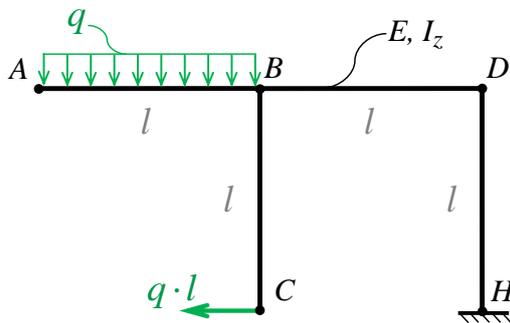


## K-05 (ANSYS)

Формулировка задачи:



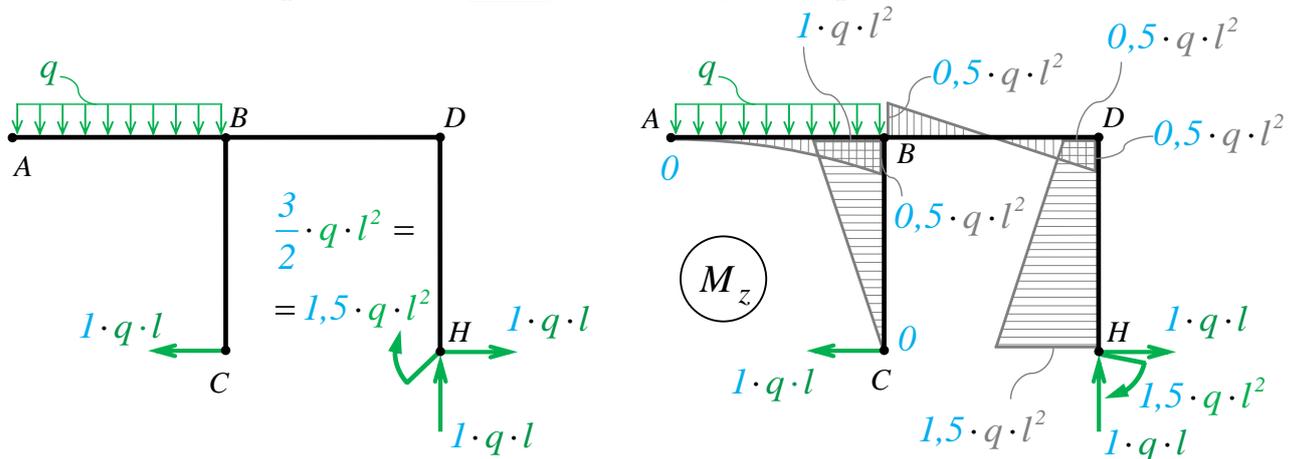
Дано:  $E, I_z, q, l$ .

Плоская рама, сложная нагрузка  
 $E$  – модуль упругости материала;  
 $I_z$  – изгибный момент инерции.

Найти: 1) Перемещения точки  $B$ ;

2) Эпюру внутреннего изгибающего момента  $M_z$ .

Аналитический расчёт (см. [K-05](#)) даёт следующее решение:



а) Силовая схема;

б) Эпюра внутреннего изгибающего момента.

в) Перемещения точки  $B$ :

$$\delta_{\text{верт}} = \frac{13}{12} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} = 1,083 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} \quad (\text{вниз});$$

$$\delta_{\text{гор}} = \frac{7}{12} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} = 0,5833 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} \quad (\text{в лево});$$

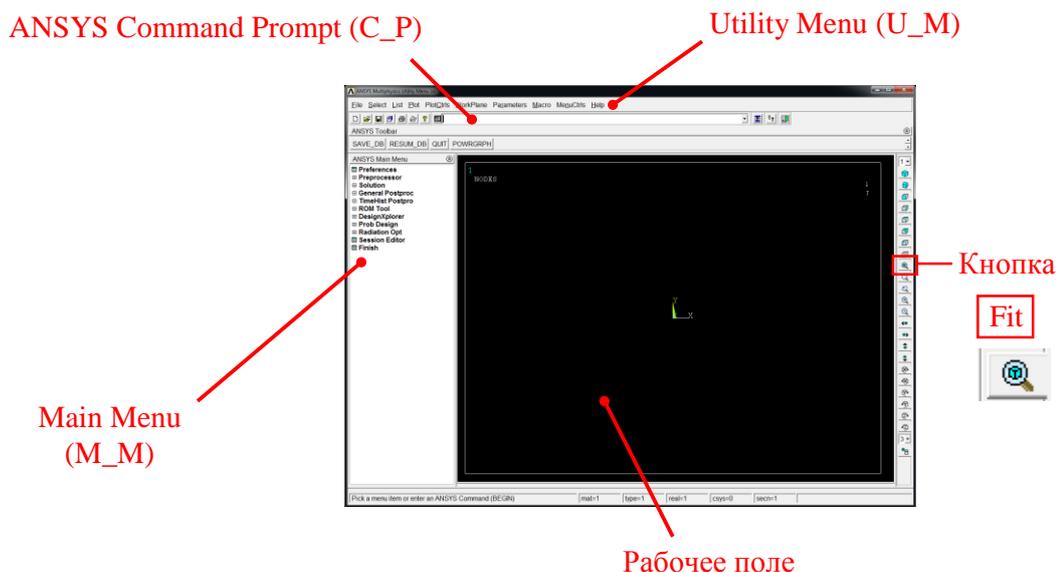
$$\theta = 1 \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I_z} \quad (\text{против часовой стрелки}).$$

Рис.1.

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

### Предварительные настройки:

Для решения задачи используется ANSYS Multiphysics 14.0:



С меню M\_M и U\_M работают мышью, выбирая нужные опции.

