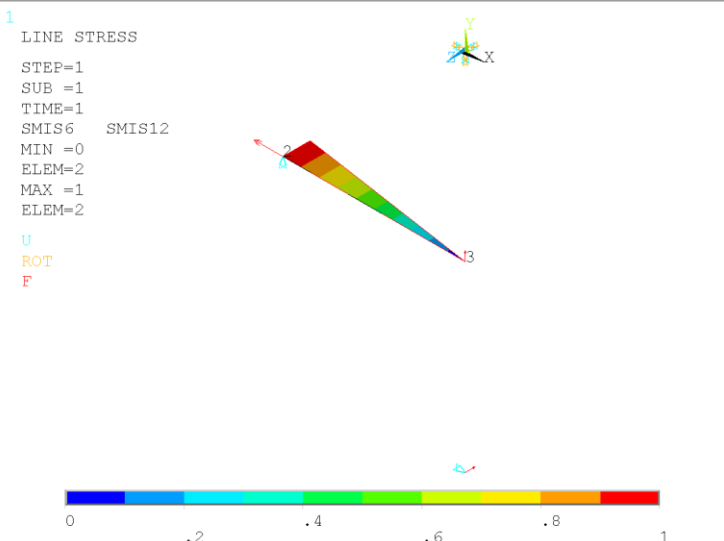
№	Действие	Результат																																			
15	<p><i>Расчёт эпюр внутренних моментов:</i></p> <p>Внутренний крутящий момент $M_{кр}$:</p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "4" > Apply > "By sequence num", "SMISC,", "10" > OK</p> <p>Внутренний изгибающий момент M_y:</p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "5" > Apply > "By sequence num", "SMISC,", "11" > Apply ></p> <p>Внутренний изгибающий момент M_z:</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>	 <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>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> <tr> <td>SMIS5</td> <td>SMIS</td> <td>5</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS11</td> <td>SMIS</td> <td>11</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS6</td> <td>SMIS</td> <td>6</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr style="background-color: #0070C0; color: white;"> <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	SMIS4	SMIS	4	Time= 1.0000	(Current)	SMIS10	SMIS	10	Time= 1.0000	(Current)	SMIS5	SMIS	5	Time= 1.0000	(Current)	SMIS11	SMIS	11	Time= 1.0000	(Current)	SMIS6	SMIS	6	Time= 1.0000	(Current)	SMIS12	SMIS	12	Time= 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status																																	
SMIS4	SMIS	4	Time= 1.0000	(Current)																																	
SMIS10	SMIS	10	Time= 1.0000	(Current)																																	
SMIS5	SMIS	5	Time= 1.0000	(Current)																																	
SMIS11	SMIS	11	Time= 1.0000	(Current)																																	
SMIS6	SMIS	6	Time= 1.0000	(Current)																																	
SMIS12	SMIS	12	Time= 1.0000	(Current)																																	
16	<p>Эпюры будем смотреть на недеформированной форме:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Displacement Scaling > DMULT устанавливаем "0.0 (off)" > OK</p>																																				



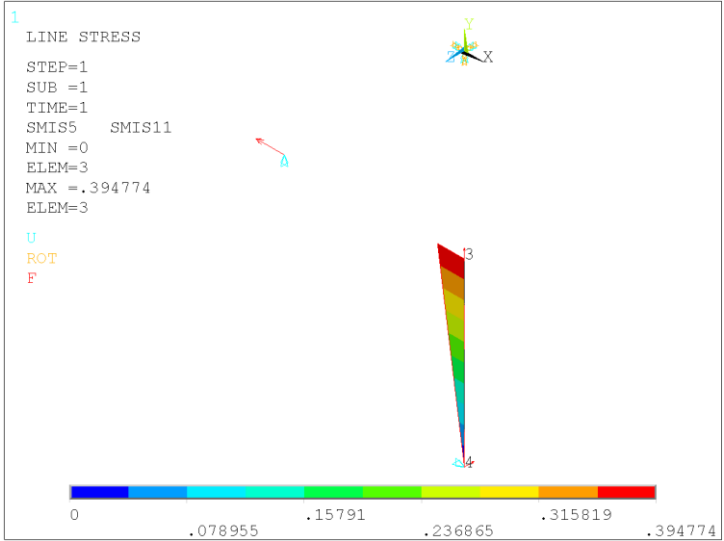


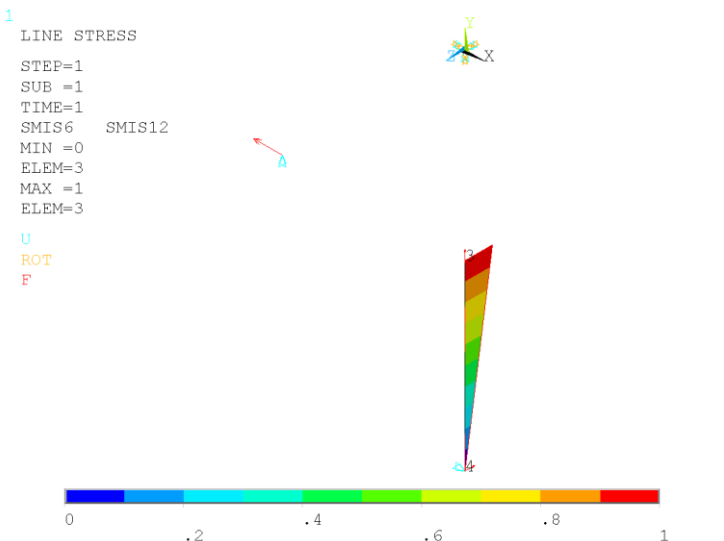
