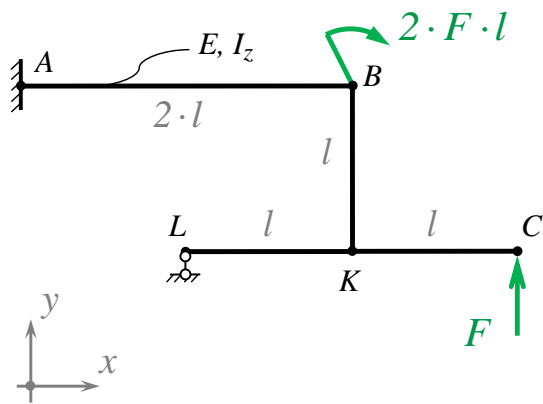


M-02 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: E, I_z, F, l .

Многосвязная плоская рама, нагруженная сосредоточенной силой F и сосредоточенным моментом $2 \cdot F \cdot l$.

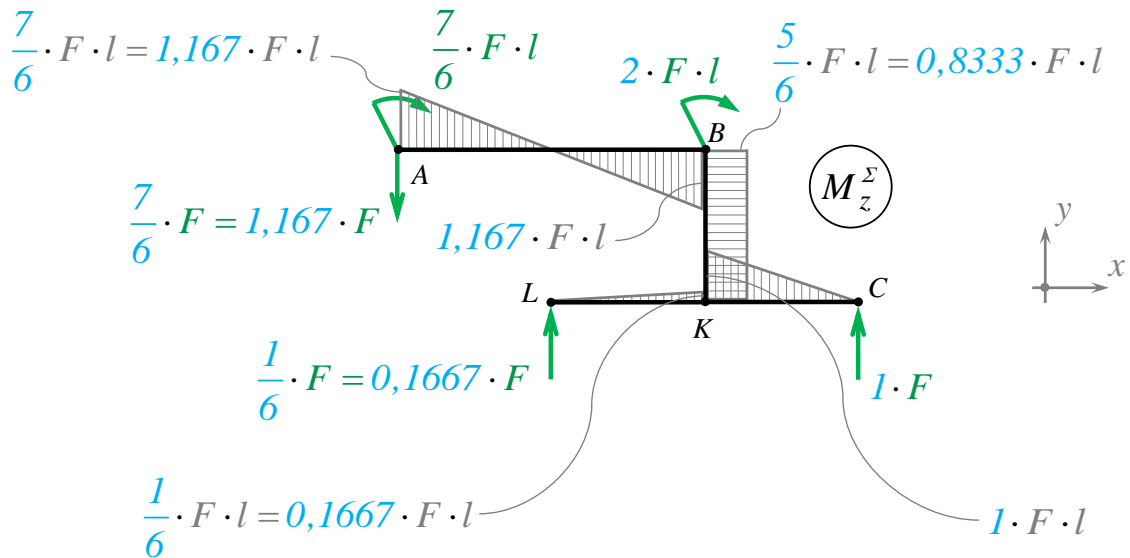
E – модуль упругости материала;
 I_z – изгибный момент инерции.

Найти: Линейное перемещение точки K : v_K ;

Угловое перемещение точки L : Θ_L ;

Эпюру внутреннего изгибающего момента M_z .

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



$$\Theta_L = \frac{3}{4} \cdot \frac{F \cdot l^2}{E \cdot I_z} = 0,75 \cdot \frac{F \cdot l^2}{E \cdot I_z} - \text{и } \delta \text{ и } \delta \text{ è } \hat{a} \text{ ÷ } \hat{a} \hat{m} \hat{i} \hat{é} \hat{n} \hat{o} \hat{d} \hat{a} \hat{é} \hat{è} \hat{è} ;$$

