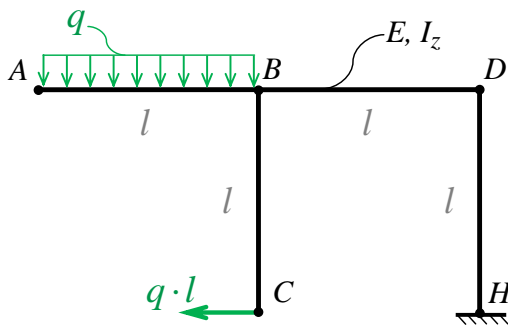


K-05 (ANSYS)

Формулировка задачи:



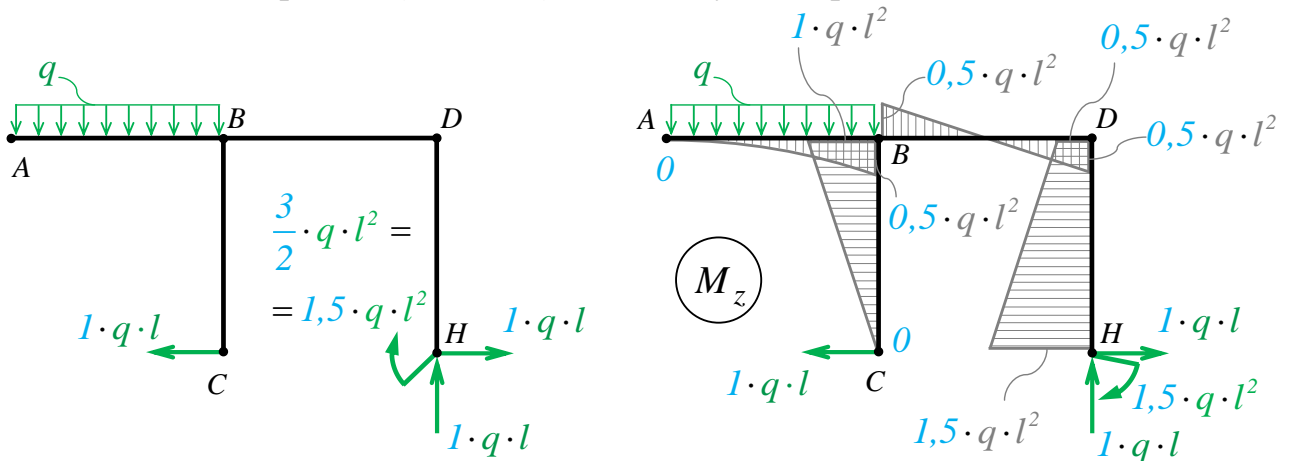
Дано: E, I_z, q, l .

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 :

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

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

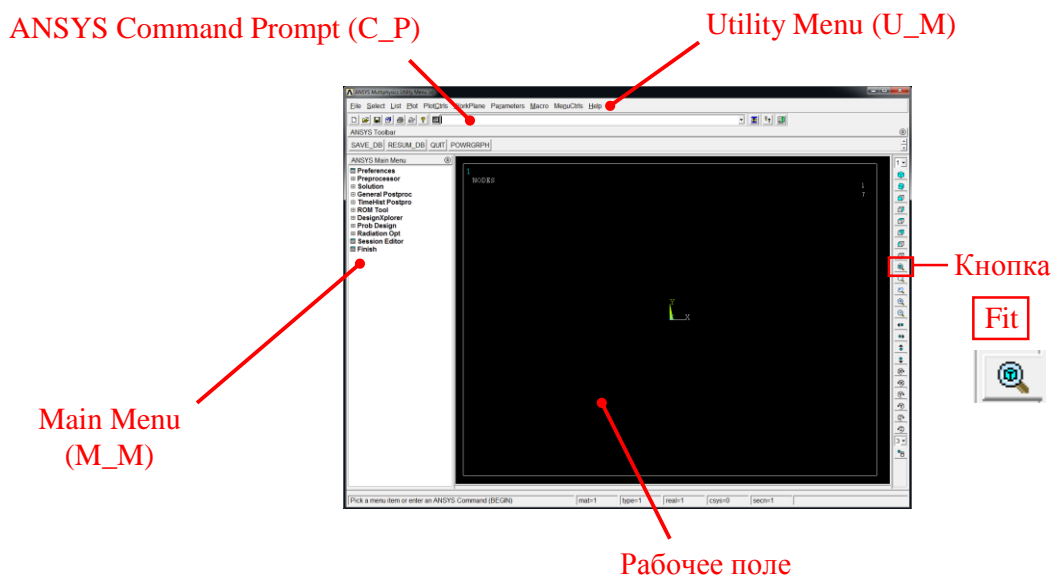
$$\theta = 1 \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I_z} \quad (\text{против часовой стрелки}).$$

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
```

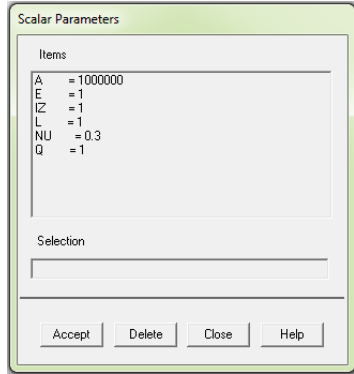
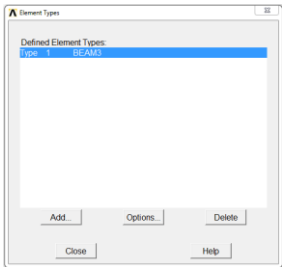
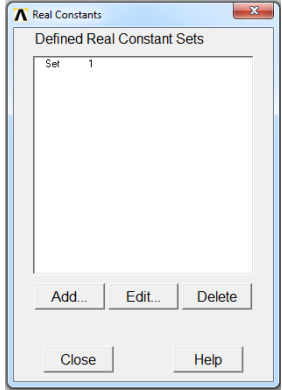
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```

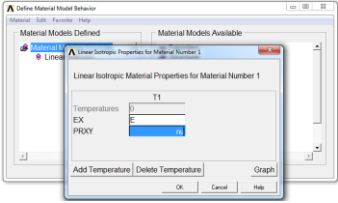
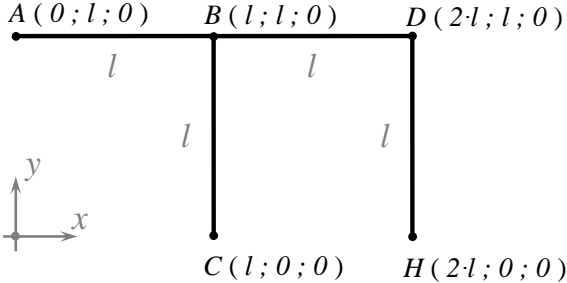
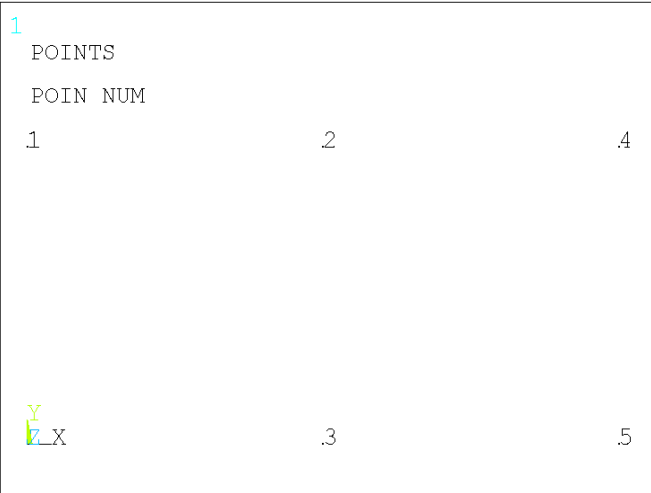
```
Установить «Размер» на «22»> OK
```

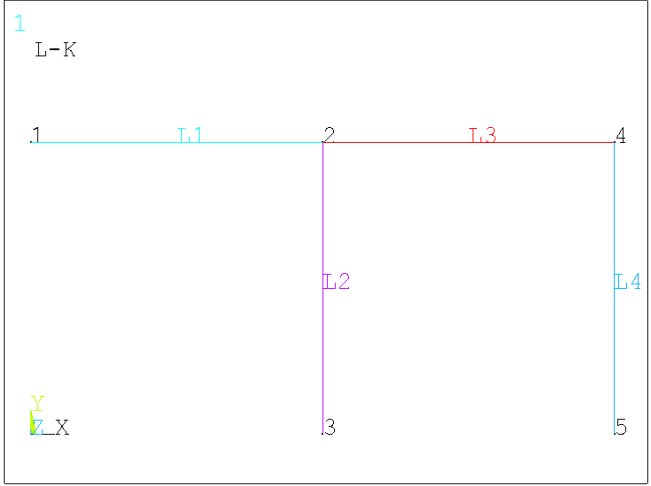
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

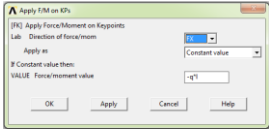
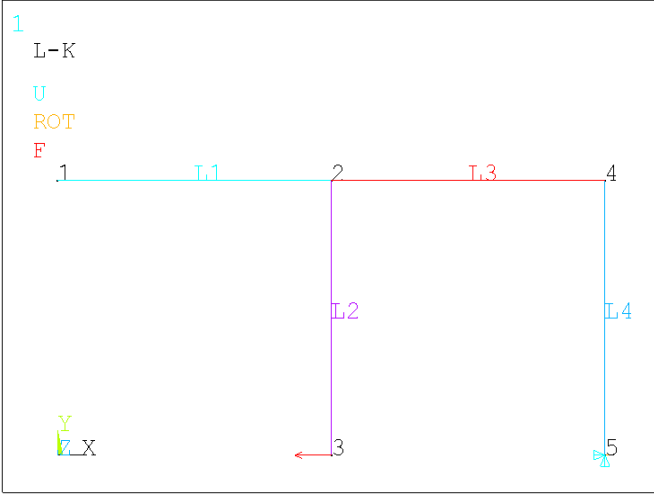
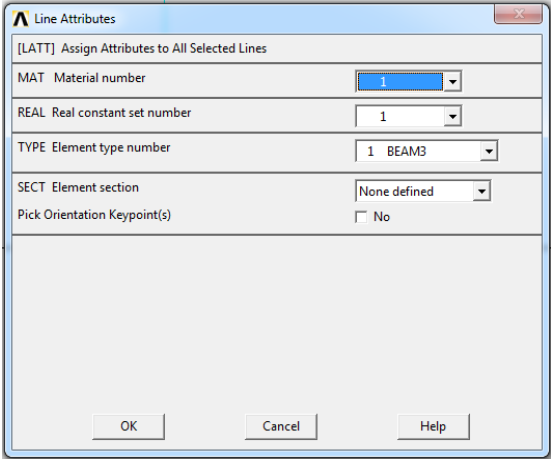