№	Действие	Результат
17	<p><i>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</i></p> <pre>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10 > ОК</pre>	
18	<p><i>Реакции больше не прорисовывать, только закрепления и внешние силы :</i></p> <pre>U_M > PlotCtrls > Symbols > Boundary condition устанавливаем "All Applied BCs" > ОК</pre>	

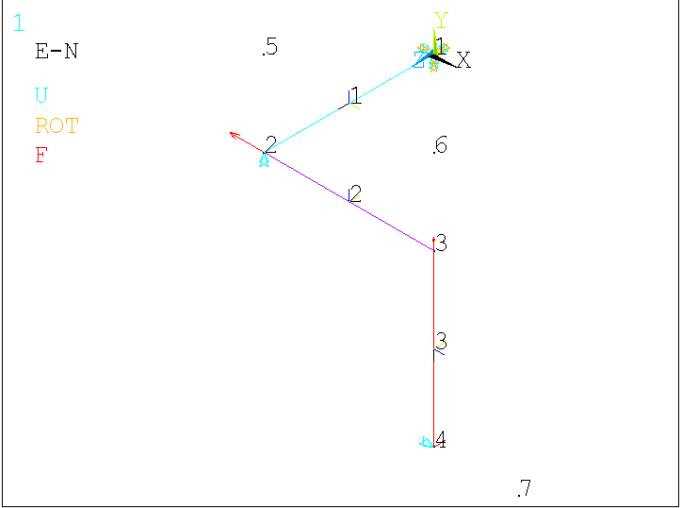
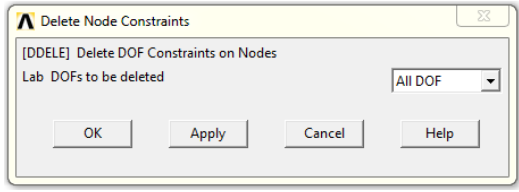
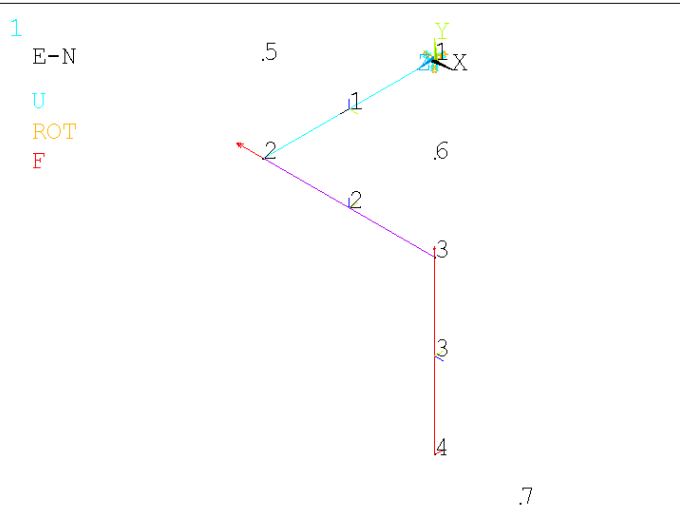
№	Действие	Результат
Эпюру внутреннего крутящего момента на всей раме:		
19	<p>Эпюра внутреннего крутящего момента <i>Мкр</i> сразу на всей раме:</p> <p>Прорисовка эпюры <i>Мкр</i>: M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > > Line Elem Res > LabI установить "SMIS4" LabJ установить "SMIS10" Fact пишем 1 > ОК</p> <p>Распечатка эпюры <i>Мкр</i>: M_M > General Postproc > List Results > > Elem Table Data > Line Elem Res > В списке отмечаем "SMIS4" и "SMIS10" > ОК</p> <p>Знаки и модули крутящих моментов на всех трёх стержнях совпадают с результатом аналитического расчёта (рис. 1).</p>	 <pre data-bbox="1366 367 1881 590"> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS4 SMIS4 MIN =0 ELEM=3 MAX =1 ELEM=2 </pre> <pre data-bbox="1366 598 1646 837"> PRETAB Command File PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT ***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING ***** STAT PREVIOUS PREVIOUS ELEM SMIS4 SMIS10 1 0.60523 0.60523 2 1.0000 1.0000 3 0.0000 0.0000 MINIMUM VALUES ELEM VALUE 3 3 VALUE 0.0000 0.0000 MAXIMUM VALUES ELEM VALUE 2 2 VALUE 1.0000 1.0000 </pre>

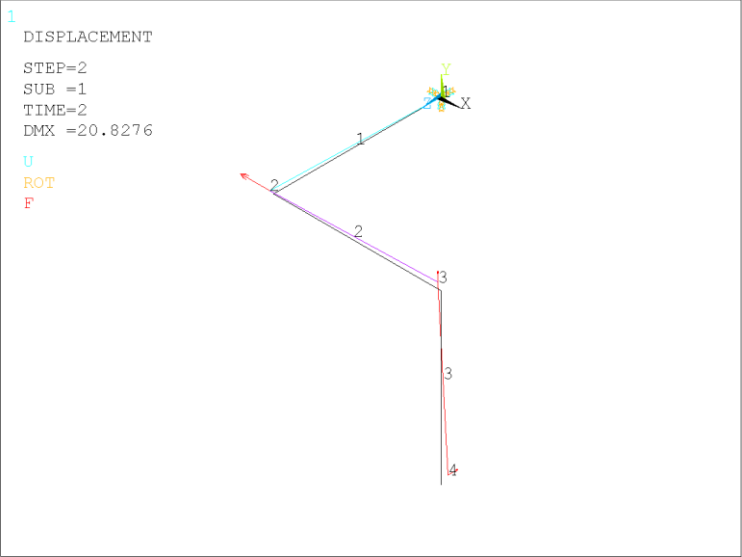
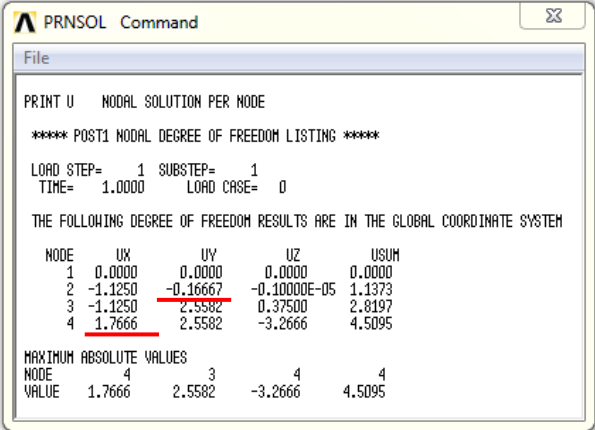
№	Действие	Результат
Эпюры внутренних изгибающих моментов рисуем поэлементно:		
20	<p>К сожалению, эпюры изгибающих моментов ANSYS показывает не в плоскости действия момента, а в плоскости, перпендикулярной взгляду наблюдателя.</p> <p>Для того, чтобы корректно просматривать эпюру внутреннего изгибающего элемента, нужно на сам элемент смотреть с острия оси изгиба. Определимся с ракурсами просмотра эпюр:</p>	 <p style="text-align: center;">Рис. 5.</p>