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

Меняем чёрный цвет фона на белый следующими действиями:

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

В меню оставить только пункты, относящиеся к прочностным расчётам:

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

При построениях полезно видеть номера точек и линий твердотельной модели:

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

```
Отметить KP, LINE ;
```

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

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

Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

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

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

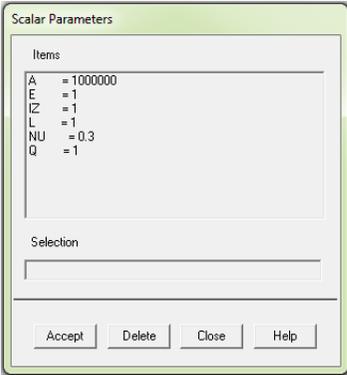
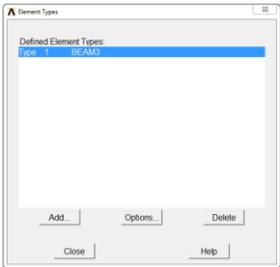
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```

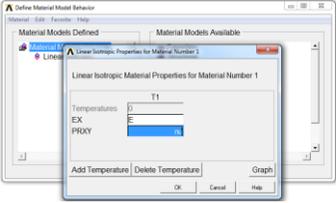
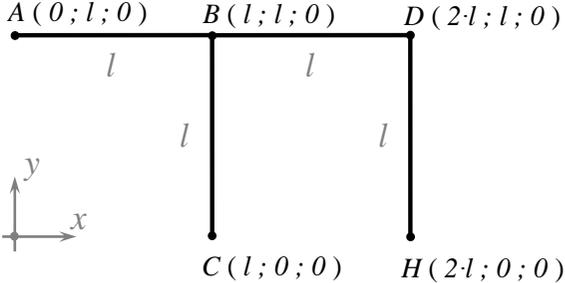
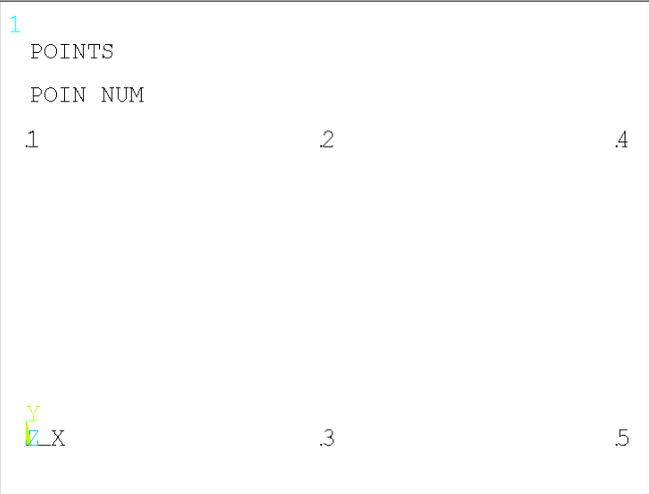
```
Установить «Размер» на «22»> OK
```

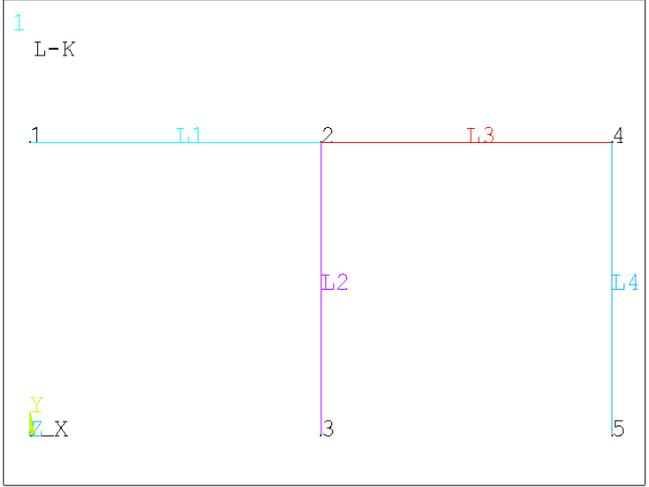
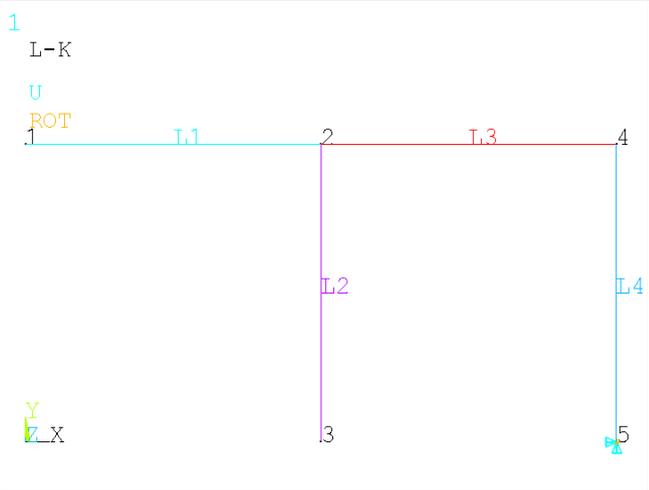
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

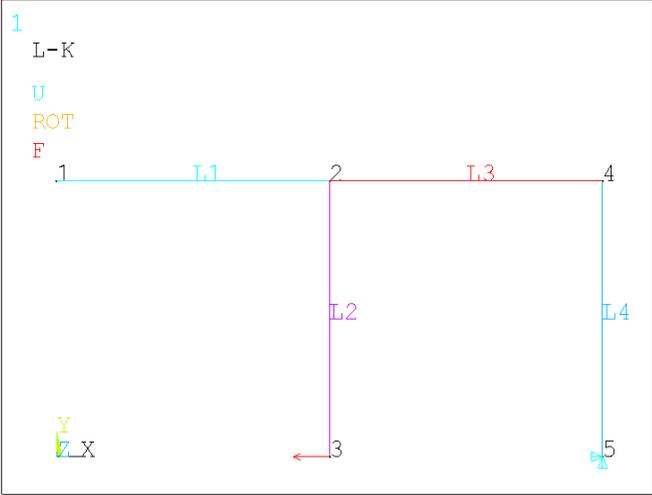
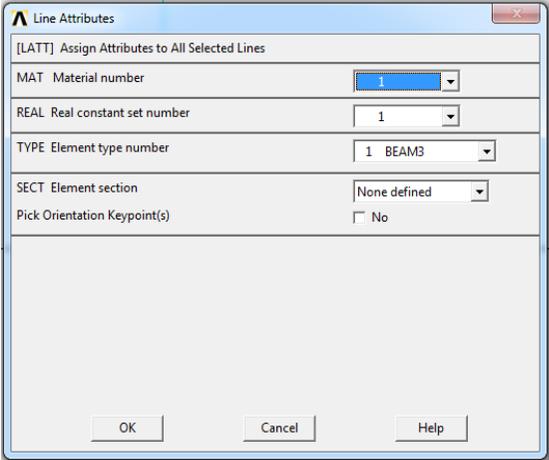
Решение задачи:

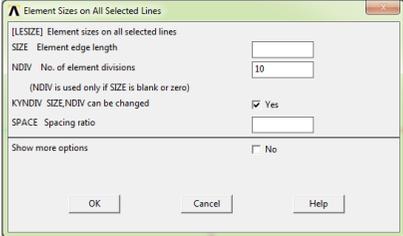
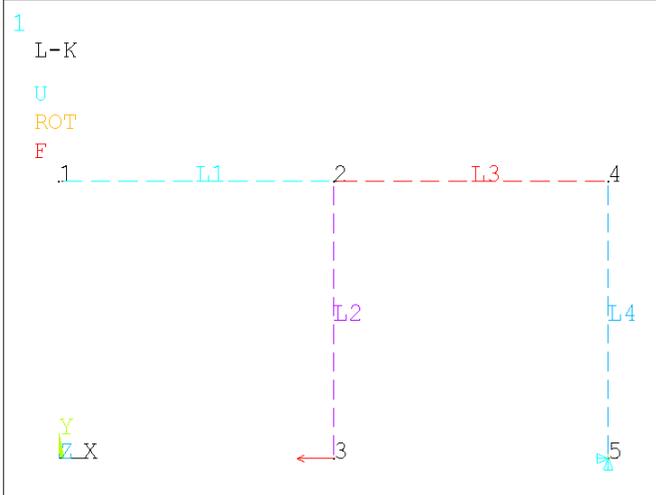
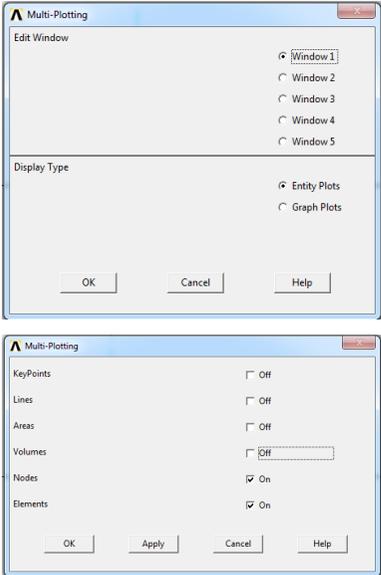
Приравняв  $E$ ,  $I_z$ ,  $q$  и  $l$  к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

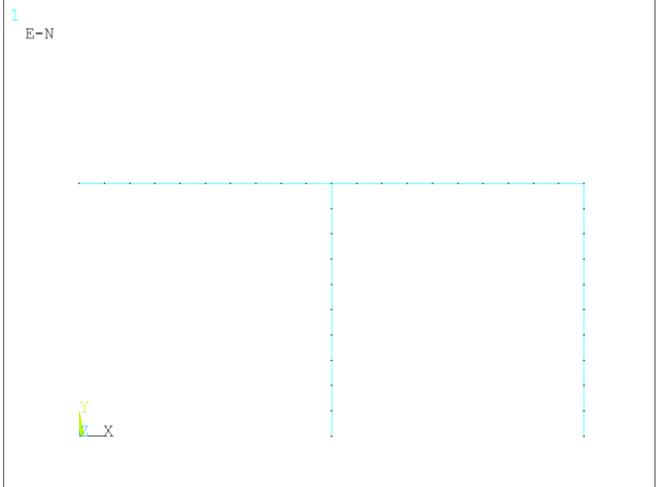
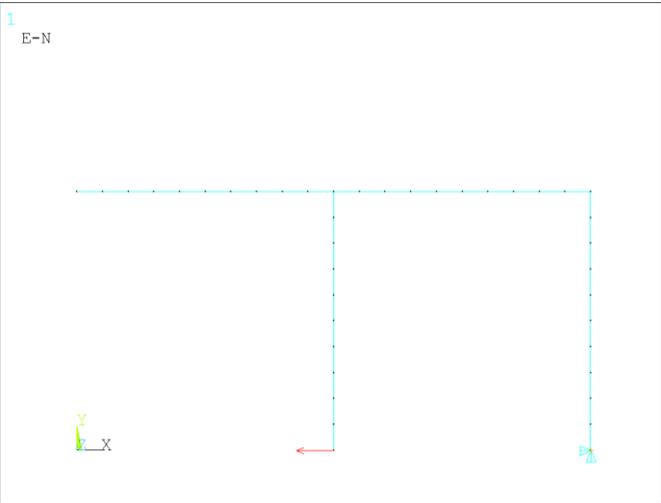
№	Действие	Результат
1	<p>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;            E=1 &gt; Accept &gt;            A=1e6 &gt; Accept &gt;            Iz=1 &gt; Accept &gt;            q=1 &gt; Accept &gt;            l=1 &gt; Accept &gt;     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

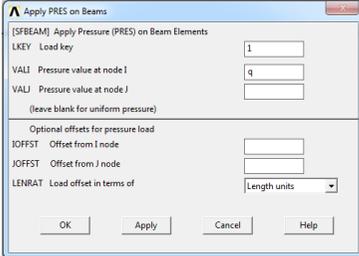
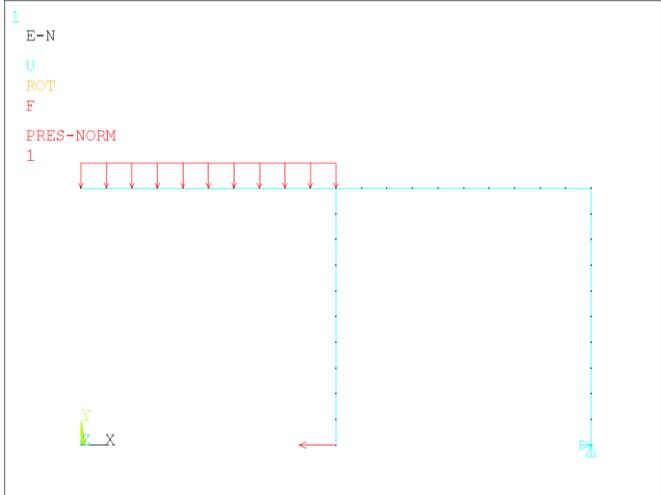
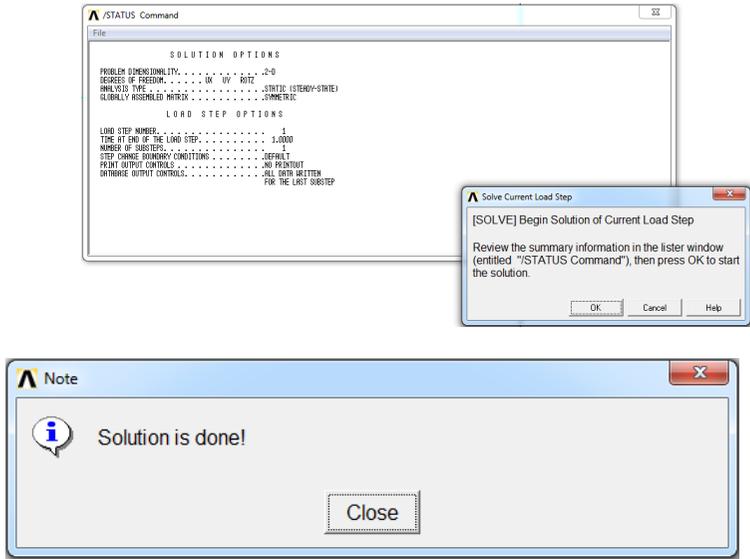
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Material Props &gt; Material Models &gt; Structural &gt; Linear &gt; Elastic &gt; Isotropic &gt;</p> <p>В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu"</p> <p>&gt; OK</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
<b>Твердотельное моделирование</b>		
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 и H → 5 :</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Keypoints &gt; In Active CS &gt;</p> <p>NPT пишем 1</p> <p>X, Y, Z пишем 0, l, 0 &gt; Apply &gt;</p> <p>NPT пишем 2</p> <p>X, Y, Z пишем l, l, 0 &gt; Apply &gt;</p> <p>NPT пишем 3</p> <p>X, Y, Z пишем l, 0, 0 &gt; Apply &gt;</p> <p>NPT пишем 4</p> <p>X, Y, Z пишем 2*l, l, 0 &gt; Apply &gt;</p> <p>NPT пишем 5</p> <p>X, Y, Z пишем 2*l, 0, 0 &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	 <pre> 1 POINTS POIN NUM 1                2                4                 .3                .5 </pre>