Решение задачи:

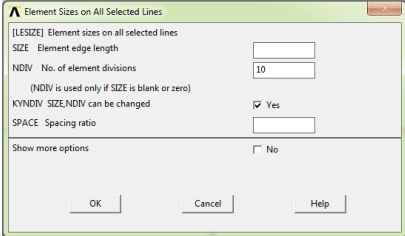
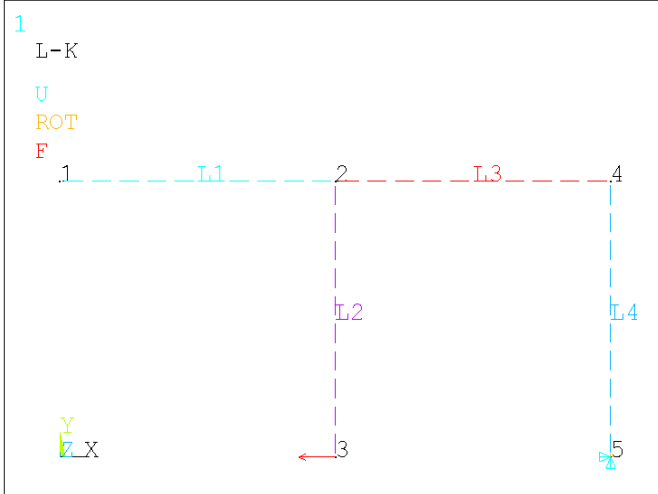
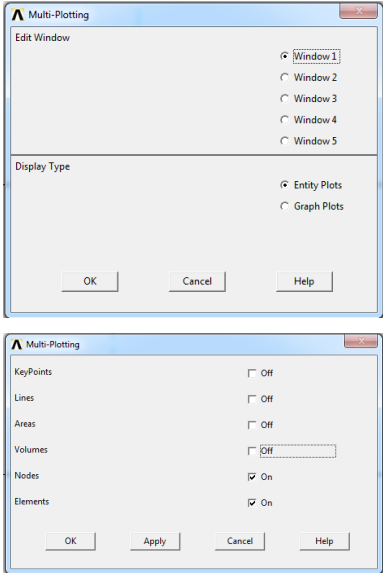
Приравняв E , I_z , q и l к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

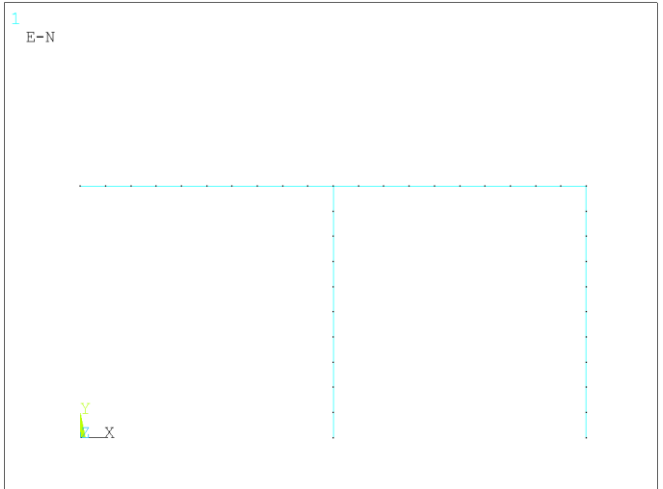
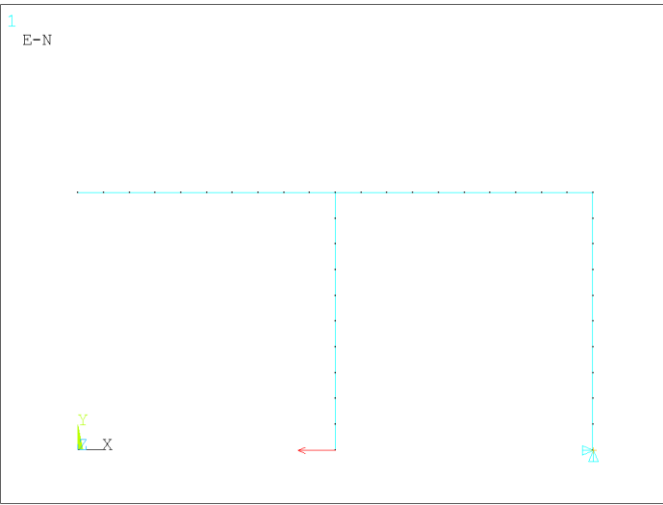
№	Действие	Результат
1	<p>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters > E=1 > Accept > A=1e6 > Accept > Iz=1 > Accept > q=1 > Accept > l=1 > Accept > nu=0.3 > Accept > > Close</p>	
2	<p>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский балочный тип BEAM3:</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>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 > R, 1, A, Iz, L/100 > Enter</p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант: M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Close</p>	

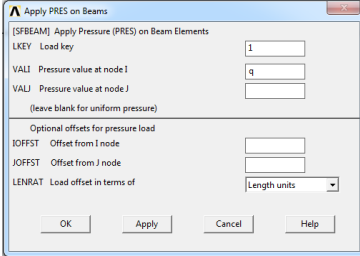
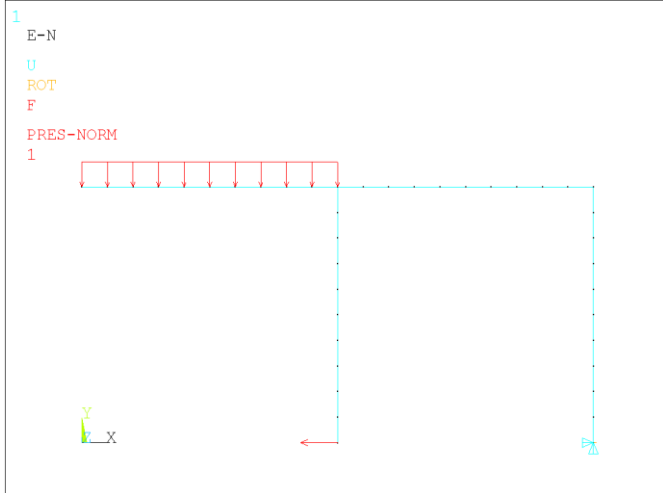
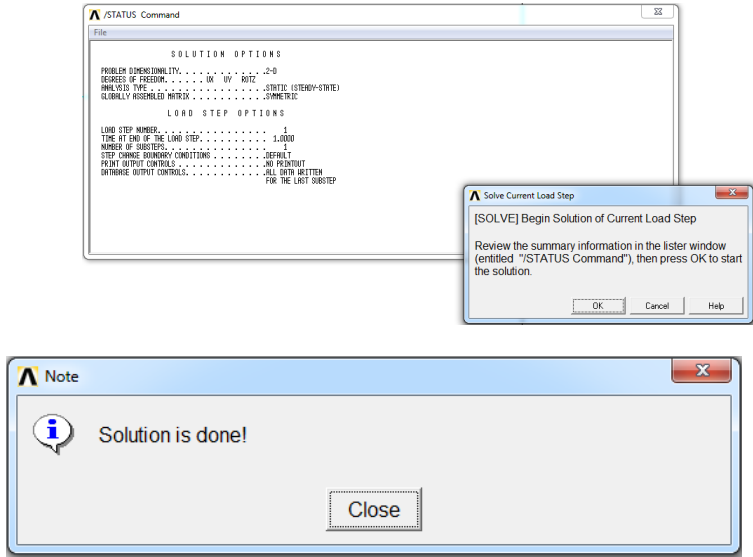