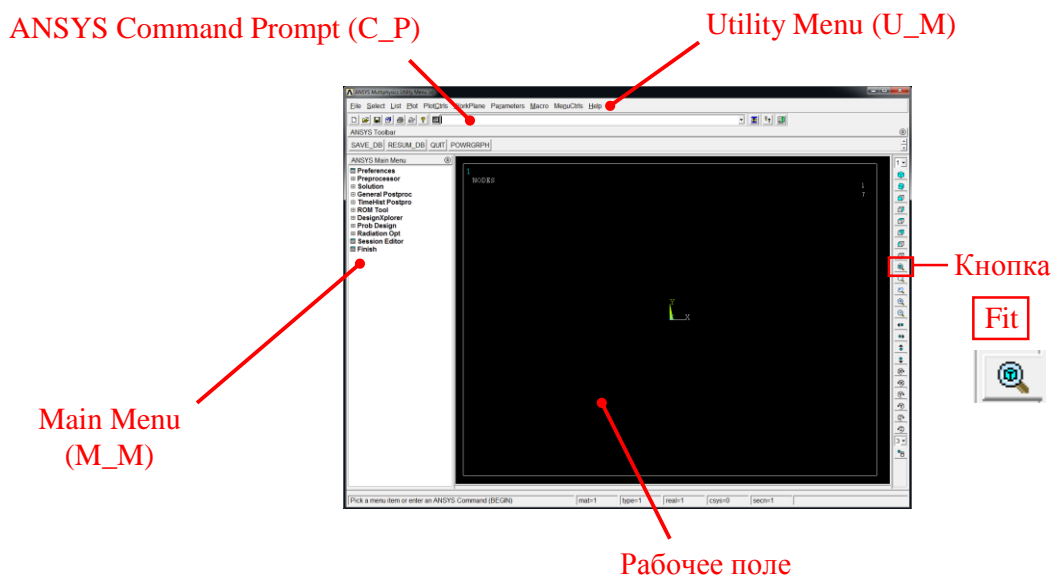
$$v_K = \frac{7}{9} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_z} = 0,7778 \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_z} - \hat{a} \hat{a} \hat{a} \hat{\delta} \hat{o}.$$

Рис. 1.

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multyphysics получить эти же результаты методом конечных элементов.

Предварительные настройки:

Для решения задачи используется ANSYS Multiphysics 14.0:



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

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

Меняем чёрный цвет фона на белый следующими действиями:

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

В меню оставить только пункты, относящиеся к прочностным расчётам:

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

При построениях полезно видеть номера точек и линий твердотельной модели, узлов модели конечноэлементной:

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

```
Отметить KP, LINE, NODE ;
```

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

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

Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

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

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

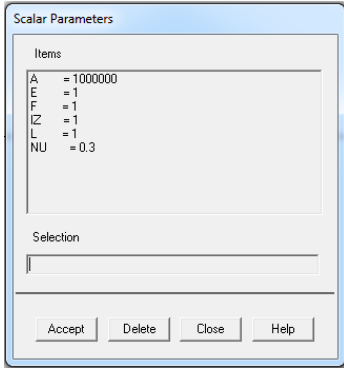
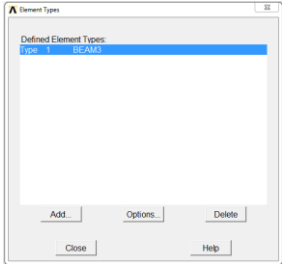
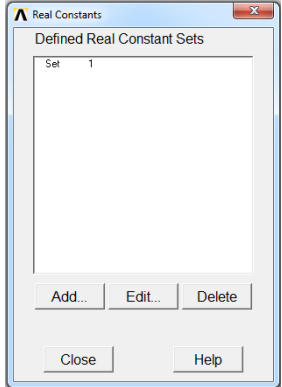
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```