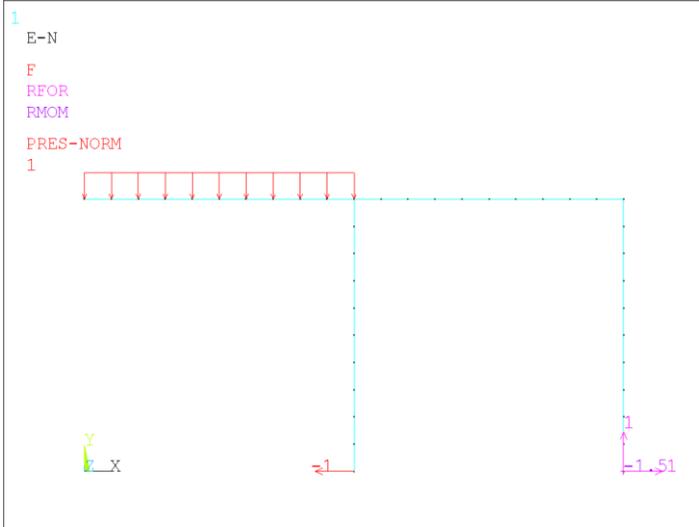
№	Действие	Результат
7	<p><i>Четыре участка – четыре линии:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Lines &gt; Lines &gt; Straight Line &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки:</p> <p>1 и 2 2 и 3 2 и 4 4 и 5 &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
8	<p><i>Заделка в точке H:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Displacement &gt; On Keypoints &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 5 ключевую точку &gt; OK &gt;</p> <p>Lab2 установить "All DOF" &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

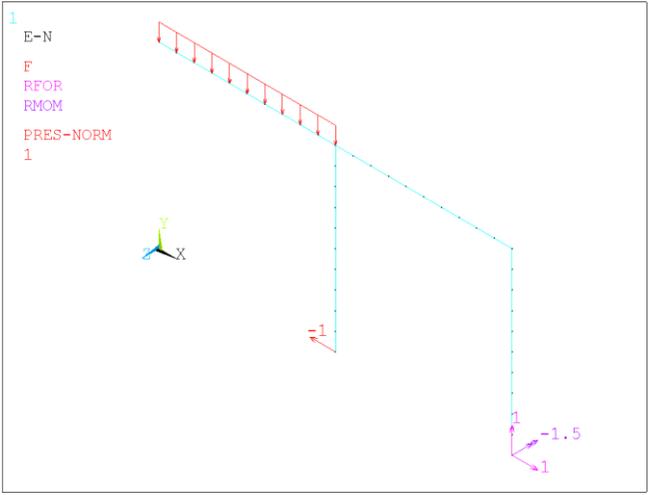
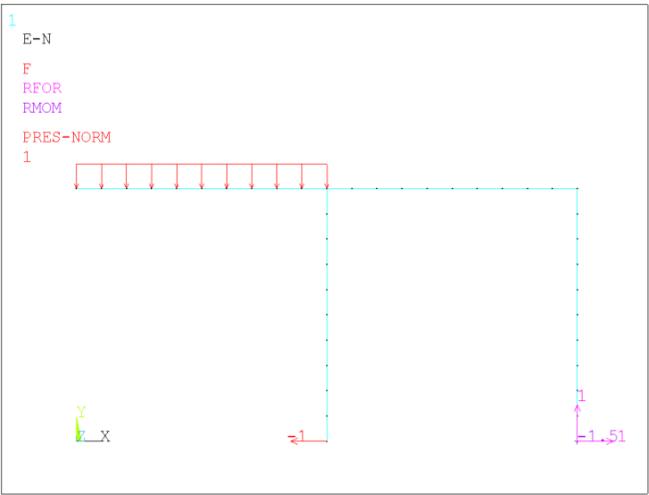
№	Действие	Результат
9	<p><i>Внешняя сосредоточенная сила:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Force/Moment &gt; On Keypoints &gt;            левой кнопкой мыши нажать на 3 ключевую точку &gt; OK &gt;             Lab установить "FX"             VALU пишем -q*1 &gt; OK</p>  <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
<b>Конечноэлементная модель</b>		
10	<p><i>Указываем материал, реальные константы и тип элементов:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh Attributes &gt; All Lines &gt;             MAT установить "1"             REAL установить "1"             TYPE установить "1 BEAM3" &gt; OK</p>	

