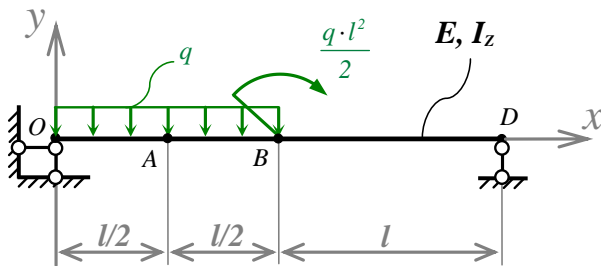


## G-06 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: Шарнирно опёртая по краям балка постоянной жёсткости нагружена распределённой нагрузкой  $q$  и моментом  $q \cdot l^2/2$ .

$E$  – модуль упругости материала;

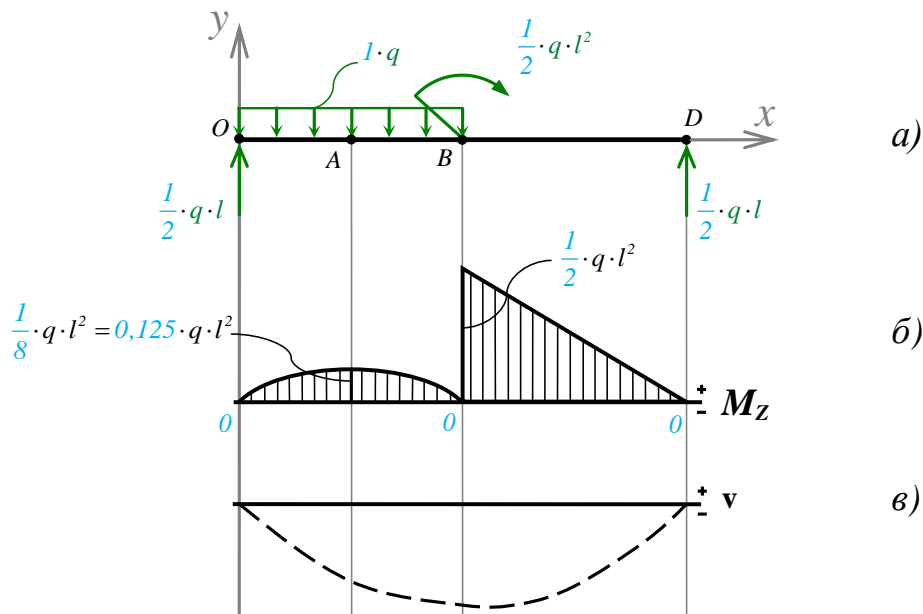
$I_z$  – изгибный момент инерции.

Найти: Эпюру внутреннего изгибающего момента  $M_z$ ;

Форму упругой оси нагруженной балки;

$v_A = ?$ ,  $\theta_B = ?$

В конспекте [G-06](#) аналитически вычисляется эпюра внутреннего изгибающего момента, линейное и угловое перемещения соответствующих точек. Примерный вид изогнутой оси также изобразить нетрудно:



$$v_A = \frac{25}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} = 0,0651 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} \quad - \text{вниз}; \quad \text{з)}$$

$$\theta_B = \frac{1}{16} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I_z} = 0,0625 \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I_z} \quad - \text{по часовой стрелке.} \quad \text{д)}$$

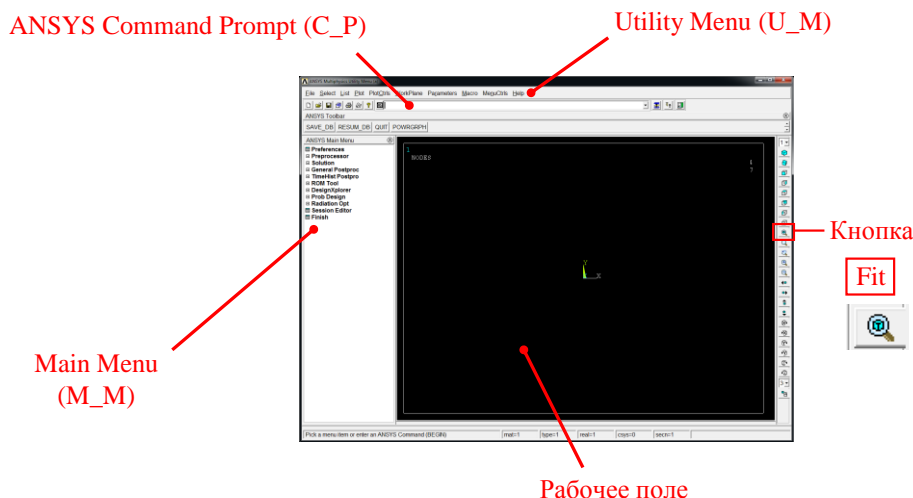
Рис. 1.