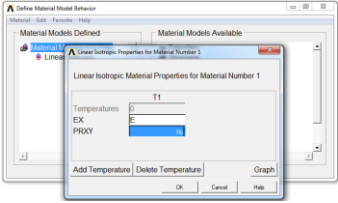
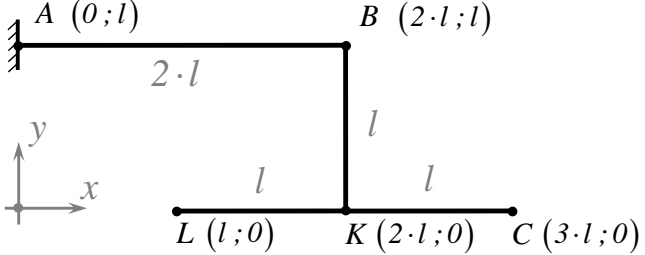
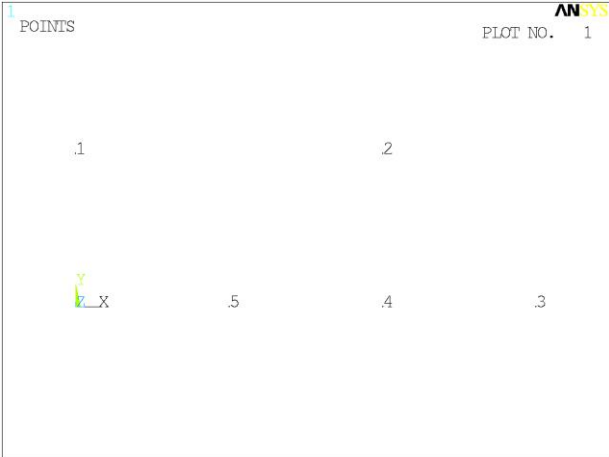
```
Установить «Размер» на «22»> OK
```

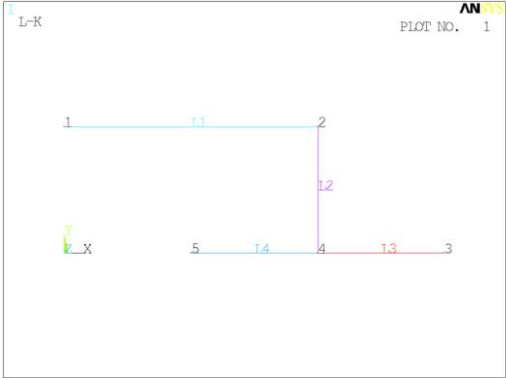
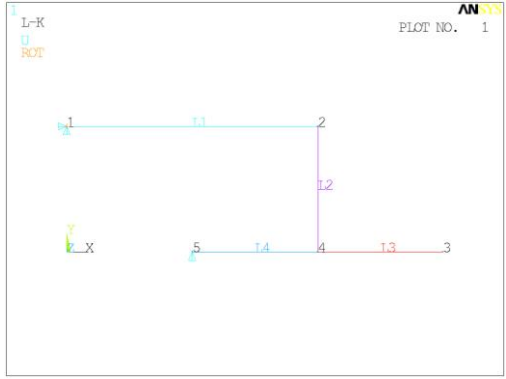
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

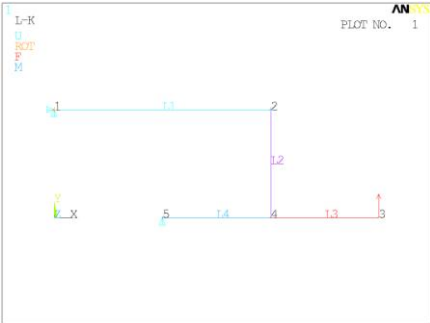


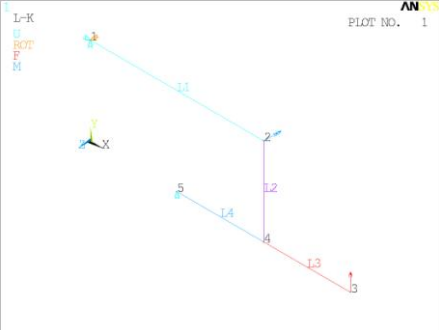
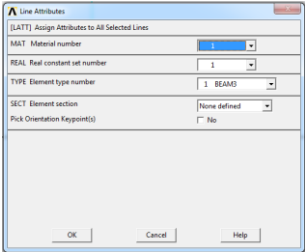
Решение задачи:

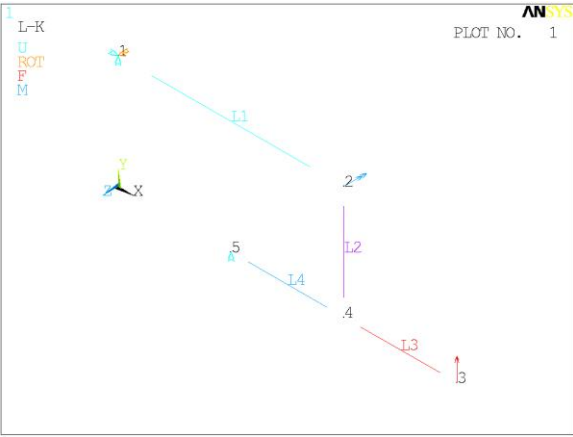
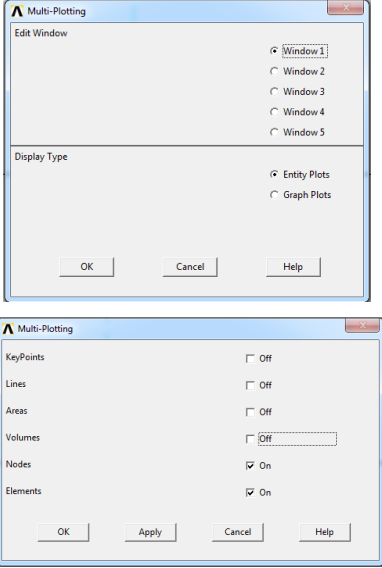
Приравняв E , I_z , F и l к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

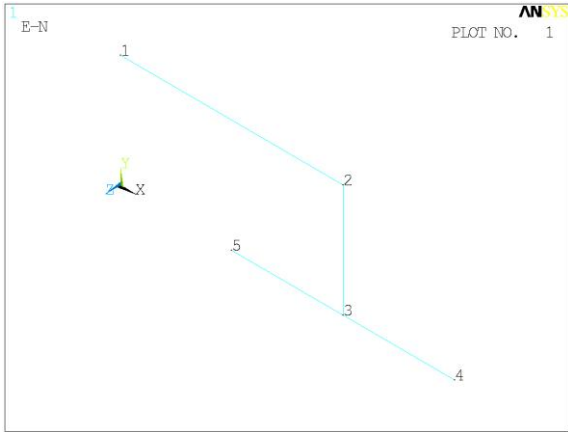
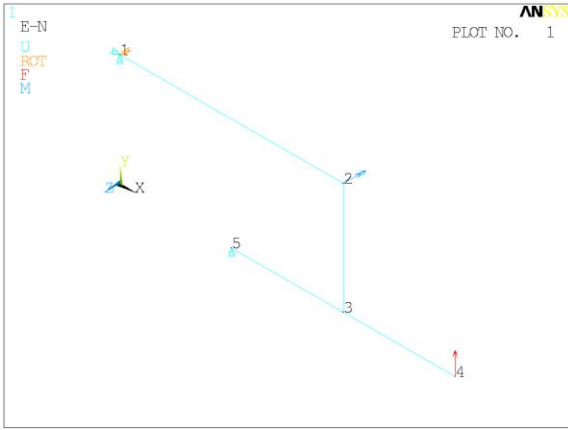
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters > E=1 > Accept > A=1e6 > Accept > Iz=1 > Accept > F=1 > Accept > l=1 > Accept > nu=0.3 > Accept > > Close</p>	
2	<p><i>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский 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>	



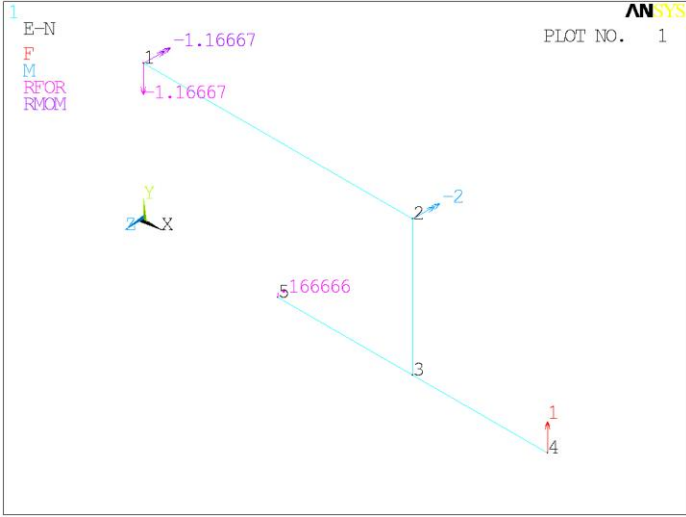
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic ></p> <p>В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu" > OK</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
<p>Твердотельное моделирование</p>		
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, K → 4 и L → 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 2·l, l, 0 > Apply ></p> <p>NPT пишем 3</p> <p>X, Y, Z пишем 3·l, 0, 0 > Apply ></p> <p>NPT пишем 4</p> <p>X, Y, Z пишем 2·l, 0, 0 > Apply ></p> <p>NPT пишем 5</p> <p>X, Y, Z пишем l, 0, 0 > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	