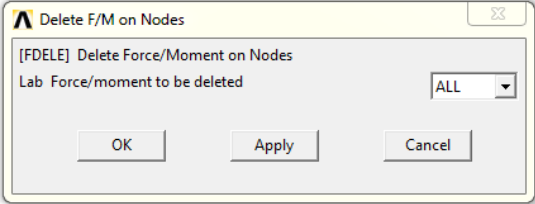
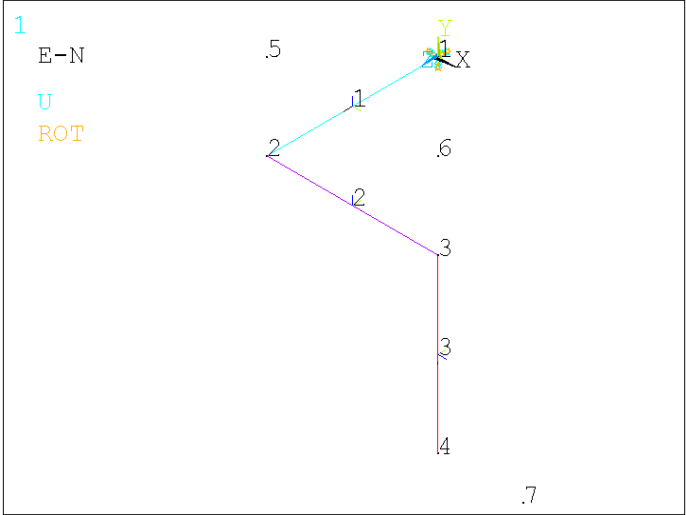
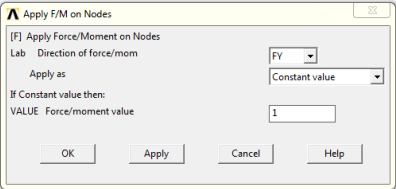
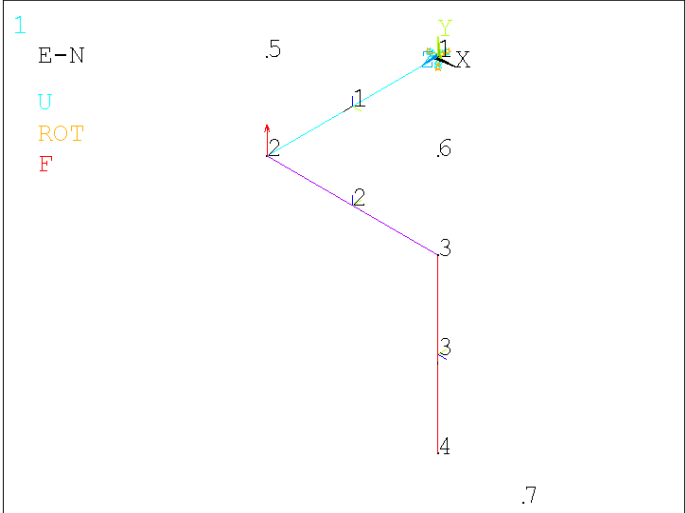
№	Действие	Результат
21	<p>Эпюра внутреннего изгибающего момента M_y на элементе ①:</p> <p>Выделяем балочный конечный элемент №1:</p> <p>C_P > ESEL,S,,,1 > Enter</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Вид справа: </p> <p>Прорисовка эпюры M_y:</p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > > Line Elem Res ></p> <p>LabI установить "SMIS5"</p> <p>LabJ установить "SMIS11"</p> <p>> ОК</p> <p>Изометрия: </p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS5 SMIS11 MIN =-.5 ELEM=1 MAX =1 ELEM=1 U ROT F </pre>
22	<p>Эпюра внутреннего изгибающего момента M_z на том же элементе ①:</p> <p>Вид сверху: </p> <p>Прорисовка эпюры M_z:</p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > > Line Elem Res ></p> <p>LabI установить "SMIS6"</p> <p>LabJ установить "SMIS12"</p> <p>> ОК</p> <p>Изометрия: </p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS6 SMIS12 MIN =-2.39477 ELEM=1 MAX =1 ELEM=1 U ROT F </pre>

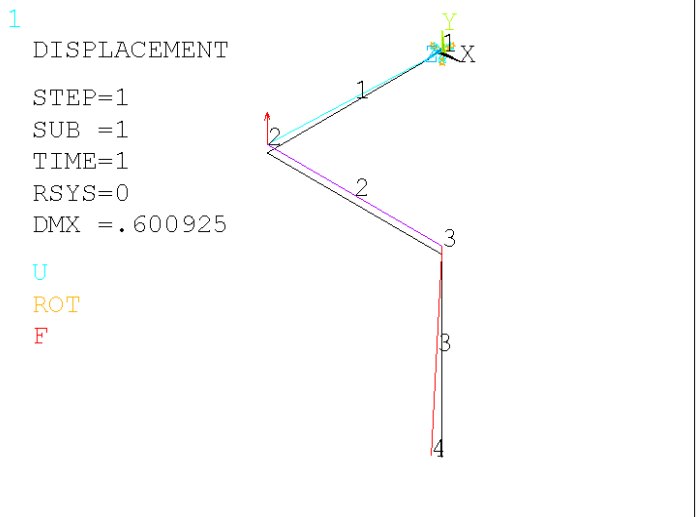
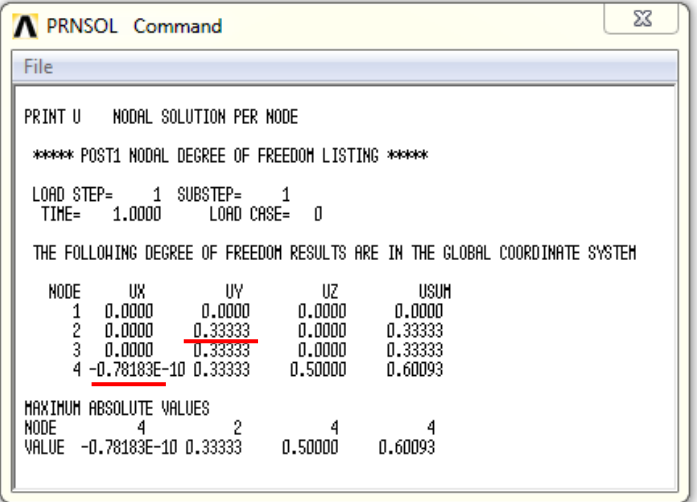
№	Действие	Результат
23	<p>Эпюра внутреннего изгибающего момента M_y на элементе ②:</p> <p>Выделяем балочный конечный элемент №2:</p> <p>C_P > ESEL,S,,,2 > Enter</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Вид сзади: </p> <p>Прорисовка эпюры M_y:</p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > > Line Elem Res > LabI установить "SMIS5" LabJ установить "SMIS11" > ОК</p> <p>Изометрия: </p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS5 SMIS11 MIN =-.605226 ELEM=2 MAX =.394774 ELEM=2 U ROT F </pre>
24	<p>Эпюра внутреннего изгибающего момента M_z на том же элементе ②:</p> <p>Вид сверху: </p> <p>Прорисовка эпюры M_z:</p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > > Line Elem Res > LabI установить "SMIS6" LabJ установить "SMIS12" > ОК</p> <p>Изометрия: </p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS6 SMIS12 MIN =0 ELEM=2 MAX =1 ELEM=2 U ROT F </pre>