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multiphysics получить эти же эпюры методом конечных элементов.

<http://www.tychina.pro/библиотека-задач-1/>

## 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
```

Оставить в меню только пункты, относящиеся к прочностным расчётам:

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

Нумеровать точки и линии 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
```

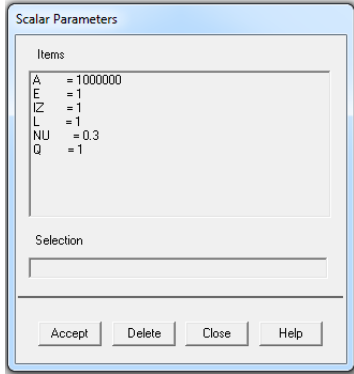
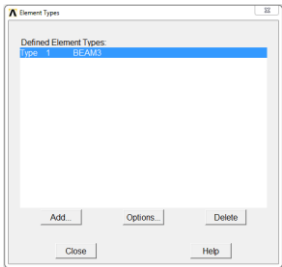
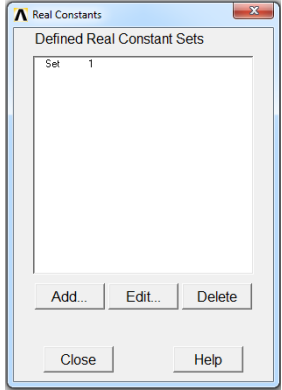
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```

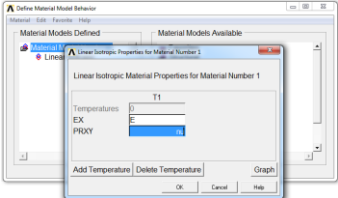
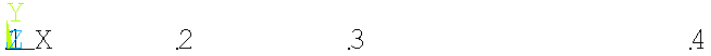
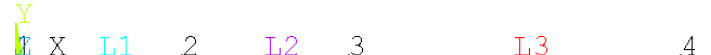
```
Установить «Размер» на «22» > OK
```

Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.



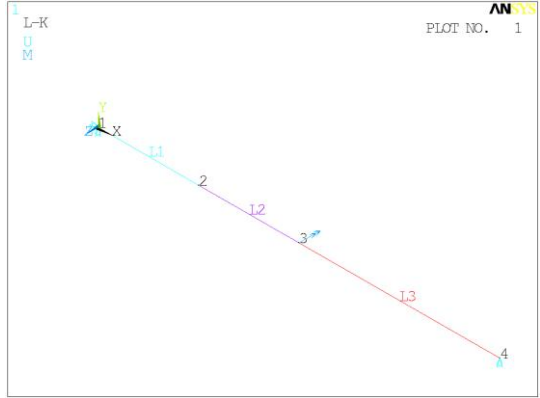
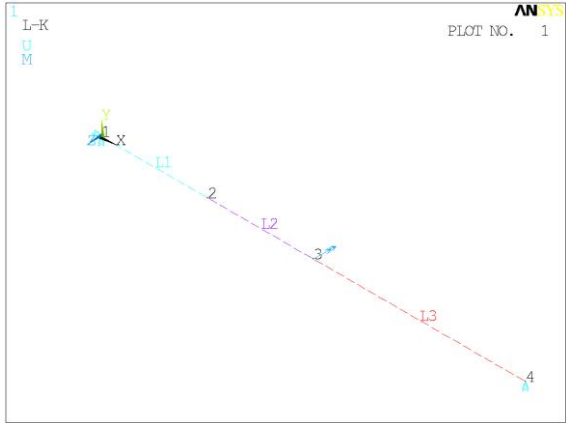
Решение задачи:

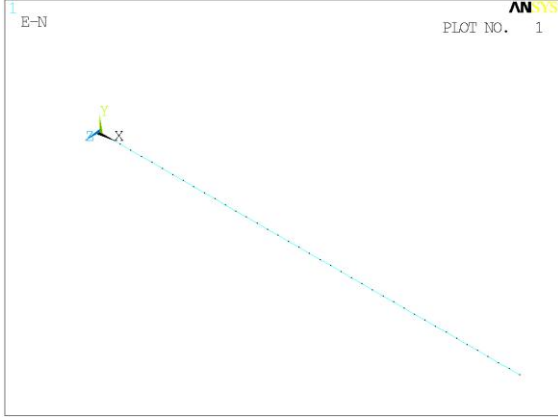
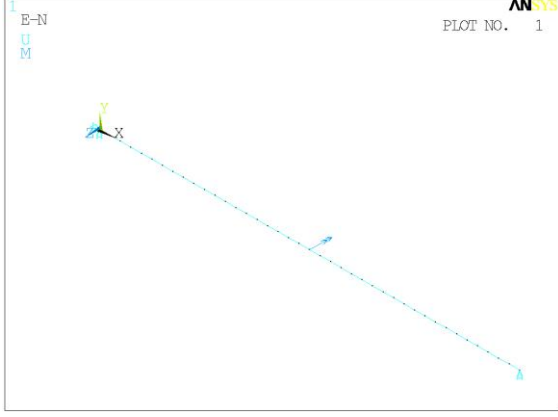
Приравняв  $E$ ,  $I_z$ ,  $q$  и  $l$  к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

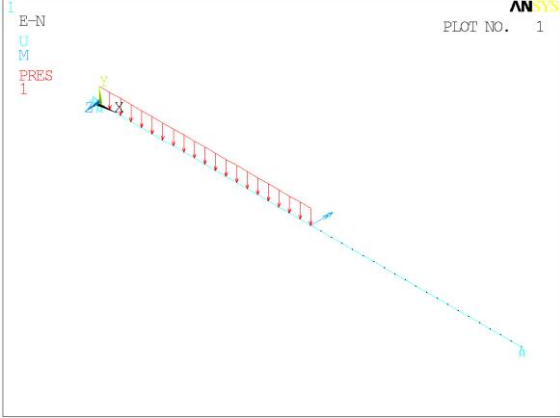
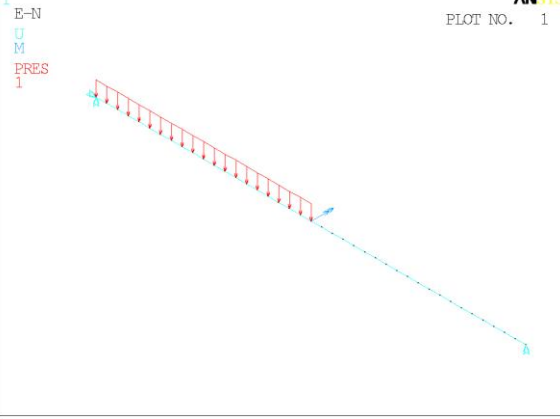
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;            E=1 &gt; Accept &gt;            A=1e6 &gt; Accept &gt;            Iz=1 &gt; Accept &gt;            q=1 &gt; Accept &gt;            l=1 &gt; Accept &gt;            nu=0.3 &gt; Accept &gt;            &gt; Close</p>	
2	<p><i>Первая строчка в таблице конечных элементов – плоский балочный тип BEAM3:</i></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><i>Первая строчка в таблице параметров («реальных констант») выбранного типа конечного элемента: площадь поперечного сечения = A; момент инерции = Iz; высота = l/100.</i></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 «Deine Material Model Behavior».</p>	
<b>Твердотельное моделирование</b>		
5	<p><i>Ключевые точки – границы участков: O → 1, A → 2, B → 3 и D → 4 :</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, 0, 0 &gt; Apply &gt;</p> <p>NPT пишем 2</p> <p>X, Y, Z пишем l/2, 0, 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, 0, 0 &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
6	<p><i>Три участка – три 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</p> <p>2 и 3</p> <p>3 и 4</p> <p>&gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