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic ></p> <p>В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu"</p> <p>> OK</p> <p>Закрываем окно «Deine 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 и H → 5 :</i></p> <p>M_M > 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 2*l, l, 0 > Apply ></p> <p>NPT пишем 5</p> <p>X, Y, Z пишем 2*l, 0, 0 > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	



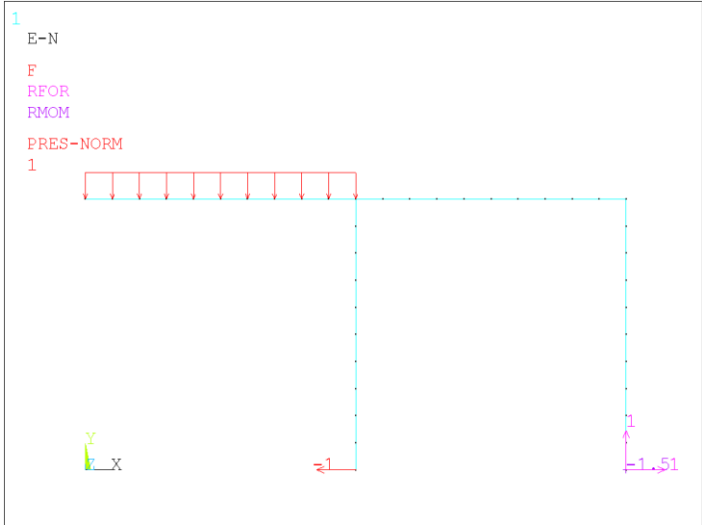
№	Действие	Результат
7	<p><i>Четыре участка – четыре линии:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line ></p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки:</p> <p>1 и 2 2 и 3 2 и 4 4 и 5 > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots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



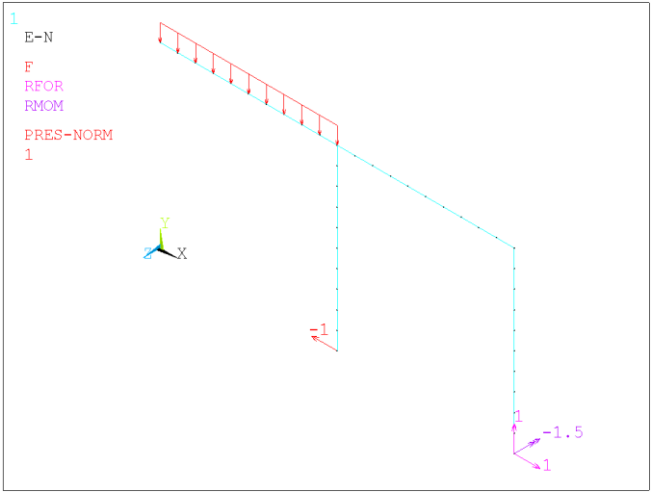


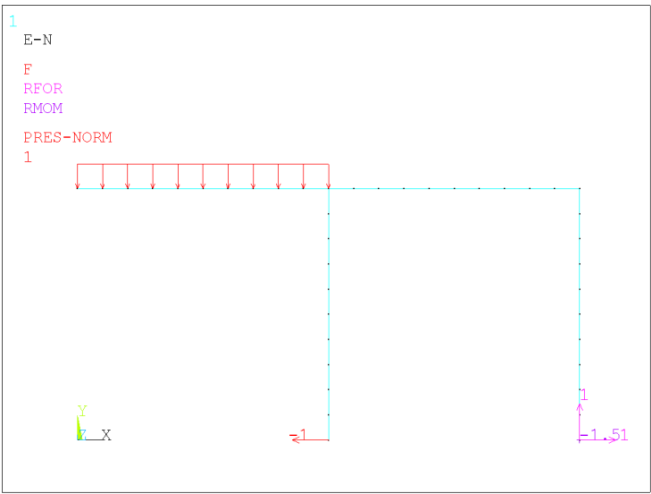
№	Действие	Результат
9	<p><i>Внешняя сосредоточенная сила:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints > Левой кнопкой мыши нажать на 3 ключевую точку > OK > Lab установить "FX" VALU пишем $-q \cdot l$ > OK</p>  <p>Прорисовываем всё, что есть: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

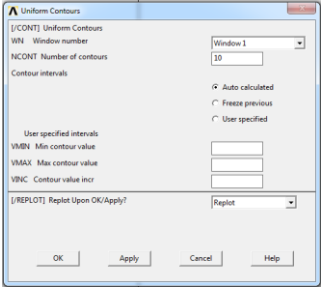