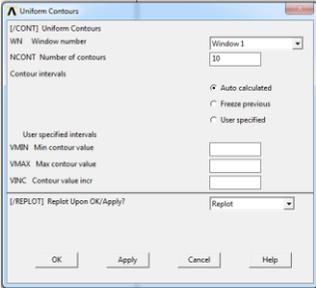
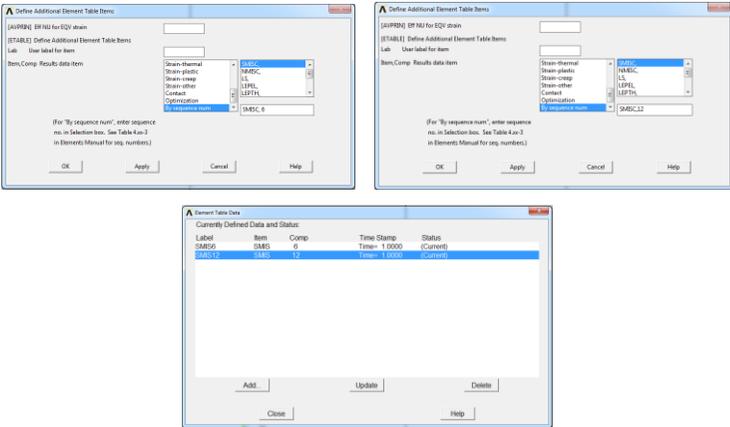
№	Действие	Результат
11	<p>Для наглядности деформированной формы каждый участок разбиваем на несколько балочных конечных элементов (10 оптимально):</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Size Cntrls &gt; ManualSize &gt; Lines &gt; All Lines &gt; NDIV пишем 10 &gt; OK</p>  <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
12	<p>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Multi-Plot Controls... &gt; Появляется первое окно Multi-Plotting &gt; OK &gt; Появляется второе окно Multi-Plotting &gt; Оставляем в нём отметки только напротив Nodes и Elements &gt; OK</p>	

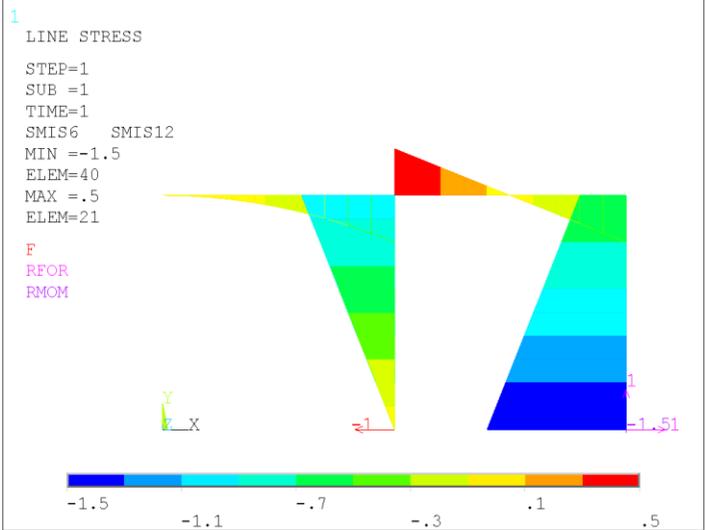
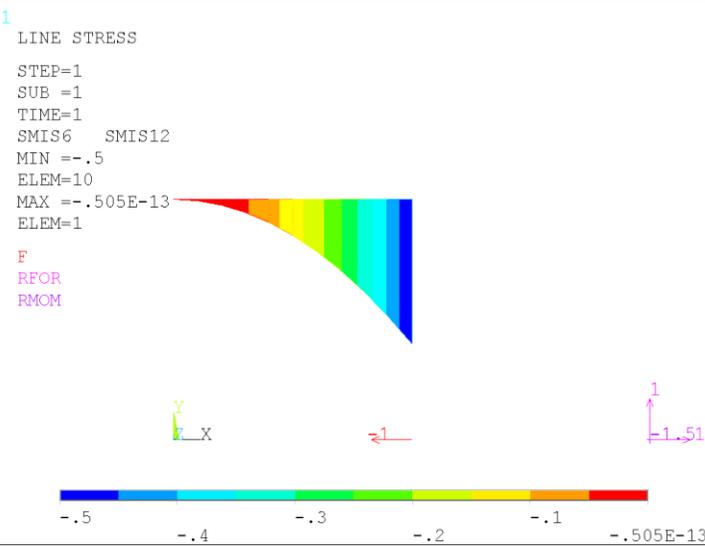
№	Действие	Результат
13	<p><i>Рабиваем линии на элементы:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh &gt; Lines &gt; Pick All</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Бирюзовым цветом изображены балочные элементы. Чёрные точки – это их узлы.</p>	
14	<p><i>Переносим на конечноэлементную модель нагрузки и закрепления с модели твердотельной:</i></p> <p>M_M &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Operate &gt; Transfer to FE &gt; All Solid Lds</p> <p>&gt; ОК</p>	

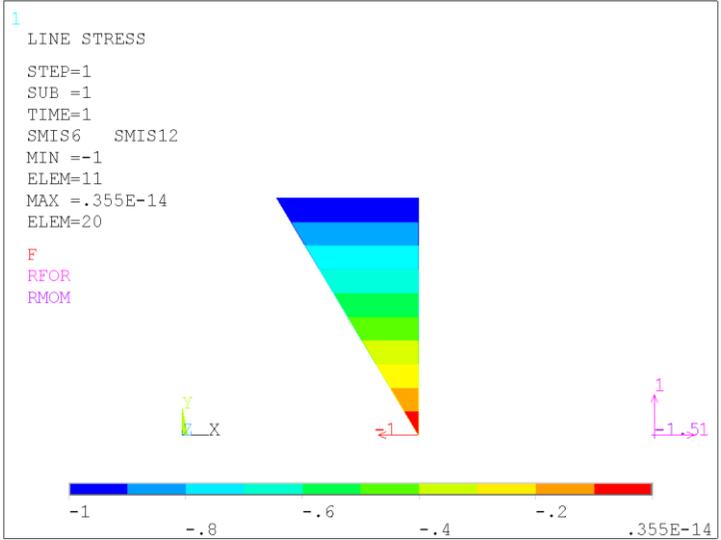
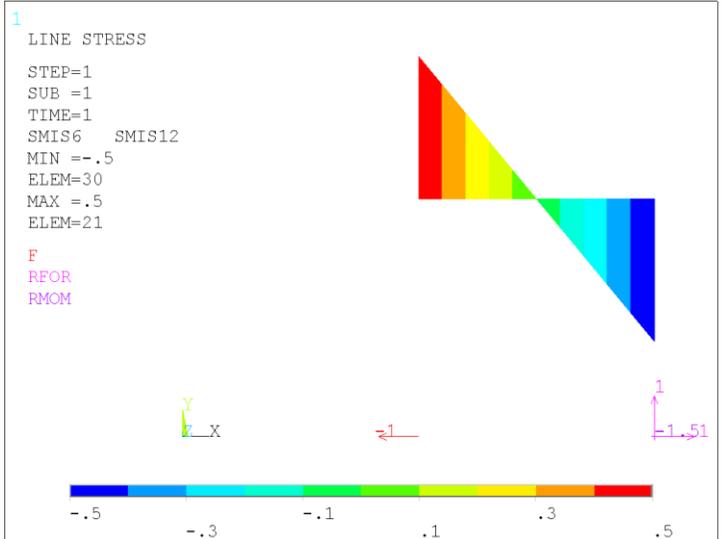
№	Действие	Результат
15	<p><i>Поперечная распределённая нагрузка <math>q</math>:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Pressure &gt; On Beams &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши отмечаем 10 элементов участка под распределённой нагрузкой</p>  <p>&gt; Apply &gt;</p> <p>LKEY пишем 1</p> <p>VALI пишем <math>q</math></p> <p>&gt; ОК</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
<h3>Расчёт</h3>		
16	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M &gt; Solution &gt; Solve &gt; Current LS</p> <p>Синхронно появляются два окна: белое информационное и серое исполнительное.</p> <p>Белое закрываем, на сером нажимаем ОК.</p> <p>Расчёт пошёл.</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p> <p>Расчёт окончен.</p>	