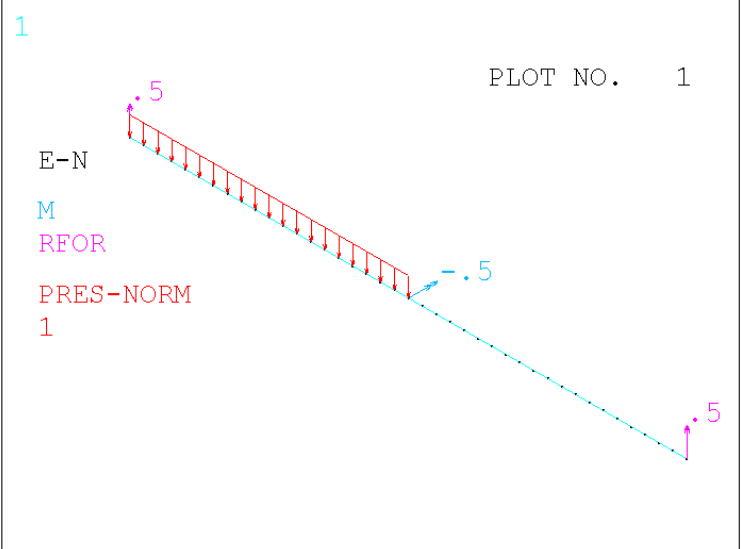
№	Действие	Результат
7	<p><i>Опоры:</i></p> <p>Левая:  M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt;  Structural &gt; Displacement &gt; On Keypoints &gt;  Левой кнопкой мыши нажать на 1 ключевую точку  &gt; OK &gt;  Lab2 установить "UX" и "UY"  &gt; OK</p> <p>Правая:  M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt;  Structural &gt; Displacement &gt; On Keypoints &gt;  Левой кнопкой мыши нажать на 4 ключевую точку  &gt; OK &gt;  Lab2 установить "UY"  &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
8	<p><i>Сосредоточенный внешний момент:</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 "MZ"  VALUE установить "-q*1**2/2"  &gt; OK</p>	



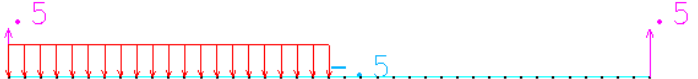
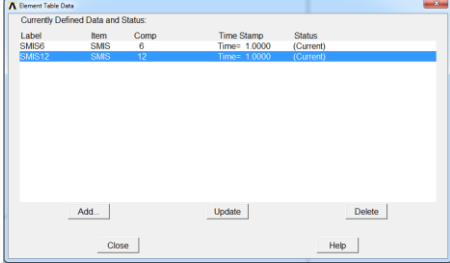
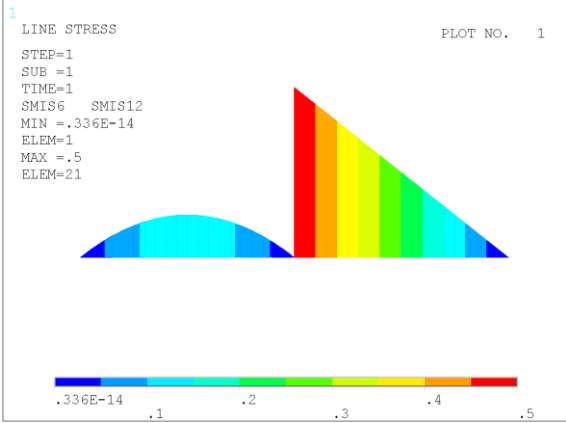
№	Действие	Результат
9	<p><i>Изометрия:</i></p> <p>До сих пор модели мы рассматривали, используя фронтальный вид («сбоку»). Вектор изгибающего момента при этом виден плохо, а его направление не определяется вовсе. Меняем угол зрения: справа от рабочего поля нажимаем кнопки</p> <p> - изометрия;</p> <p> - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).</p>	
<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>	
11	<p><i>Размер конечных элементов:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Size Cntrls &gt; ManualSize &gt; Lines &gt; All Lines &gt; SIZE пишем L/20  &gt; OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

