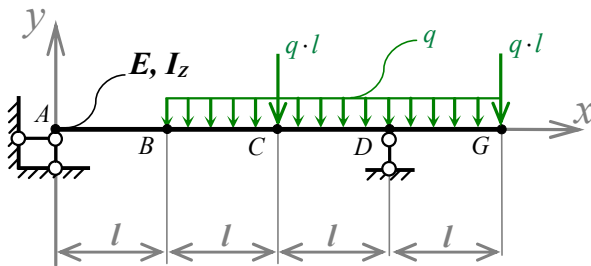


## G-11 (ANSYS)

Формулировка задачи:

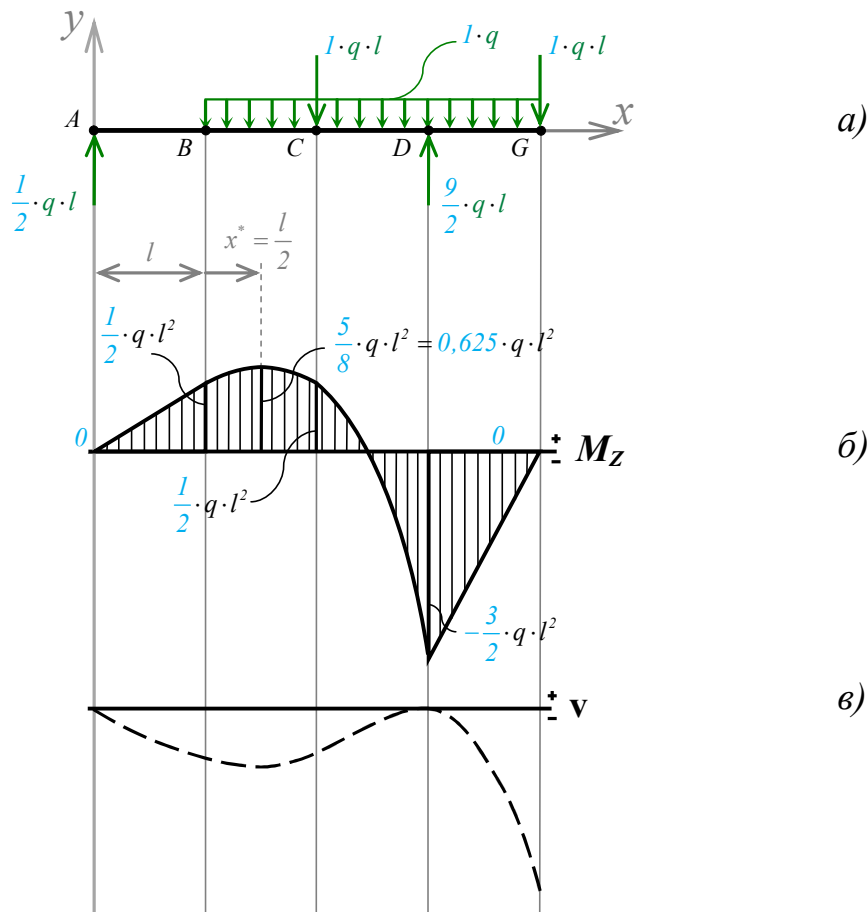


Дано: Стержень постоянной жёсткости, шарнирно опёртый, нагружен распределённой силой  $q$  и сосредоточенными силами  $q \cdot l$ .  
 $E$  – модуль упругости материала;  
 $I_z$  – изгибный момент инерции.

Построить: Эпюру внутренней перерезывающей силы  $Q_y$ ;

Эпюру внутреннего изгибающего момента  $M_z$ .