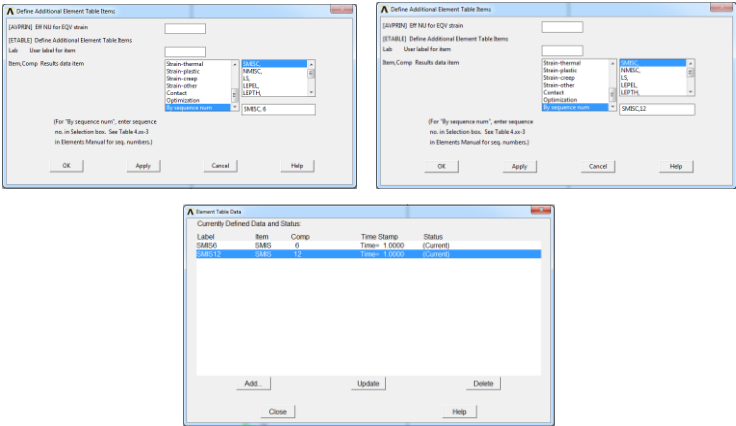
№	Действие	Результат
11	<p>Для наглядности деформированной формы каждый участок разбиваем на несколько балочных конечных элементов (10 оптимально):</p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Lines > All Lines > NDIV пишем 10 > OK</p>  <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots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


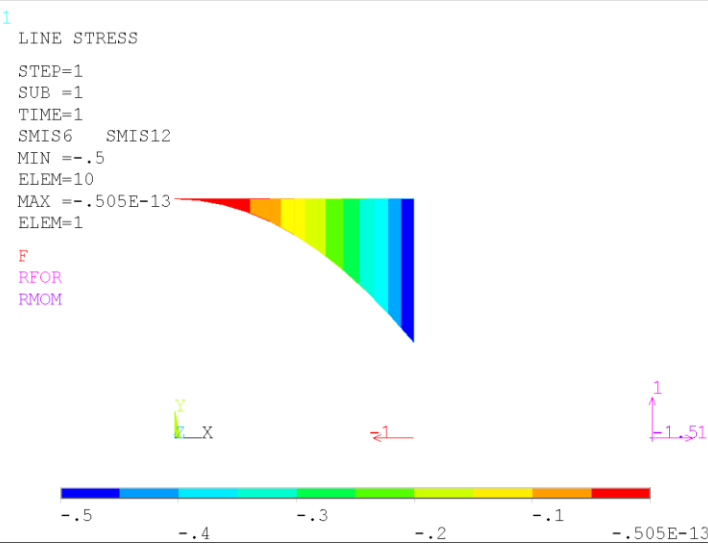
№	Действие	Результат
13	<p><i>Рабиваем линии на элементы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Pick All</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Бирюзовым цветом изображены балочные элементы. Чёрные точки – это их узлы.</p>	
14	<p><i>Переносим на конечноэлементную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

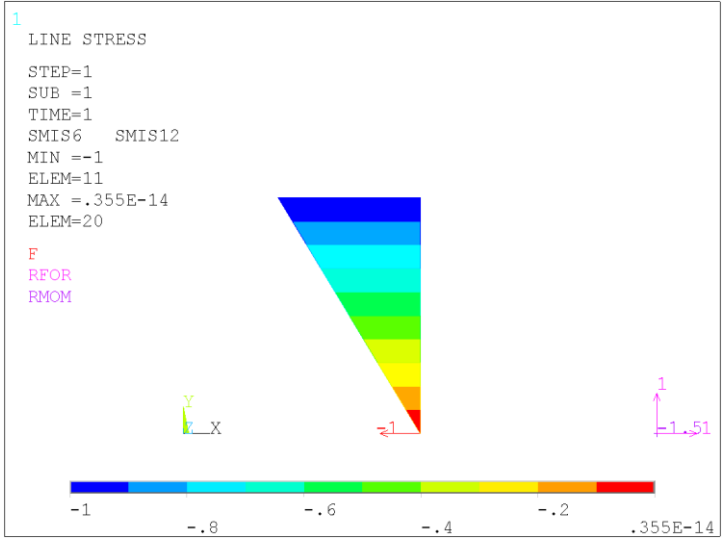

№	Действие	Результат
15	<p><i>Поперечная распределённая нагрузка q:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Beams ></p> <p>Левой кнопкой мыши отмечаем 10 элементов участка под распределённой нагрузкой</p>  <p>> Apply ></p> <p>LKEY пишем 1</p> <p>VALI пишем q</p> <p>> ОК</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