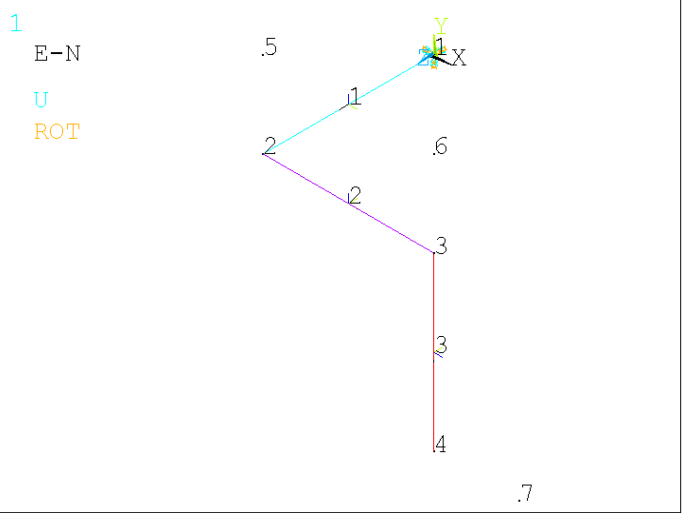
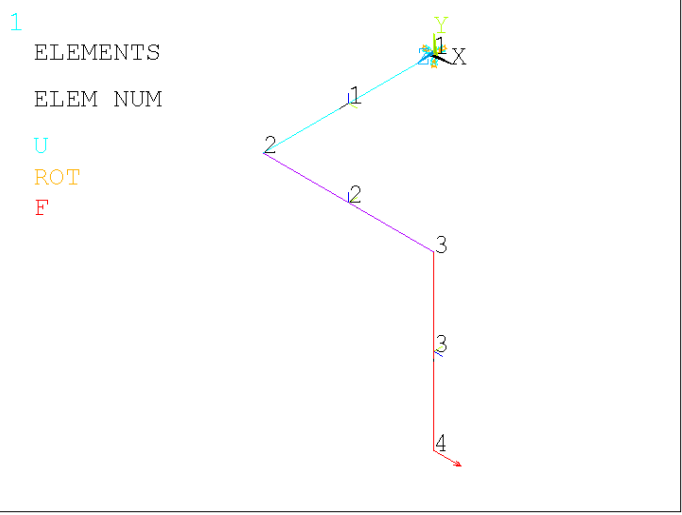
№	Действие	Результат
25	<p>Эпюра внутреннего изгибающего момента M_y на элементе ③:</p> <p>Выделяем балочный конечный элемент №3:</p> <p>C_P > ESEL,S,,,3 > Enter</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Вид сзади: </p> <p>Прорисовка эпюры M_y:</p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > > Line Elem Res ></p> <p>LabI установить "SMIS5"</p> <p>LabJ установить "SMIS11"</p> <p>> ОК</p> <p>Изометрия: </p>	
26	<p>Эпюра внутреннего изгибающего момента M_z на элементе ③:</p> <p>Вид справа: </p> <p>Прорисовка эпюры M_z:</p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > > Line Elem Res ></p> <p>LabI установить "SMIS6"</p> <p>LabJ установить "SMIS12"</p> <p>> ОК</p> <p>Изометрия: </p>	

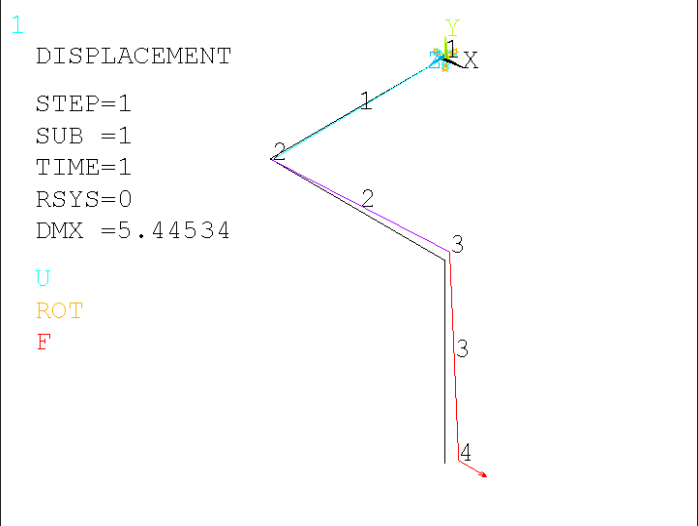
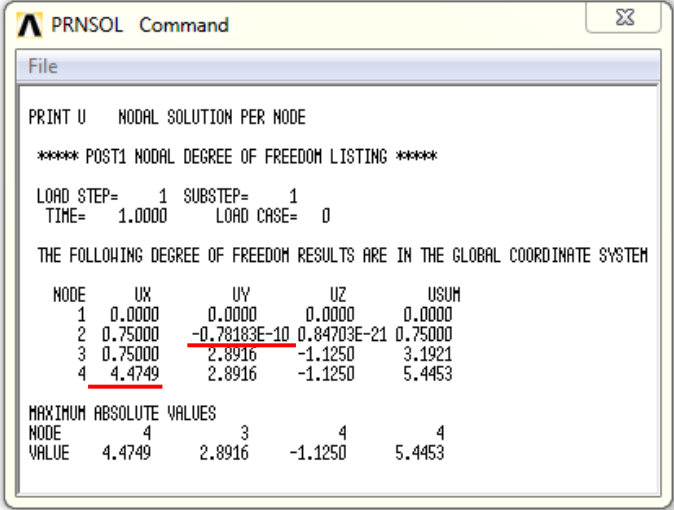
№	Действие	Результат
Схема F – основная система с внешней нагрузкой (рис. 3.):		
27	<p><i>Выделить всё:</i></p> <p>U_M > Select > Everything > U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
Схема F – основная система с внешней нагрузкой (рис. 3.):		
28	<p><i>Удаляем избыточные связи в узлах рамы C и D (узлы конечноэлементной модели №2 и №4), внешнюю нагрузку оставляем:</i></p> <p>Удаление закреплений в узлах 2 и 4:</p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Delete > > Structural > Displacement > On Nodes > Левой кнопкой мыши отмечаем узел 2 и узел 4 > OK > Lab установить "All DOF" > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> 	

№	Действие	Результат																																			
29	<p><i>Расчёт:</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS</p>																																				