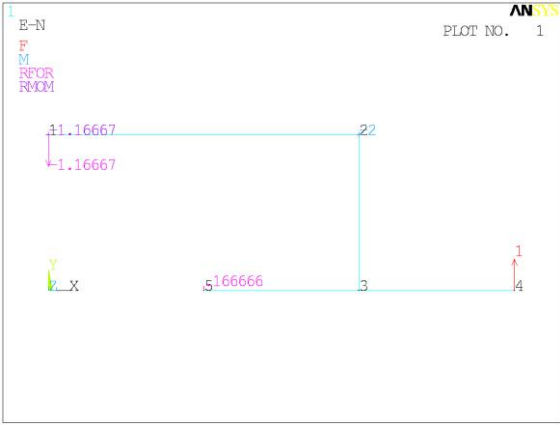
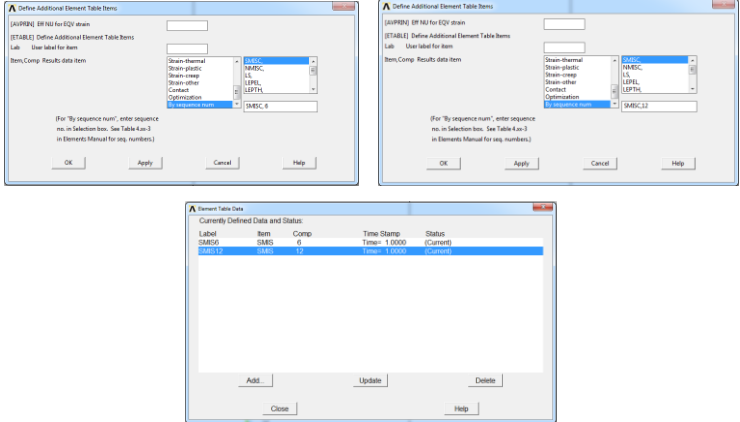
№	Действие	Результат
7	<p><i>Четыре участка – четыре линии:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line ></p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки:</p> <p>1 и 2 2 и 4 4 и 3 5 и 4 > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots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