<h3>Расчёт</h3>		
16	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > 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>	

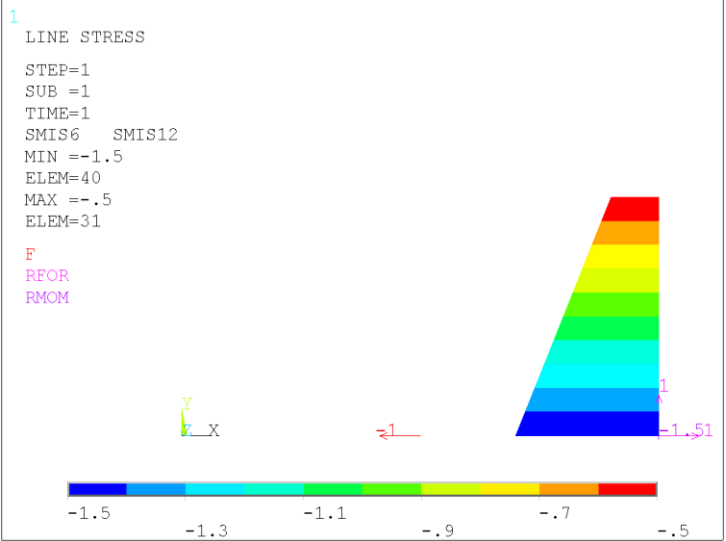
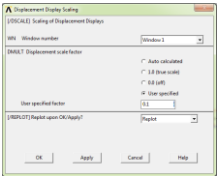
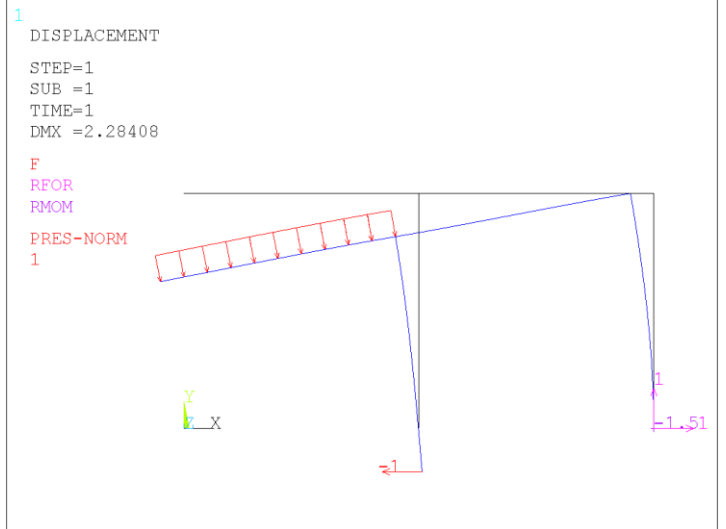
№	Действие	Результат
Просмотр результатов		
17	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous"</p> <p>Surface Load Symbols устанавливаем Pressures</p> <p>Show pres and convect as устанавливаем Arrows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

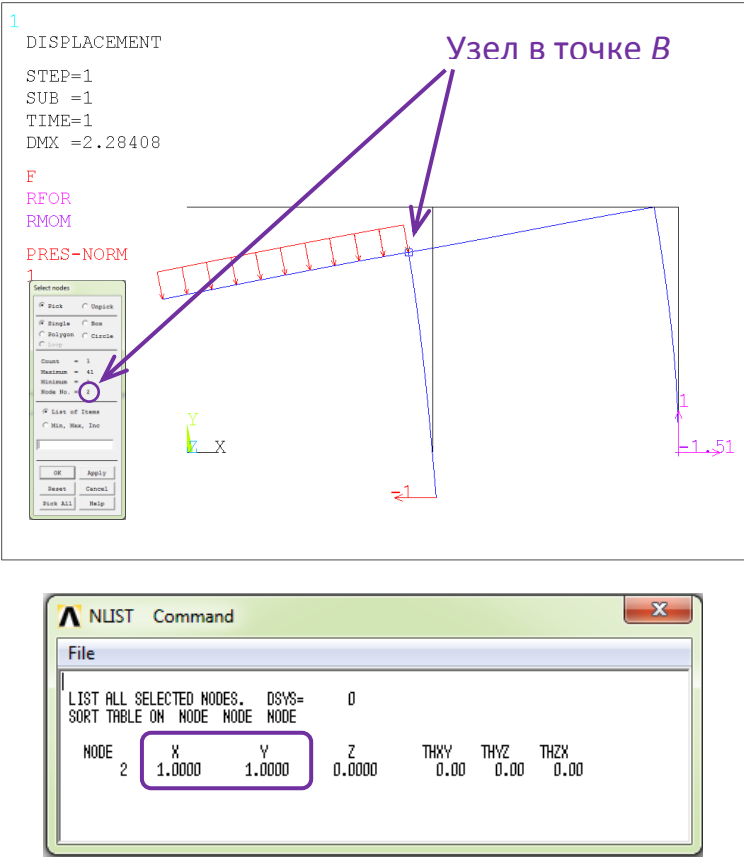
№	Действие	Результат
18	<p><i>Изометрия:</i></p> <p>До сих пор модели мы рассматривали, используя фронтальный вид («сбоку»). Вектор изгибающего момента при этом виден плохо, а его направление не определяется вовсе. Меняем угол зрения: справа от рабочего поля нажимаем кнопки</p> <p> - изометрия;</p> 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

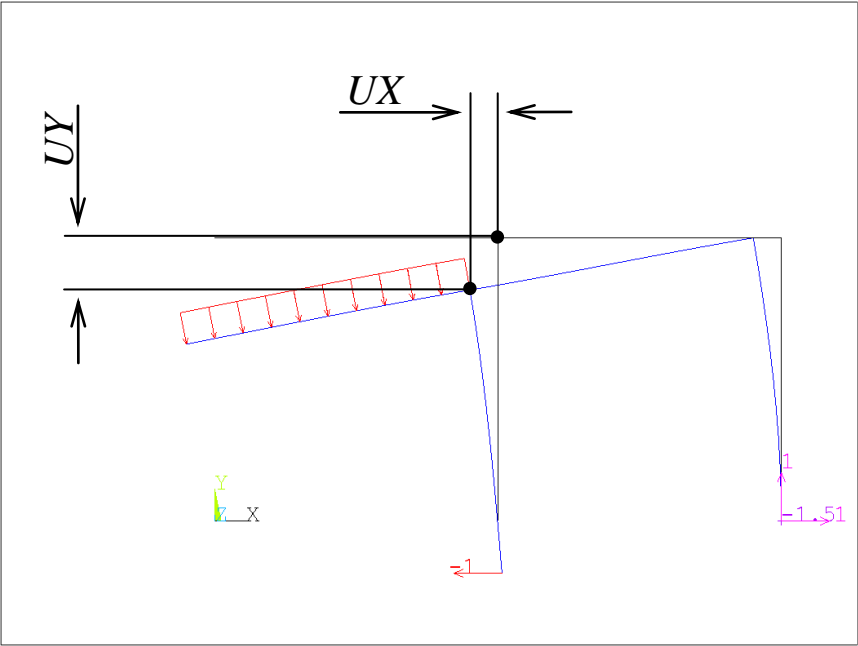
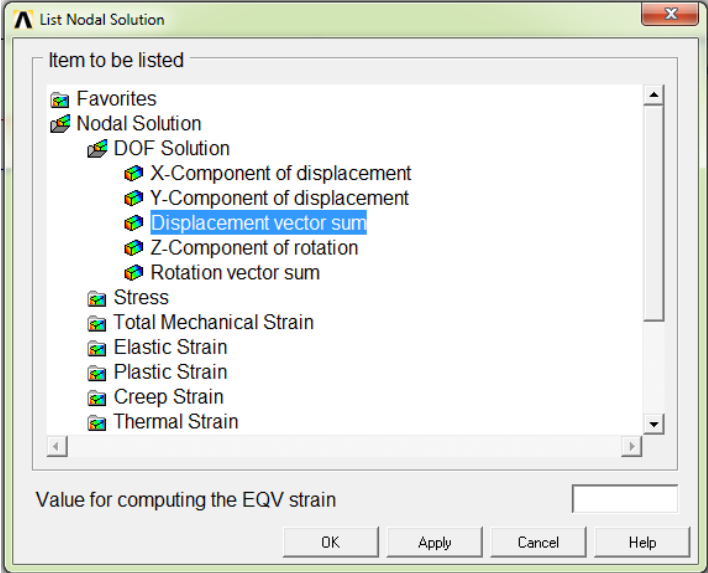
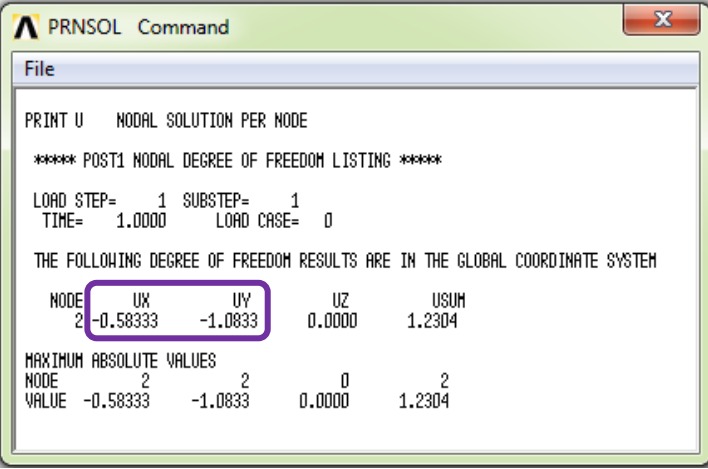