30	<p><i>Форма упругой оси рамы:</i></p> <p>Масштаб перемещений выбирается автоматически:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Displacement Scaling > DMULT устанавливаем "Auto calculated"</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем деформированную (цветную) и недеформированную (чёрную) форму оси рамы:</p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > OK</p> <p>Некоторые символы пропадают. Восстановим их:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > Boundary condition устанавливаем "All Applied BCs"</p> <p>> OK</p>																																				
31	<p><i>Перемещения узлов – податливости δ_{1F} и δ_{2F}:</i></p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement vector sum > OK</p> <p>Видим:</p> $\delta_{1F} = UY_2 = -0,1667 \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_y} ; \quad \delta_{2F} = UX_4 = 1,767 \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_y} ;$ <p>Узел 2 перемещается против оси Y, узел 4 перемещается по оси X, что полностью совпадает с результатами аналитического расчёта.</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>NODE</th> <th>UX</th> <th>UY</th> <th>UZ</th> <th>USUM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>-1.1250</td> <td>-0.16667</td> <td>-0.10000E-05</td> <td>1.1373</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>-1.1250</td> <td>2.5582</td> <td>0.37500</td> <td>2.8197</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1.7666</td> <td>2.5582</td> <td>-3.2666</td> <td>4.5095</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>NODE</th> <th>4</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>VALUE</td> <td>1.7666</td> <td>2.5582</td> <td>-3.2666</td> <td>4.5095</td> </tr> </tbody> </table>	NODE	UX	UY	UZ	USUM	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2	-1.1250	-0.16667	-0.10000E-05	1.1373	3	-1.1250	2.5582	0.37500	2.8197	4	1.7666	2.5582	-3.2666	4.5095	NODE	4	3	4	4	VALUE	1.7666	2.5582	-3.2666	4.5095
NODE	UX	UY	UZ	USUM																																	
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000																																	