Аналитический расчёт (см. G-11) даёт следующие решения:



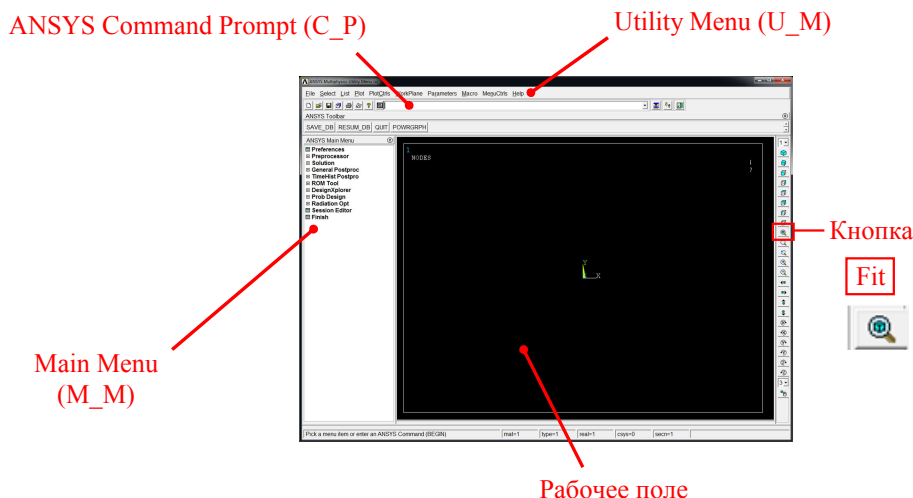
$$\theta_G = \frac{13}{18} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I_z} = 0,7222 \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I_z} \text{ – против часовой стрелки.} \quad \text{в)}$$

Рис. 1.

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multyphysics получить эти же эпюры 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
```

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
```

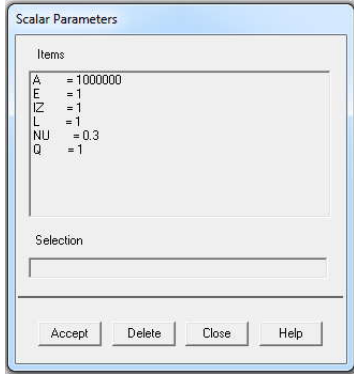
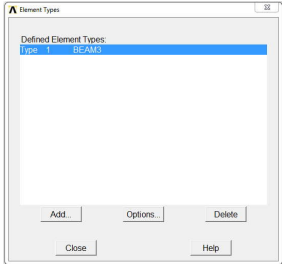
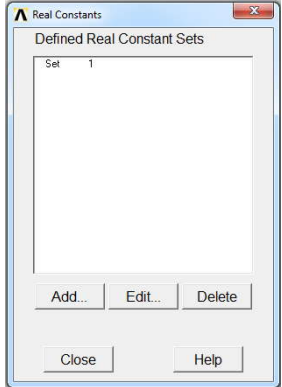
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```

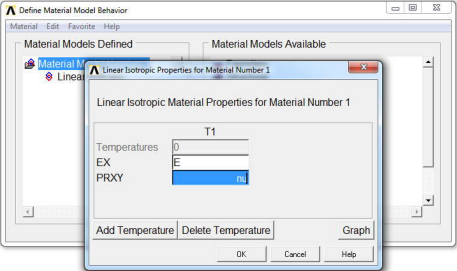


```
Установить «Размер» на «22» > OK
```

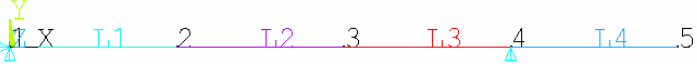
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

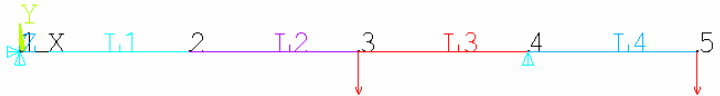



Решение задачи:

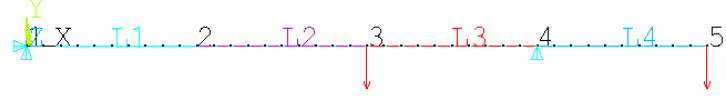
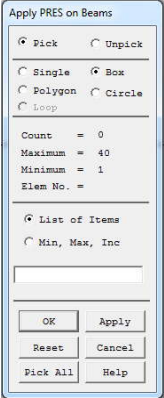
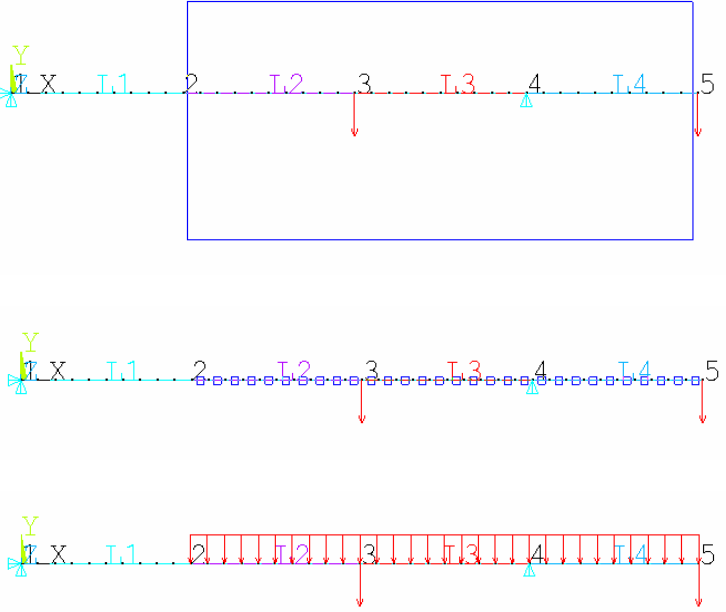
Приравняв  $E$ ,  $I_z$ ,  $q$  и  $l$  к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

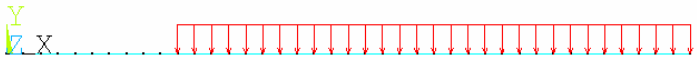
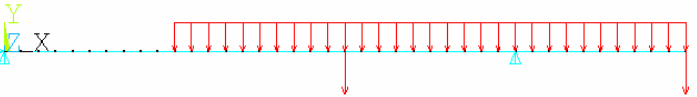
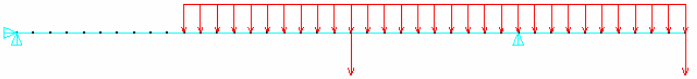
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;            E=1 &gt; Accept &gt;            A=1e6 &gt; Accept &gt;            Iz=1 &gt; Accept &gt;            q=1 &gt; Accept &gt;            l=1 &gt; Accept &gt;            nu=0.3 &gt; Accept &gt;            &gt; Close</p>	
2	<p><i>Первая строка 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 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 &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>Ключевые точки – границы участков: A → 1, B→2, C→3, D→4 и G→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 0,0,0 &gt; Apply &gt;</p> <p>NPT пишем 2</p> <p>X,Y,Z пишем 1,0,0 &gt; Apply &gt;</p> <p>NPT пишем 3</p> <p>X,Y,Z пишем 2*1,0,0 &gt; Apply &gt;</p> <p>NPT пишем 4</p> <p>X,Y,Z пишем 3*1,0,0 &gt; OK</p> <p>NPT пишем 5</p> <p>X,Y,Z пишем 4*1,0,0 &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p>	

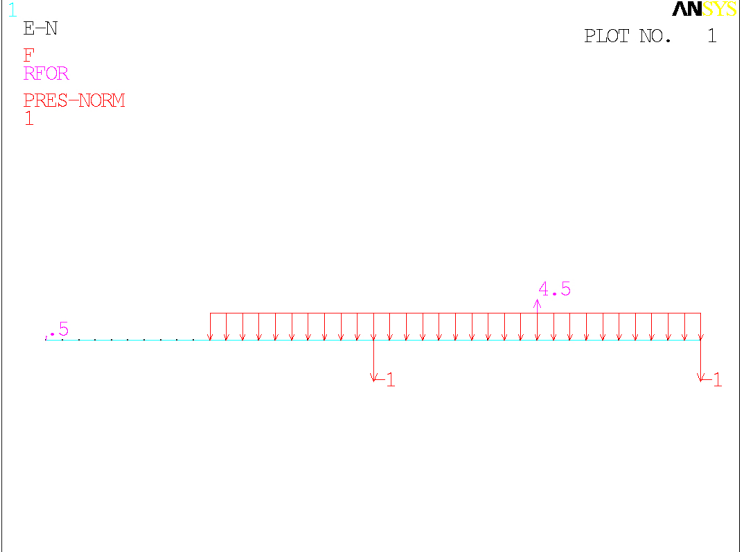
№	Действие	Результат
№	Действие	Результат
6	<p><i>Четыре участка – четыре линии:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Lines &gt; Lines &gt; Straight Line &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки:</p> <p>1 и 2 2 и 3 3 и 4 4 и 5 &gt; ОК</p>	
7	<p><i>Опоры:</i></p> <p><b>Левая:</b></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 1 ключевую точку &gt; ОК &gt;</p> <p>Lab2 установить "UX" Lab2 установить "UY" &gt; ОК</p> <p><b>Правая:</b></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 4 ключевую точку &gt; ОК &gt;</p> <p>Lab2 установить "UY" &gt; ОК</p>	