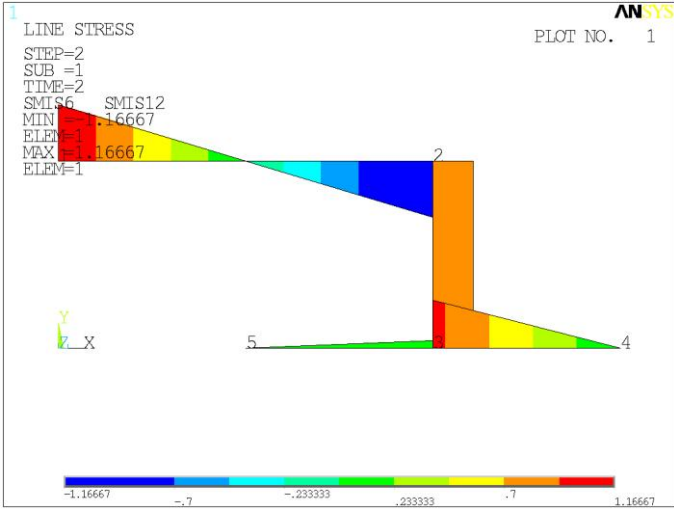

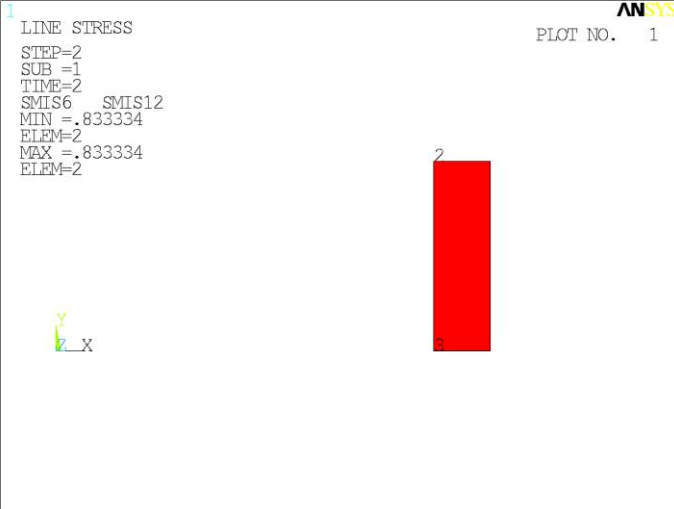
№	Действие	Результат
9	<p><i>Нагрузка:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints > Left mouse button click on 2 keypoint > OK > Lab установить "MZ" VALU пишем $-2 * F * l$ > Apply > Left mouse button click on 3 keypoint > OK > Lab установить "FY" VALU пишем F > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
10	<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;  - автоформат.</p>	
Конечноэлементная модель		
11	<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>	

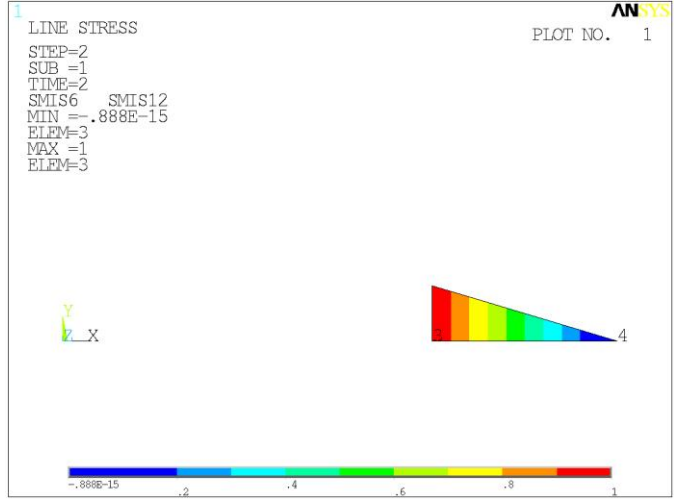
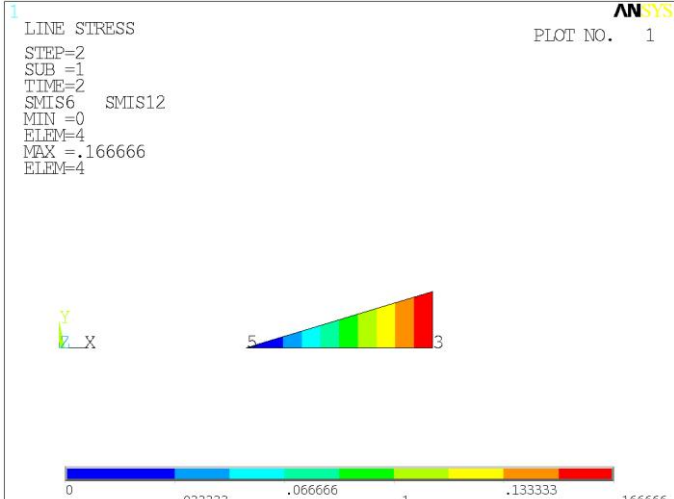
№	Действие	Результат
12	<p><i>Стержень без распределённой нагрузки можно бить одним конечным элементом:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Lines > All Lines > NDIV пишем 1 > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
13	<p><i>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Multi-Plot Controls... > Появляется первое окно Multi-Plotting > OK > Появляется второе окно Multi-Plotting > Оставляем в нём отметки только напротив Nodes и Elements > OK</p>	