2	-1.1250	-0.16667	-0.10000E-05	1.1373																																	
3	-1.1250	2.5582	0.37500	2.8197																																	
4	1.7666	2.5582	-3.2666	4.5095																																	
NODE	4	3	4	4																																	
VALUE	1.7666	2.5582	-3.2666	4.5095																																	

№	Действие	Результат
<p>Схема 1 – основная система с единичной силой по направлению реакции X_1 (рис. 3.):</p>		
32	<p><i>Удаляем нагрузку, остаётся основная система:</i></p> <p>Удаление закреплений в узлах 2 и 4:</p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Delete > > Structural > Force/Moment > On Nodes > Pick All Lab установить "All" > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> 	
33	<p><i>Нагрузка (единичная сила по направлению X_1):</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > > Structural > Force/Moment > On Nodes > Левой кнопкой мыши кликнуть на узел 2 > OK > Lab установить "FY" VALUE установить "1" > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> 	

№	Действие	Результат																																			
34	<p><i>Расчёт:</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS</p>																																				
35	<p><i>Форма упругой оси рамы:</i></p> <p>Прорисовываем деформированную (цветную) и недеформированную (чёрную) форму оси рамы:</p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > OK</p> <p>Некоторые символы пропадают. Восстановим их:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > Boundary condition устанавливаем "All Applied BCs" > OK</p>	 <p>1 DISPLACEMENT STEP=1 SUB =1 TIME=1 RSYS=0 DMX =.600925</p> <p>U ROT F</p>																																			
36	<p><i>Перемещения узлов – податливости δ_{11} и δ_{12}:</i></p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement vector sum > OK</p> <p>Видим – узел 2 переместился по направлению оси Y, то есть, по направлению реакции X_1, значит податливость δ_{11} положительна; перемещение узла 4 по направлению реакции X_2 (вдоль оси X) равно нулю:</p> $\delta_{11} = UY_2 = 0,3333 \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_y} ; \quad \delta_{21} = UX_4 \approx 0 ;$ <p>что полностью совпадает с результатами аналитического расчёта.