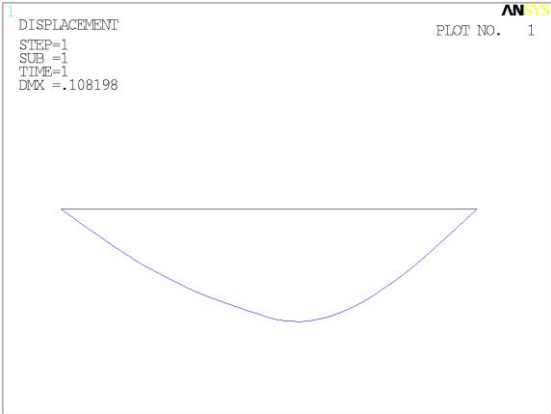
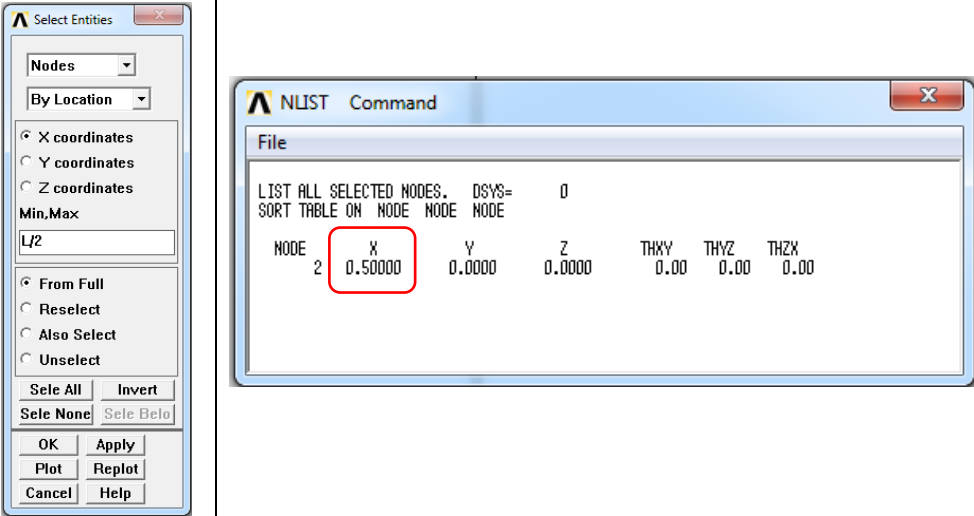
№	Действие	Результат
12	<p><i>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Multi-Plot Controls... &gt;  Появляется первое окно Multi-Plotting  &gt; ОК &gt;  Появляется второе окно Multi-Plotting, оставляем в нём  отметки только напротив Nodes и Elements  &gt; ОК</p>	
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:  U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Бирюзовым цветом изображены балочные элементы. Чёрные точки – это их узлы.</p>	 <p>The screenshot shows a 2D plot of a beam element. The beam is represented by a cyan line with small black dots at its ends, representing nodes. The plot is titled 'E-N' and 'PLOT NO. 1'. A coordinate system with X and Y axes is visible at the top left.</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  &gt; ОК</p>	 <p>The screenshot shows the same beam element as in the previous plot. In addition to the cyan beam and black nodes, there are cyan arrows pointing outwards from the nodes, representing applied loads. The plot is titled 'E-N' and 'PLOT NO. 1'. A coordinate system with X and Y axes is visible at the top left.</p>