№	Действие	Результат															
20	<p><i>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10 > OK</p>																
21	<p><i>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "6" > Apply > "By sequence num", "SMISC,", "12" > OK > > Close</p> <p>Закрываем таблицу результатов: Close</p>	 <table border="1" data-bbox="1556 769 1926 992"> <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)													

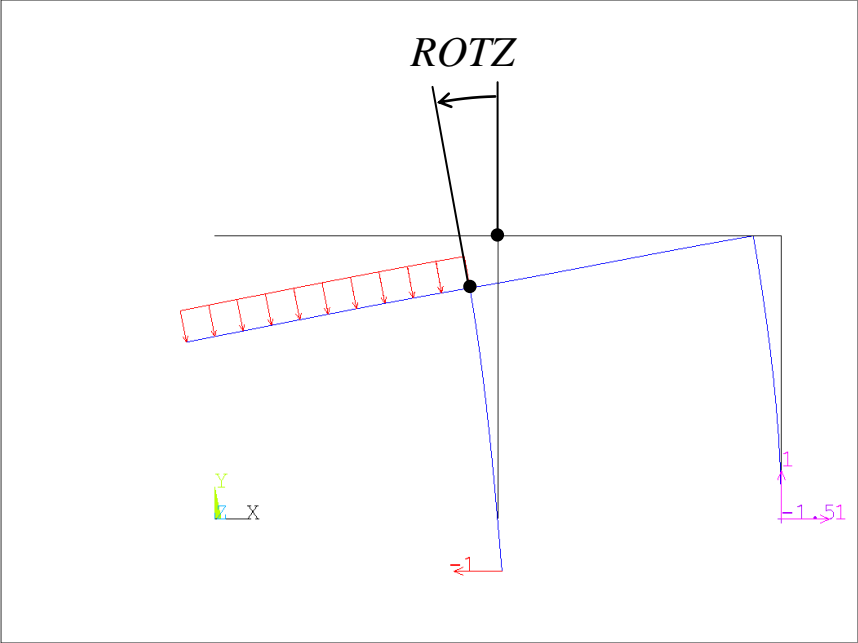
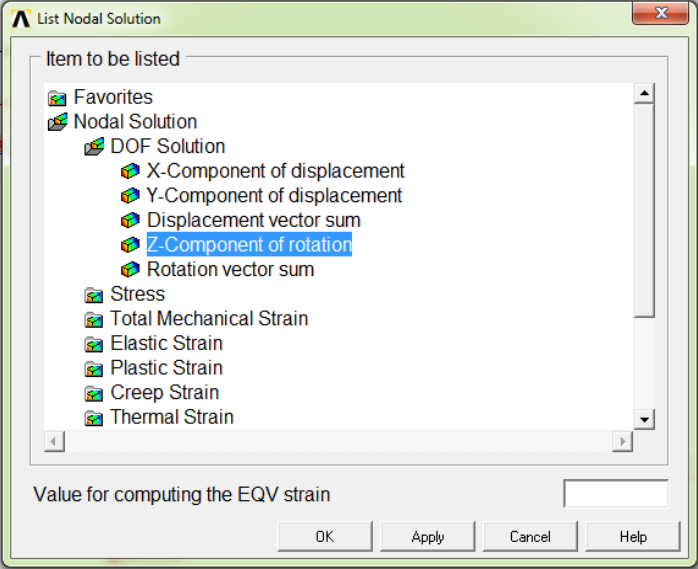
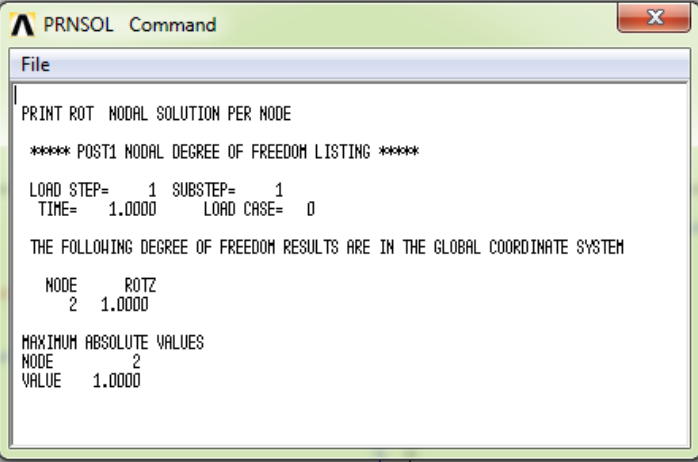
№	Действие	Результат
22	<p><i>Прорисовка эпюры внутреннего изгибающего момента:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res ></p> <p>LabI установить "SMIS6" LabJ установить "SMIS12" Fact пишем 1 > OK</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1б.</i> (только 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 > Plot > Replot</p> <p>Выделяем мышью (левая кнопка) нужные конечные элементы:</p> <p>U_M > Select > Entities ></p> <p>Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick"</p> <p>Селектор на "From Full"</p> <p>> OK</p> <p>Последовательно кликаем левой кнопкой мыши на каждый из десяти элементов левого ригеля.