</p>	 <p>PRNSOL Command</p> <p>File</p> <p>PRINT U NODAL SOLUTION PER NODE</p> <p>**** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ****</p> <p>LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0</p> <p>THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>NODE</th> <th>UX</th> <th>UY</th> <th>UZ</th> <th>USUM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.0000</td> <td>0.33333</td> <td>0.0000</td> <td>0.33333</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.0000</td> <td>0.33333</td> <td>0.0000</td> <td>0.33333</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>-0.78183E-10</td> <td>0.33333</td> <td>0.50000</td> <td>0.60093</td> </tr> </tbody> </table> <p>MAXIMUM ABSOLUTE VALUES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>NODE</th> <th>4</th> <th>2</th> <th>4</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>VALUE</td> <td>-0.78183E-10</td> <td>0.33333</td> <td>0.50000</td> <td>0.60093</td> </tr> </tbody> </table>	NODE	UX	UY	UZ	USUM	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2	0.0000	0.33333	0.0000	0.33333	3	0.0000	0.33333	0.0000	0.33333	4	-0.78183E-10	0.33333	0.50000	0.60093	NODE	4	2	4	4	VALUE	-0.78183E-10	0.33333	0.50000	0.60093
NODE	UX	UY	UZ	USUM																																	
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000																																	
2	0.0000	0.33333	0.0000	0.33333																																	
3	0.0000	0.33333	0.0000	0.33333																																	
4	-0.78183E-10	0.33333	0.50000	0.60093																																	
NODE	4	2	4	4																																	
VALUE	-0.78183E-10	0.33333	0.50000	0.60093																																	

№	Действие	Результат
Схема 2 – основная система с единичной силой по направлению реакции X_2 (рис. 3.):		