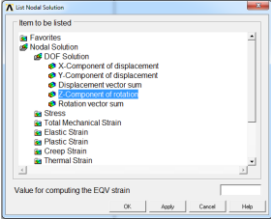
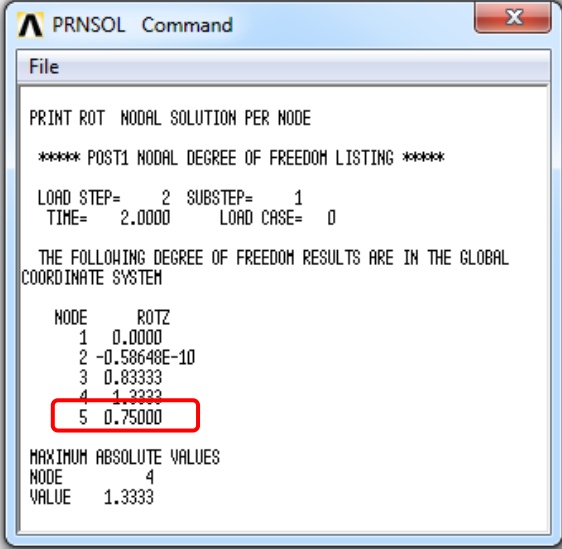
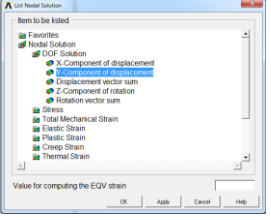
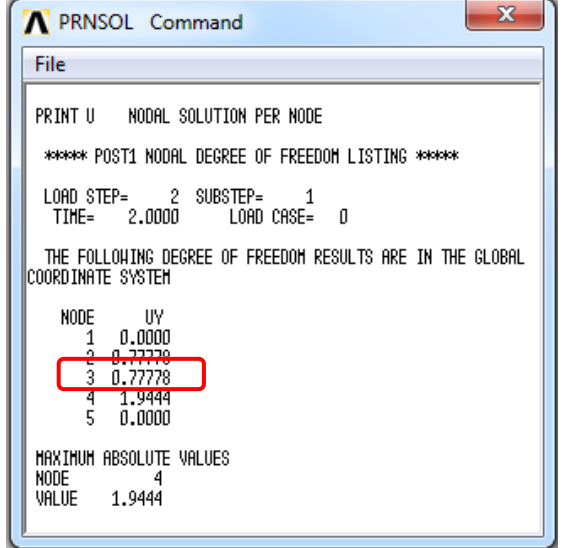
№	Действие	Результат
14	<p><i>Рабиваем линии на элементы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Pick All</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Бирюзовым цветом изображены балочные элементы. Чёрные точки – это их узлы.</p>	
15	<p><i>Переносим на конечноэлементную 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		
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. Белое закрываем, на сером нажимаем ОК. Расчёт пошёл. Ждём.</p> <p>Появится окно «Solution is done!». Закройте это окно. 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" 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 "Off" Rot установить "Off" F установить "Symbol+Value" M установить "Symbol+Value" > OK ></p> <p>В окне "Reactions" 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>При необходимости корректируйте масштаб кнопками  или .</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1</i>. (числа, выделенные синим цветом). В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Красным цветом начерчена внешняя сила; - Синим – внешний момент; - Фиолетовым цветом - вектор реактивного момента; - Малиновым цветом нарисованы реактивные силы. 	

№	Действие	Результат															
18	<p>Возвращаемся к фронтальному виду:</p>  - вид спереди;  - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).																
19	<p>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10 > OK</p>																
20	<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="1559 1145 1928 1366"> <thead> <tr> <th>Label</th> <th>Item</th> <th>Comp</th> <th>Time Stamp</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SMISC6</td> <td>SMISC</td> <td>6</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMISC12</td> <td>SMISC</td> <td>12</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> </tbody> </table>	Label	Item	Comp	Time Stamp	Status	SMISC6	SMISC	6	Time= 1.0000	(Current)	SMISC12	SMISC	12	Time= 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status													
SMISC6	SMISC	6	Time= 1.0000	(Current)													
SMISC12	SMISC	12	Time= 1.0000	(Current)													