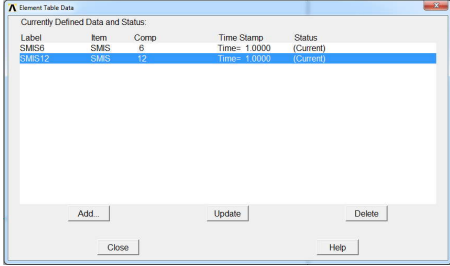
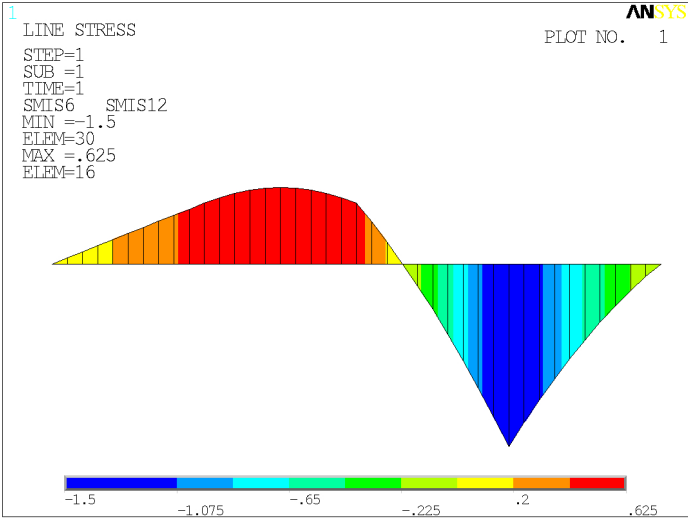
№	Действие	Результат
8	<p><i>Сосредоточенные силы:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Force/Moment &gt; On Keypoints &gt;             Left mouse button click on 3 and 5 key points &gt; OK &gt;             Lab set "FY" &lt;br&gt;           VALUE set "-q*1" &lt;br&gt;           &gt; OK</p>	
<b>Конечноэлементная модель</b>		
9	<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 set "1" &lt;br&gt;           REAL set "1" &lt;br&gt;           TYPE set "1 BEAM3" &lt;br&gt;           &gt; OK</p>	
10	<p><i>Размер элементов:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Size Cntrls &gt; ManualSize &gt; Lines &gt; All Lines &gt; SIZE set L/10 &lt;br&gt;           &gt; OK</p> <p>Update image: U_M &gt; Plot &gt; Lines &lt;br&gt;           If necessary, correct the scale:  или .</p>	

№	Действие	Результат
11	<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>Видим сразу две модели – твердотельную и конечноэлементную.</p>	
12	<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>В появившейся панельке Apply PRES on Beams отмечаем "Box" на селекторе, потом мышью растягиваем прямоугольник, захватывающий последние три участка балки – от точки 2 до точки 5</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>LKEY пишем 1</p> <p>VALI пишем q</p> <p>&gt; OK</p> 	

№	Действие	Результат
13	<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;  &gt; OK &gt;</p> <p>Появляется второе окно Multi-Plotting &gt;  Оставляем в нём отметки только напротив Nodes и Elements &gt;  &gt; OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Теперь видим только конечноэлементную модель.</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; OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
15	<p><i>Скрываем оси системы координат:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Window Controls &gt; Window Options &gt;  [/Triad] установить "Not Shown"  &gt; OK</p>	
<b>Расчёт</b>		
16	<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>	