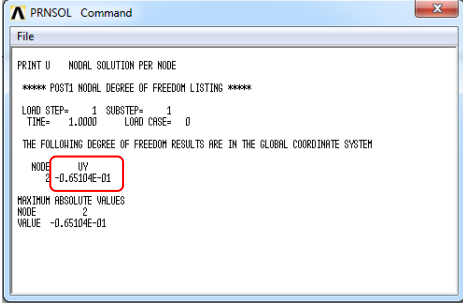
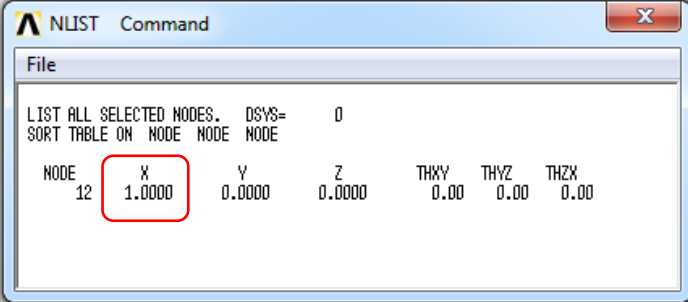
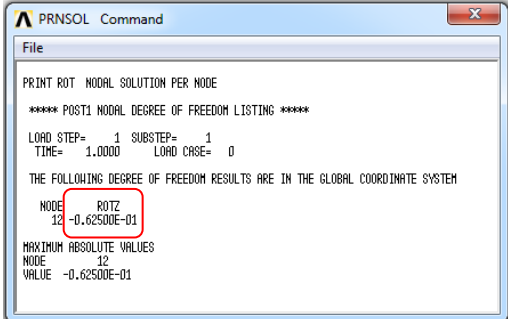
15	<p><i>Поперечная распределённая нагрузка q:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Pressure &gt; On Beams &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши отмечаем элементы первого и второго участков от левого края до вектора внешнего момента</p> <p>&gt; Apply &gt;</p> <p>LKEY пишем 1</p> <p>VAL1 пишем q</p> <p>&gt; ОК</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
16	<p><i>Скрываем оси системы координат:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Window Controls &gt; Window Options &gt; [/Triad] установить "Not Shown"</p> <p>&gt; ОК</p>	
<p><b>Расчёт</b></p>		
17	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M &gt; Solution &gt; Solve &gt; Current LS</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p>	



№	Действие	Результат
<b>Просмотр результатов</b>		
<b>18</b>	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt; [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"  Убираем галочку с "Miscellaneous"  Surface Load Symbols устанавливаем Pressures  Show pres and convect as устанавливаем Arrows  &gt; OK &gt;</p> <p><b>В окне "Applied Boundary Conditions"</b></p> <p>U установить "Off"  Rot установить "Off"  F установить "Symbol+Value"  M установить "Symbol+Value"  &gt; OK &gt;</p> <p><b>В окне "Reactions"</b></p> <p>NFOR установить "Off"  NMOM установить "Off"  RFOR установить "Symbol+Value"  RMOM установить "Symbol+Value"  &gt; OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Elements</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1а</i>. (числа, выделенные синим цветом).  В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Красным цветом начерчена распределённая нагрузка;</li> <li>- Синим цветом начерчен вектор внешнего момента;</li> <li>- Малиновым цветом нарисованы реактивные силы.</li> </ul>	

№	Действие	Результат
19	<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>	
20	<p><i>Фронтальный вид:</i></p> <p> - вид спереди;  - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).</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>	
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; LabI установить "SMIS6" LabJ установить "SMIS12" Fact пишем 1 &gt; OK</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1в.</i> (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала. Можете рисунок эпюры сделать крупнее: коэффициент Fact установите 4.</p>	