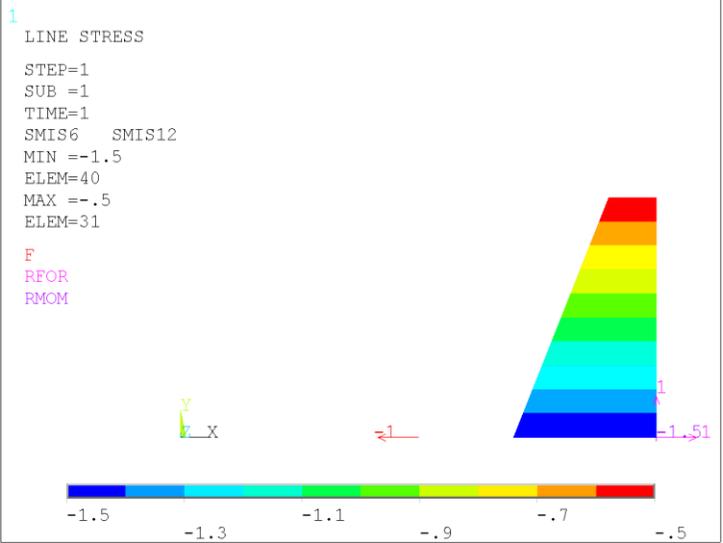
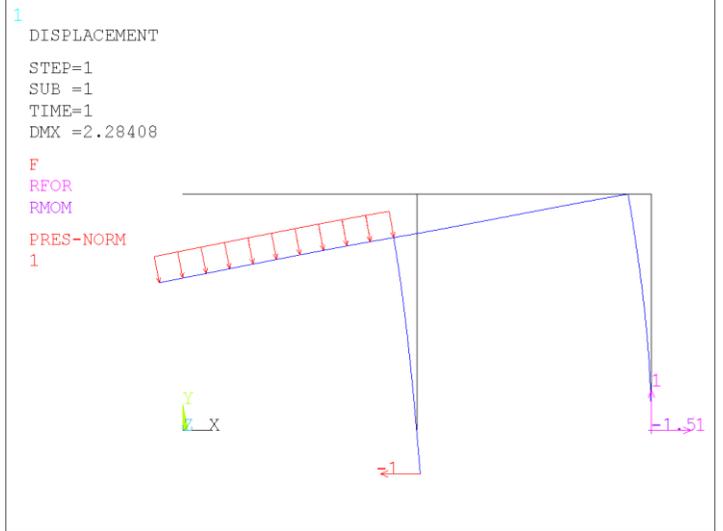
№	Действие	Результат
<b>Просмотр результатов</b>		
<b>17</b>	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt; [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous"</p> <p>Surface Load Symbols устанавливаем Pressures</p> <p>Show pres and convect as устанавливаем Arrows</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p><b>В окне "Applied Boundary Conditions"</b></p> <p>U установить "Off"</p> <p>Rot установить "Off"</p> <p>F установить "Symbol+Value"</p> <p>M установить "Symbol+Value"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p><b>В окне "Reactions"</b></p> <p>NFOR установить "Off"</p> <p>NMOM установить "Off"</p> <p>RFOR установить "Symbol+Value"</p> <p>RMOM установить "Symbol+Value"</p> <p>&gt; OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Elements</p> <p>При необходимости корректируйте масштаб кнопками  или .</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1а</i>. (числа, выделенные синим цветом).</p> <p>В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Красным цветом начерчены сосредоточенные и распределённые внешние силы;</li> <li>- Фиолетовым цветом начерчен вектор реактивного момента;</li> <li>- Малиновым цветом нарисована реактивная сила.</li> </ul>	

№	Действие	Результат
18	<p><i>Изометрия:</i></p> <p>До сих пор модели мы рассматривали, используя фронтальный вид («сбоку»). Вектор изгибающего момента при этом виден плохо, а его направление не определяется вовсе. Меняем угол зрения: справа от рабочего поля нажимаем кнопки</p> <p> - изометрия;</p> <p> - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).</p>	
19	<p><i>Возвращаемся к фронтальному виду:</i></p> <p> - вид спереди;</p> <p> - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).</p>	