№	Действие	Результат
21	<p><i>Прорисовка эпюры внутреннего изгибающего момента:</i></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>На элементе с узлами 1-2 получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1.</i>, участок А-В (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала.</p> <p>На остальных участках цвета хоть и попадают в нужные интервалы, однако конкретные значения высот на эпюре не очевидны. Давайте конечные элементы этих остальных участков выделим поочерёдно и посмотрим отдельно.</p>	 <p>ANSYS LINE STRESS PLOT NO. 1 STEP=2 SUB =1 TIME=2 SMIS6 SMIS12 MIN = -1.16667 ELEM=1 MAX = 1.16667 ELEM=1</p>
22	<p><i>Конечный элемент между узлами 2 и 3:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot Выделяем нужный конечный элемент:</p> <p>U_M > Select > Entities > Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick" Селектор на "From Full" > OK</p>  <p>Кликаем левой кнопкой мыши на стойку > OK</p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>На участке с узлами 2-3 получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1.</i> на участке В-К (только числа, выделенные синим цветом). Значение показывают MIN и MAX.</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M > Select > Everything</p>	 <p>ANSYS LINE STRESS PLOT NO. 1 STEP=2 SUB =1 TIME=2 SMIS6 SMIS12 MIN = -0.833334 ELEM=2 MAX = 0.833334 ELEM=2</p>

№	Действие	Результат
23	<p><i>Конечный элемент между узлами 3 и 4:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>Выделяем нужный конечный элемент:</p> <p>U_M > Select > Entities ></p> <p>Устанавливаем "Elements", "By Num/Pick" и "From Full"</p> <p>> OK</p> <p>Кликаем мышкой на правый нижний ригель</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>На участке с узлами 4-5 получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1</i>. на участке К-С (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала.</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M > Select > Everything</p>	
24	<p><i>Конечный элемент между узлами 6 и 4:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>Выделяем нужный конечный элемент:</p> <p>U_M > Select > Entities ></p> <p>Устанавливаем "Elements", "By Num/Pick" и "From Full"</p> <p>> OK</p> <p>Кликаем мышкой на правый нижний ригель</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>На участке с узлами 6-4 получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1</i>. на участке L-K (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала.</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M > Select > Everything</p>	

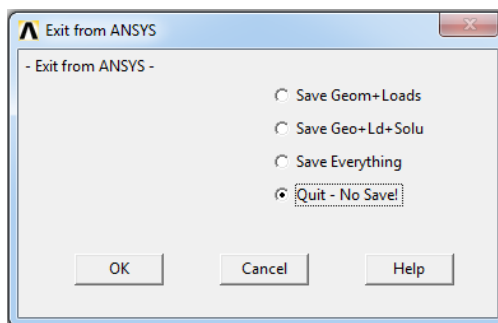
№	Действие	Результат
25	<p>Угол поворота точки L:</p> <p>Видно, что в точке L располагается узел 5 конечноэлементной модели. Посмотрим углы поворота всех узлов модели вокруг оси Z и среди них найдём узел 5:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Z-Component of rotation > OK</p>  <p>Получаем методом конечных элементов:</p> $\Theta_5 = \Theta_L = 0,75 \cdot \frac{F \cdot l^2}{E \cdot I_x} \quad \text{в } \hat{z} \text{ направлении (в } \hat{i} \text{ и } \hat{j} \text{ направлениях);}$ <p>что в точности совпадает с результатом аналитического расчёта (рис. 1).</p>	 <pre> PRNSOL Command File PRINT ROT NODAL SOLUTION PER NODE **** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING **** LOAD STEP= 2 SUBSTEP= 1 TIME= 2.0000 LOAD CASE= 0 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM NODE ROTZ 1 0.0000 2 -0.58648E-10 3 0.83333 4 1.3333 5 0.75000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 4 VALUE 1.3333 </pre>
26	<p>Вертикальное перемещение точки K:</p> <p>В точке K располагается узел 3. Посмотрим перемещения по вертикали всех узлов модели вокруг оси Z и среди них найдём узел 3:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of displacement > OK</p>  <p>Получаем методом конечных элементов:</p> $v_3 = v_K = 0,7778 \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_x} \quad \text{в } \hat{y} \text{ направлении (в } \hat{i} \text{ и } \hat{j} \text{ направлениях);}$ <p>что в точности совпадает с результатом аналитического расчёта (рис. 1).</p>	 <pre> PRNSOL Command File PRINT U NODAL SOLUTION PER NODE **** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING **** LOAD STEP= 2 SUBSTEP= 1 TIME= 2.0000 LOAD CASE= 0 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM NODE UY 1 0.0000 2 0.77778 3 0.77778 4 1.9444 5 0.0000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 4 VALUE 1.9444 </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.