37	<p><i>Удаляем нагрузку, остаётся основная система:</i></p> <p>Удаление закреплений в узлах 2 и 4: M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Delete > > Structural > Force/Moment > On Nodes > Pick All Lab установить "All" > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
38	<p><i>Нагрузка (единичная сила по направлению X_2):</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > > Structural > Force/Moment > On Nodes > Левой кнопкой мыши кликнуть на узел 4 > ОК > Lab установить "FX" VALUE установить "1" > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

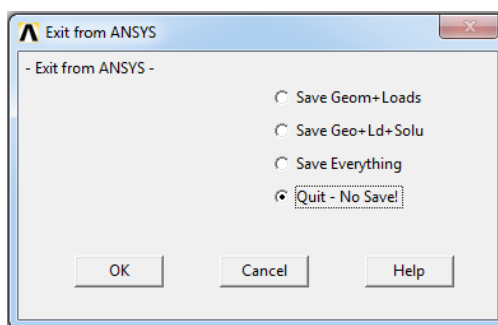
№	Действие	Результат
39	<p>Расчёт:</p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS</p>	
40	<p><i>Форма упругой оси рамы:</i></p> <p>Прорисовываем деформированную (цветную) и недеформированную (чёрную) форму оси рамы:</p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > OK</p> <p>Некоторые символы пропадают. Восстановим их:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > Boundary condition устанавливаем "All Applied BCs" > OK</p>	 <p>1 DISPLACEMENT STEP=1 SUB =1 TIME=1 RSYS=0 DMX =5.44534 U ROT F</p>
41	<p><i>Перемещения узлов – податливости δ_{11} и δ_{12}:</i></p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement vector sum > OK</p> <p>Видим:</p> $\delta_{21} = UY_2 \approx 0 \quad ; \quad \delta_{22} = UX_4 = 4,475 \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_y} \quad ;$ <p>что полностью совпадает с результатами аналитического расчёта.</p> <p>Горизонтальное перемещение узла №4 положительное. Это значит, что перемещается узел по направлению глобальной декартовой оси X. То есть, по направлению X_2 (рис.3.). Поэтому коэффициент δ_{22} будет положительным.</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 1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 2 0.75000 -0.78183E-10 0.84703E-21 0.75000 3 0.75000 2.8916 -1.1250 3.1921 4 4.4749 2.8916 -1.1250 5.4453 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 4 3 4 4 VALUE 4.4749 2.8916 -1.1250 5.4453 </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.