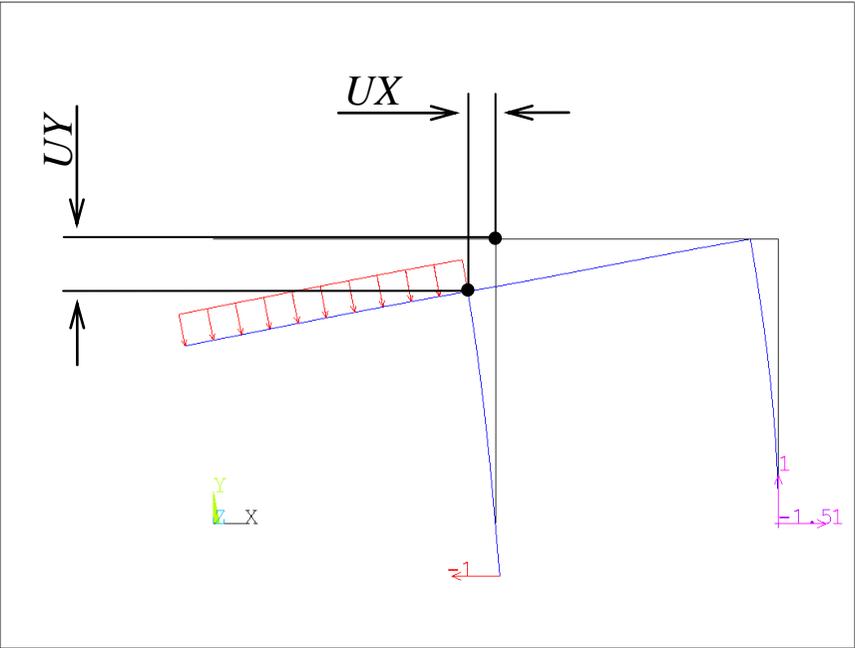
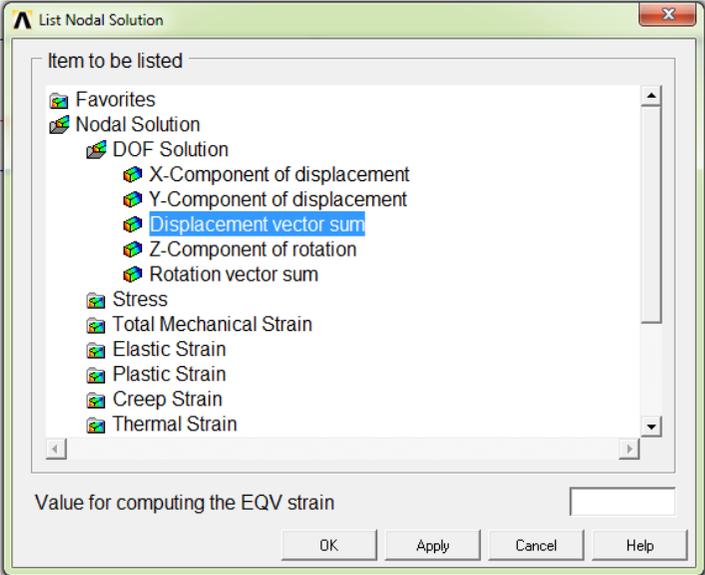
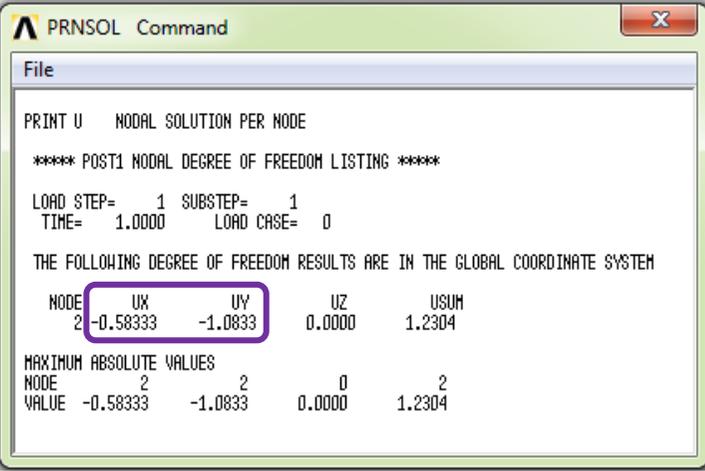
№	Действие	Результат
20	<p><i>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Contours &gt; Uniform Contours &gt;            NCONT пишем 10            &gt; OK</p>	
21	<p><i>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Add &gt;            "By sequence num", "SMISC,", "6"            &gt; Apply &gt;            "By sequence num", "SMISC,", "12"            &gt; OK &gt;            &gt; Close</p> <p>Закрываем таблицу результатов:            Close</p>	

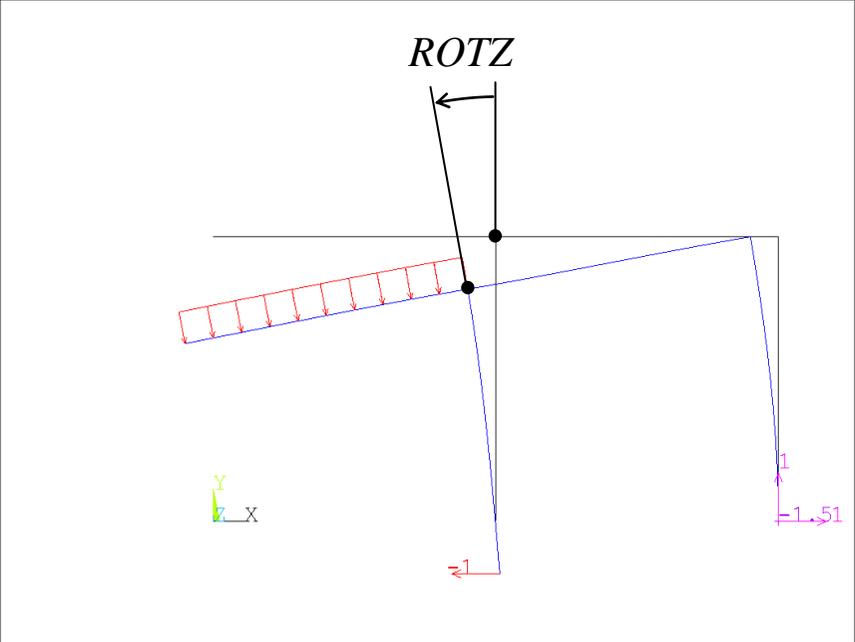
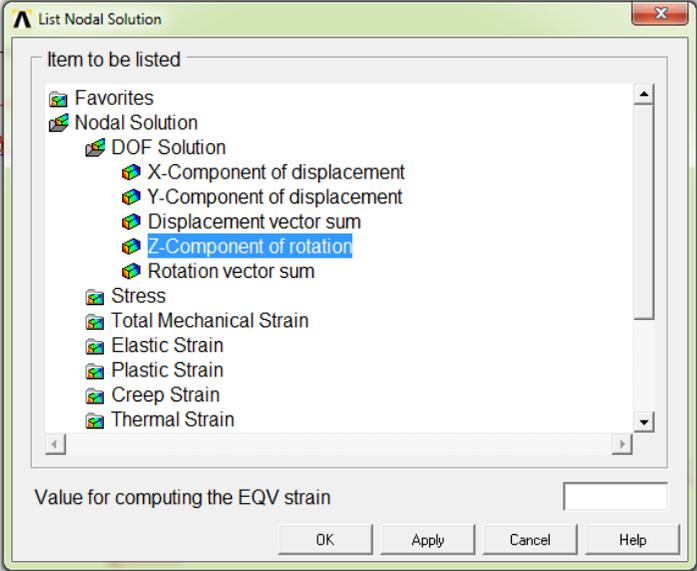
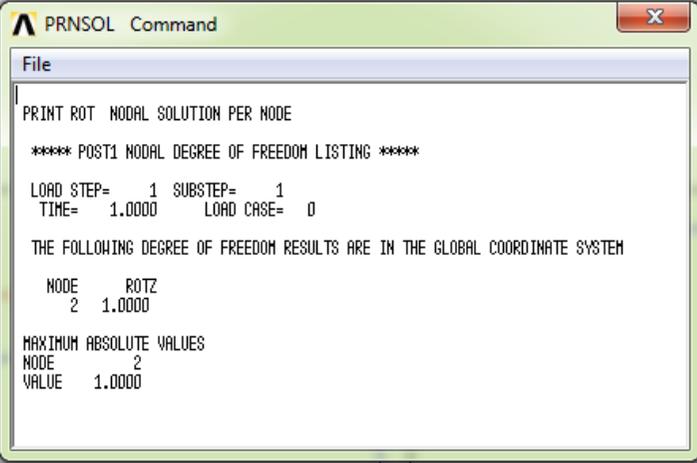
№	Действие	Результат
22	<p><i>Прорисовка эпюры внутреннего изгибающего момента:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Contour Plot &gt; Line Elem Res &gt;</p> <p>LabI установить "SMIS6" LabJ установить "SMIS12" Fact пишем 1 &gt; OK</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1б.</i> (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала.</p> <p>Можете рисунок эпюры сделать крупнее: коэффициент Fact установите 2 или 3.</p>	
23	<p><i>Конечные элементы, построенные по линии L1:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M &gt; Plot &gt; Replot</p> <p>Выделяем мышью (левая кнопка) нужные конечные элементы:</p> <p>U_M &gt; Select &gt; Entities &gt;</p> <p>Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick"</p> <p>Селектор на "From Full"</p> <p>&gt; OK</p> <p>Последовательно кликаем левой кнопкой мыши на каждый из десяти элементов левого ригеля.</p> <p>&gt; OK</p> <p>Прорисовываем: U_M &gt; Plot &gt; Replot</p> <p>Видим часть общей эпюры на выделенных элементах. Значение показывают MIN и MAX. <math>0,5 \cdot 10^{-13}</math> это почти нуль.</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M &gt; Select &gt; Everything</p>	