</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>Видим часть общей эпюры на выделенных элементах. Значение показывают MIN и MAX. $0,5 \cdot 10^{-13}$ это почти нуль.</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M > Select > Everything</p>	

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

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

№	Действие	Результат
28	<p>Выделяем мышью узел конечноэлементной модели, соответствующий точке С:</p> <p>U_M > Select > Entities... > В окошке Select Entities установить "Nodes" "By Num/Pick" Точку селектора установить на «From Full» > OK ></p> <p>Левой кнопкой мыши кликнуть на точку В на деформированной форме (тройной узел). Кстати, при этом в окошке Select nodes припишется номер узла в этой точке «Node No. = 2» > OK</p> <p>Проверяем, действительно ли выделен узел с координатой $X=1*l=1$ и $Y=1*l=1$</p> <p>U_M > List > Nodes... > OK</p> <p>Закрываем окно NLIST Command</p>	 <p>The image shows a screenshot of a finite element analysis (FEA) software interface. The main window displays a deformed structure with a selected node at point B, labeled "Узел в точке В". The node is highlighted with a purple circle. A dialog box titled "Select nodes" is open, showing the "Node No." field set to "2". Below the dialog box, the "NLIST Command" window is visible, displaying the following data:</p> <pre> FILE LIST ALL SELECTED NODES, DSYS= 0 SORT TABLE ON NODE NODE NODE NODE X Y Z THXV THVZ THZX 2 1.0000 1.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00 </pre>

№	Действие	Результат
29	<p>Линейные перемещения узла №2:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement vector sum > 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>

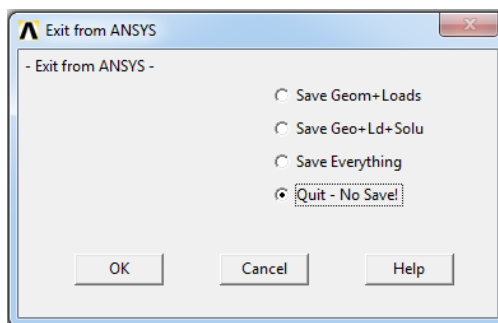
№	Действие	Результат
30	<p>Угловое перемещение узла №2:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Z-Component of rotation > > OK</p> <p>Пропечаталась величина углового перемещения узла №2:</p> $ROTZ = \theta = 1 \cdot \frac{q \cdot l^3}{EI_z} \quad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