<p><b>23</b> <i>Форма упругой оси нагруженной балки:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; &gt; Deformed Shape &gt; KUND установить Def + undeformed &gt; OK</p> <p>Это точная форма изогнутой оси. Сравните с приближённой на <i>рис. 1в</i>.</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Displacement Scaling &gt; DMULT устанавливаем "User specified" User specified factor увеличиваем в пять с половиной раз с 0.9 до 5 &gt; OK</p>																																									
<p><b>24</b> <i>Выделяем мышью узел конечноэлементной модели, соответствующий точке А:</i></p> <p>U_M &gt; Select &gt; Entities... &gt; В окошке Select Entities установить "Nodes" "By Location" "By Location" Точку верхнего селектора установить на «X coordinates» «X coordinates» В окне Min,Max пишем координату X точки А: "L/2" Точку нижнего селектора установить на «From Full» &gt; OK</p> <p>Проверяем, действительно ли выделен узел с координатой <math>X=L/2=0,5</math></p> <p>U_M &gt; List &gt; Nodes... &gt; OK</p> <p>Видим, кстати, что это узел №2. Закрываем окно NLIST Command</p>	 <table border="1" data-bbox="1375 879 2114 1190"> <thead> <tr> <th>FILE</th> <th colspan="7">NLIST Command</th> </tr> <tr> <th>FILE</th> <th colspan="7">LIST ALL SELECTED NODES. DSYS= 0</th> </tr> <tr> <th>FILE</th> <th colspan="7">SORT TABLE ON</th> </tr> <tr> <th>FILE</th> <th>MODE</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th>THXY</th> <th>THYZ</th> <th>THZX</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FILE</td> <td>2</td> <td>0.50000</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	FILE	NLIST Command							FILE	LIST ALL SELECTED NODES. DSYS= 0							FILE	SORT TABLE ON							FILE	MODE	X	Y	Z	THXY	THYZ	THZX	FILE	2	0.50000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
FILE	NLIST Command																																								
FILE	LIST ALL SELECTED NODES. DSYS= 0																																								
FILE	SORT TABLE ON																																								
FILE	MODE	X	Y	Z	THXY	THYZ	THZX																																		
FILE	2	0.50000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00																																		

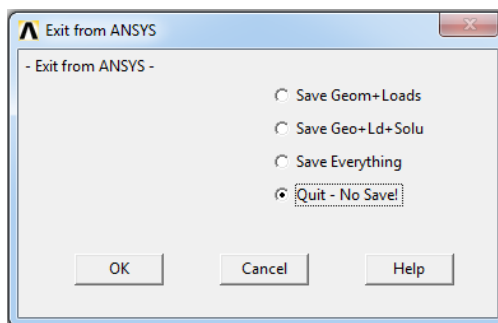
25	<p><i>Вертикальное перемещение узла №2:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt; Nodal Solution &gt; DOF Solution &gt; Y-Component of displacement &gt; OK</p> <p>Пропечаталась величина вертикального перемещения: UY=-0,0651</p> <p>Отрицательная, значит, вниз. Результат совпадает с <i>рис. 1г.</i></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 2      -0.6510E-01 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE      2 VALUE    -0.6510E-01 </pre>
26	<p><i>Выделяем мышью узел конечноэлементной модели, соответствующий точке В:</i></p> <p>U_M &gt; Select &gt; Entities... &gt;</p> <p>В окошке Select Entities установить "Nodes"</p> <p>"By Location"</p> <p>Точку верхнего селектора установить на X coordinates»</p> <p>В окне Min,Max пишем координату X точки В: "L"</p> <p>Точку нижнего селектора установить на «From Full»</p> <p>&gt; OK</p> <p>Проверяем, действительно ли выделен узел с координатой X=L/2=0,5</p> <p>U_M &gt; List &gt; Nodes... &gt; OK</p> <p>Видим, кстати, что это узел №12. Закрываем окно NLIST Command</p>	 <pre> NLIST Command File LIST ALL SELECTED NODES.  DSYS= 0 SORT TABLE ON NODE NODE NODE      X      Y      Z      THXY  THYZ  THZX 12      1.0000  0.0000  0.0000  0.00  0.00  0.00 </pre>
27	<p><i>Угол поворота узла №12:</i></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; OK</p> <p>Пропечаталась величина углового перемещения: ROTZ=-0,625</p> <p>Отрицательная, значит – по часовой стрелке. Результат совпадает с <i>рис. 1д.</i></p> <p>Выделяем всё: U_M &gt; Select &gt; Everything</p>	 <pre> PRNSOL Command File PRINT ROT  NODAL SOLUTION PER NODE ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ***** LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM NODE      ROTZ 12      -0.62500E-01 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE      12 VALUE    -0.62500E-01 </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.