№	Действие	Результат
24	<p><i>Конечные элементы, построенные по линии L2:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M &gt; Plot &gt; Replot</p> <p>Выделяем мышью нужные конечные элементы:</p> <p>U_M &gt; Select &gt; Entities &gt;</p> <p>Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick"</p> <p>Селектор на "From Full"</p> <p>&gt; ОК</p> <p>Последовательно кликаем левой кнопкой мыши на каждый из десяти элементов левой стойки.</p> <p>&gt; ОК</p> <p>Прорисовываем: U_M &gt; Plot &gt; Replot</p> <p>Видим часть общей эпюры на выделенных элементах.</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M &gt; Select &gt; Everything</p>	
25	<p><i>Конечные элементы, построенные по линии L3:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M &gt; Plot &gt; Replot</p> <p>Выделяем мышью нужные конечные элементы:</p> <p>U_M &gt; Select &gt; Entities &gt;</p> <p>Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick"</p> <p>Селектор на "From Full"</p> <p>&gt; ОК</p> <p>Последовательно кликаем левой кнопкой мыши на каждый из десяти элементов правого ригеля.</p> <p>&gt; ОК</p> <p>Прорисовываем: U_M &gt; Plot &gt; Replot</p> <p>Видим часть общей эпюры на выделенных элементах.</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M &gt; Select &gt; Everything</p>	

№	Действие	Результат
26	<p><i>Конечные элементы, построенные по линии L4:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M &gt; Plot &gt; Replot</p> <p>Выделяем мышью нужные конечные элементы:</p> <p>U_M &gt; Select &gt; Entities &gt;</p> <p>Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick"</p> <p>Селектор на "From Full"</p> <p>&gt; OK</p> <p>Последовательно кликаем левой кнопкой мыши на каждый из десяти элементов правой стойки.</p> <p>&gt; OK</p> <p>Прорисовываем: U_M &gt; Plot &gt; Replot</p> <p>Видим часть общей эпюры на выделенных элементах.</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M &gt; Select &gt; Everything</p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS6 SMIS12 MIN =-1.5 ELEM=40 MAX =-.5 ELEM=31  F RFOR RMOM </pre>
27	<p><i>Форма деформированной упругой оси рамы под нагрузкой:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M &gt; Plot &gt; Replot</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt;</p> <p>&gt; Deformed Shape &gt;</p> <p>KUND установить Def + undeformed</p> <p>&gt; OK</p> <p>Это точная форма изогнутой оси.</p> <p>Для наглядности увеличиваем масштаб:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Displacement Scaling &gt;</p> <p>DMULT устанавливаем "User specified"</p> <p>User specified factor увеличиваем вчетверо с 0.0438 до 0.17</p> <p>&gt; OK</p> 	 <pre> 1 DISPLACEMENT STEP=1 SUB =1 TIME=1 DMX =2.28408  F RFOR RMOM PRES-NORM 1 </pre>



№	Действие	Результат
29	<p>Линейные перемещения узла №2:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt; Nodal Solution &gt; DOF Solution &gt; Displacement vector sum &gt; OK</p> <p>Пропечатались величины линейных перемещений узла №2:</p> $UY = \delta_{\text{верт}} = -1,083 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} \quad (< 0, \text{ то есть вниз}); \quad \text{Полное совпадение с результатом аналитического расчёта (рис. 1 г.);}$ $UX = \delta_{\text{гор}} = -0,5833 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} \quad (< 0, \text{ то есть влево}); \quad \text{Полное совпадение с результатом аналитического расчёта (рис. 1 г.).}$ <p>Что означают эти цифры?</p> 	  <pre> 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   2 -0.58333 -1.0833  0.0000  1.2304  MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE      2      2      0      2 VALUE -0.58333 -1.0833  0.0000  1.2304 </pre>

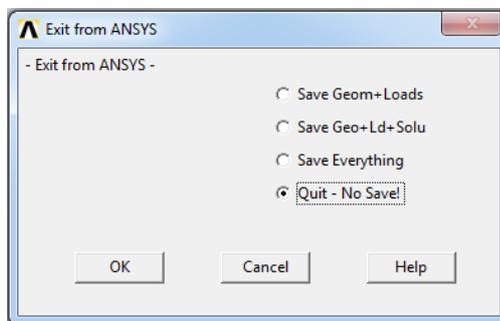
№	Действие	Результат
30	<p>Угловое перемещение узла №2:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt; Nodal Solution &gt; DOF Solution &gt; Z-Component of rotation &gt; &gt; OK</p> <p>Пропечаталась величина углового перемещения узла №2:</p> $ROTZ = \theta = 1 \cdot \frac{q \cdot l^3}{EI_z} \quad (> 0, \text{ то есть против часовой стрелки}); \quad \text{Полное совпадение с результатом аналитического расчёта (рис.1г.).}$ <p>Что означает эта цифра?</p> 	  <pre> 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 2 1.0000  MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 2 VALUE 1.0000 </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.