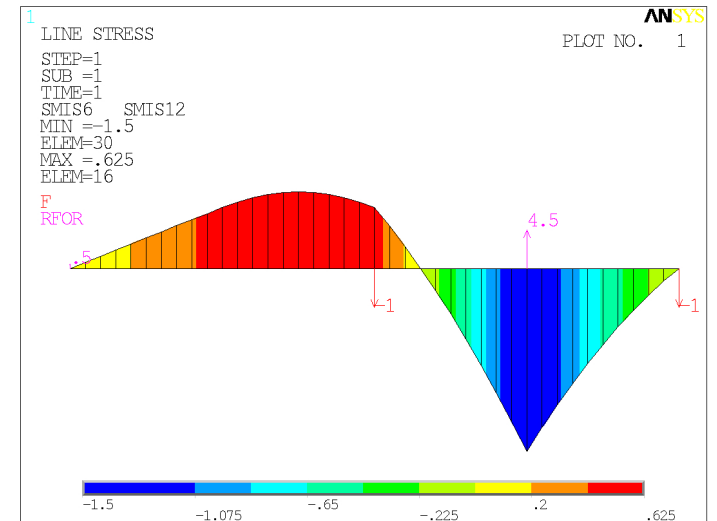


№	Действие	Результат
<b>Просмотр результатов</b>		
<b>17</b>	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt;  [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"  Убираем галочку с "Miscellaneous"  Surface Load Symbols устанавливаем Pressures  Show pres and convect as устанавливаем Arrows  &gt; OK &gt;</p> <p><b>В окне "Applied Boundary Conditions"</b>  U установить "Off"  Rot установить "Off"  F установить "Symbol+Value"  M установить "Symbol+Value"  &gt; OK &gt;</p> <p><b>В окне "Reactions"</b>  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:  - Красным цветом начерчены внешние силы, сосредоточенные и распределённые;  - Малиновым цветом нарисованы реактивные силы.</p>	 <p>The screenshot shows the ANSYS interface with a plot of a beam. The plot displays a horizontal beam with a distributed load (red arrows) and point loads (magenta arrows). The reaction forces are shown as red arrows at the ends of the beam. The plot is titled 'E-N' and 'PLOT NO. 1'. The legend indicates 'F', 'RFOR', 'PRES-NORM', and '1'. Numerical values like '4.5' and '1' are visible on the plot.</p>

№	Действие	Результат
18	<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>	
19	<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>Смотрим таблицу результатов: M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Close</p>	
20	<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 2 или 3.</p>	

21

Для того, чтобы лучше понимать, каким точкам стержня какое значение эюры соответствует, повторите действие №17. Увидите, совмещённые с эюрой внешние силы (кроме распределённых) и реакции.



22

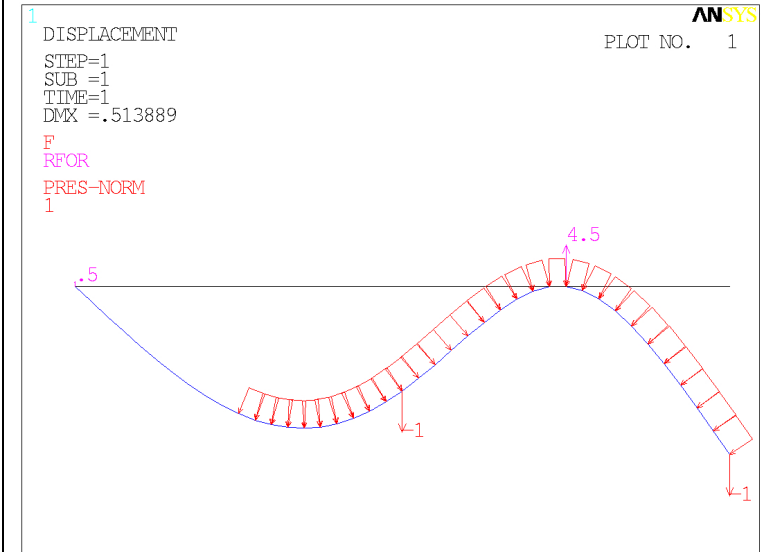
Форма упругой оси нагруженной балки:

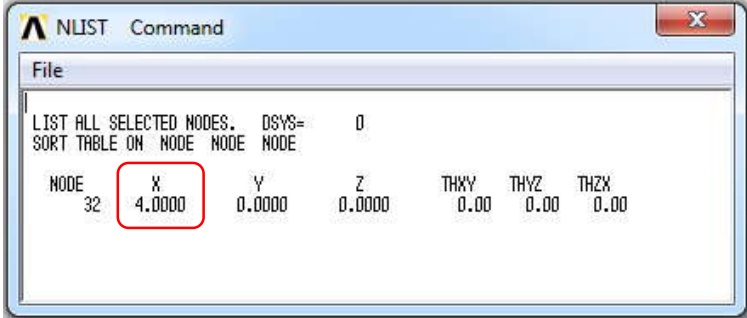
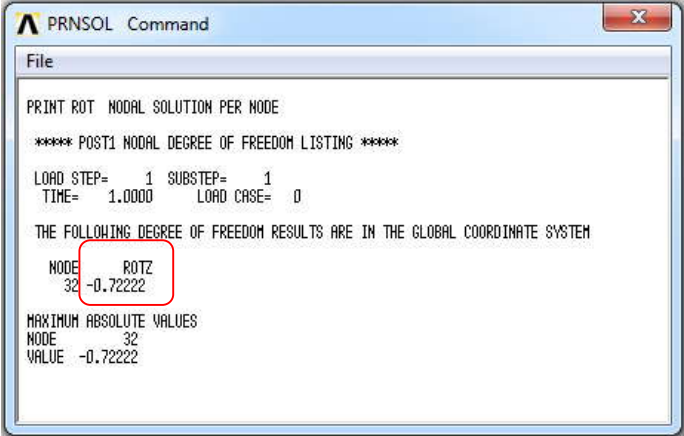
M\_M > General Postproc > Plot Results >  
> Deformed Shape >  
KUND установить Def + undeformed  
> OK

Это точная форма изогнутой оси. Сравните с приближённой на *рис. 1в*.

Для наглядности увеличиваем масштаб:

U\_M > PlotCtrls > Style > Displacement Scaling >  
DMULT устанавливаем "User specified"  
User specified factor увеличиваем в пять раз с 0.389 до 2  
> OK



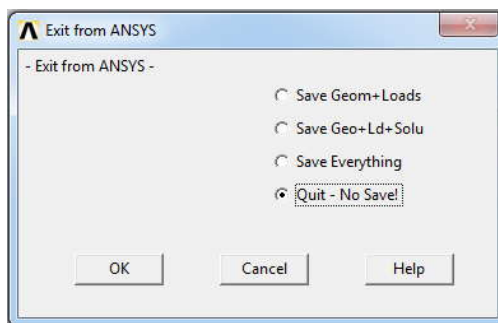
<p>23</p>	<p>Выделяем мышью узел конечноэлементной модели, соответствующий точке G:</p> <pre>U_M &gt; Select &gt; Entities... &gt; В окошке Select Entities установить "Nodes" "By Num/Pick" Точку селектора установить на «From Full» &gt; OK &gt;</pre> <p>Левой кнопкой мыши кликнуть на точку G на деформированной форме (правая точка формы). Кстати, при этом в окошке Select nodes припишется номер узла в этой точке «Node No. = 32» &gt; OK</p> <p>Проверяем, действительно ли выделен узел с координатой <math>X=4*l=2</math></p> <pre>U_M &gt; List &gt; Nodes... &gt; OK</pre> <p>Закрываем окно NLIST Command</p>	 <p>The screenshot shows the 'NLIST Command' dialog box with the following text:</p> <pre>LIST ALL SELECTED NODES.  DSYS= 0 SORT TABLE ON  NODE  NODE  NODE NODE 32  X 4.0000  Y 0.0000  Z 0.0000  THXY 0.00  THYZ 0.00  THZX 0.00</pre>
<p>24</p>	<p>Угол поворота узла №32:</p> <pre>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt; Nodal Solution &gt; DOF Solution &gt; Z-Component of rotation &gt; OK</pre> <p>Пропечаталась величина углового перемещения:</p> <p>ROTZ=0,7222</p> <p>Положительная, значит – против часовой стрелки. Результат совпадает с <i>рис. 1д</i>.</p> <p>Выделяем всё: <pre>U_M &gt; Select &gt; Everything</pre></p>	 <p>The screenshot shows the 'PRNSOL Command' dialog box with the following text:</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 32 -0.72222 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 32 VALUE -0.72222</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.