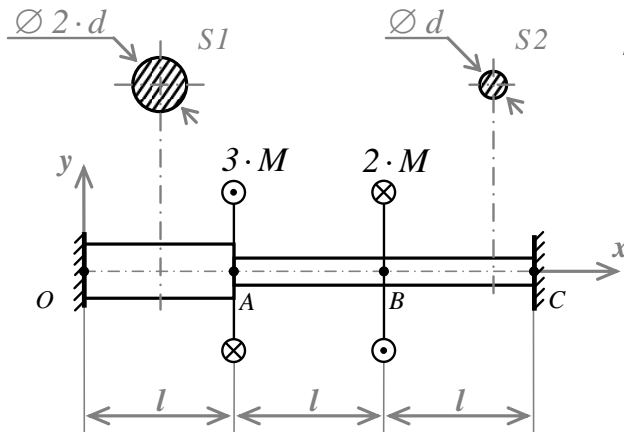


## E-01 (ANSYS)

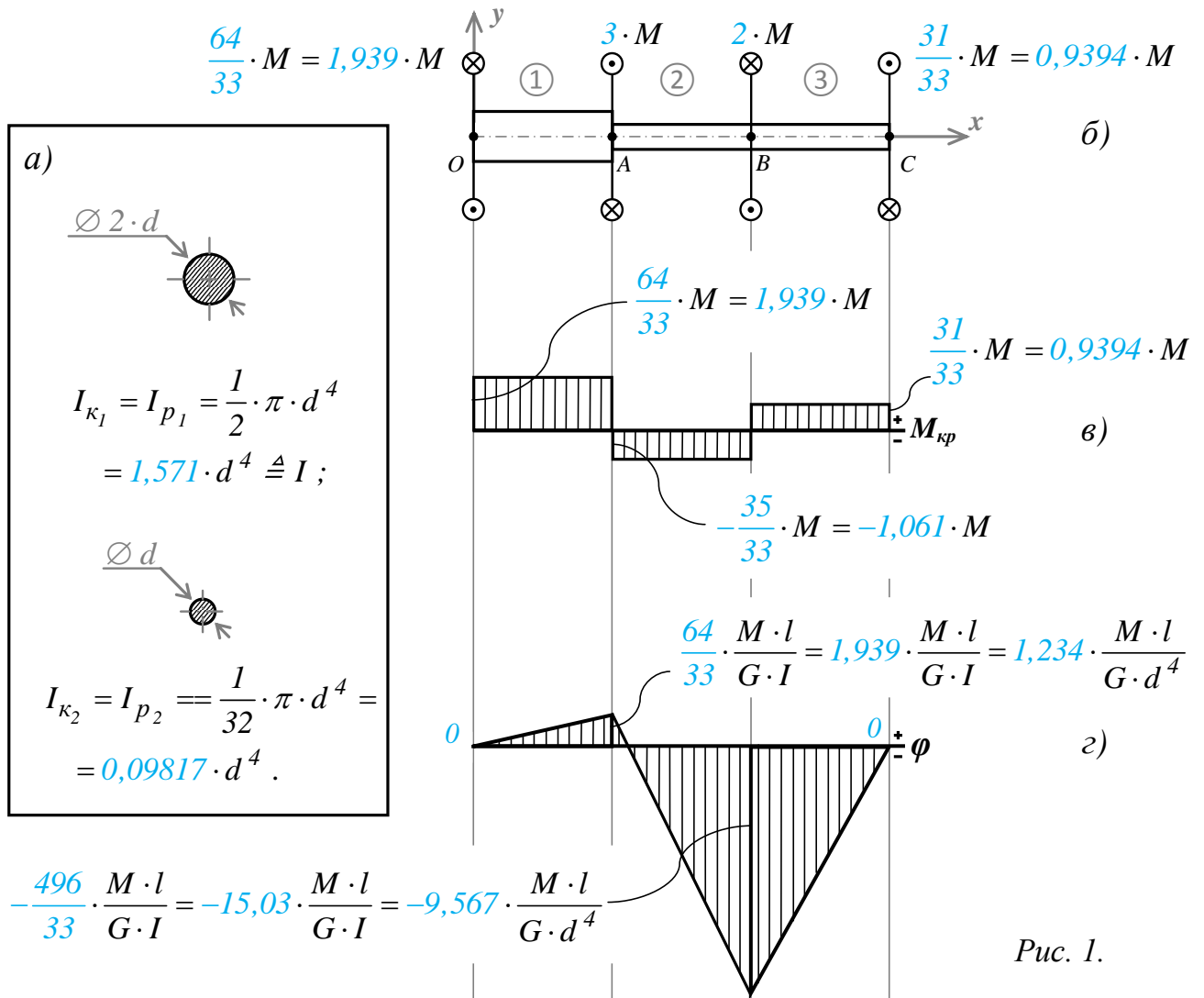
Формулировка задачи:



Дано: Стержень между двумя заделками нагружен сосредоточенными внешними крутящими моментами..  
 $G$  – модуль сдвига материала.

Найти: эпюры  $M_{кр}$ ,  $\varphi$ .

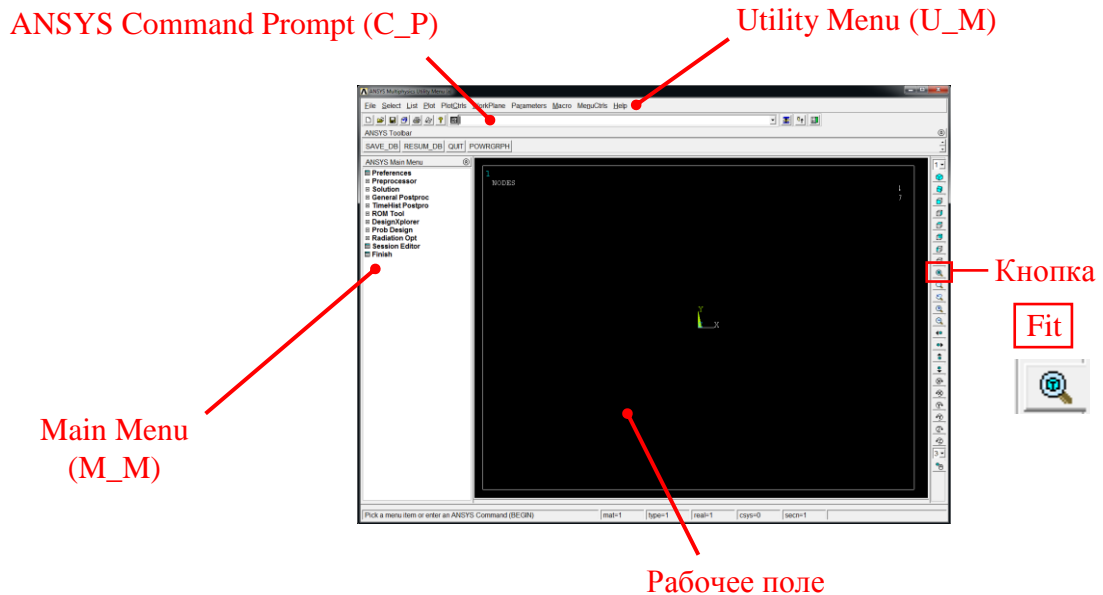
Аналитический расчёт (см. [E-01](#)) даёт следующие решения:



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

## Предварительные настройки:

Для решения задачи используется ANSYS Multiphysics 14.0:

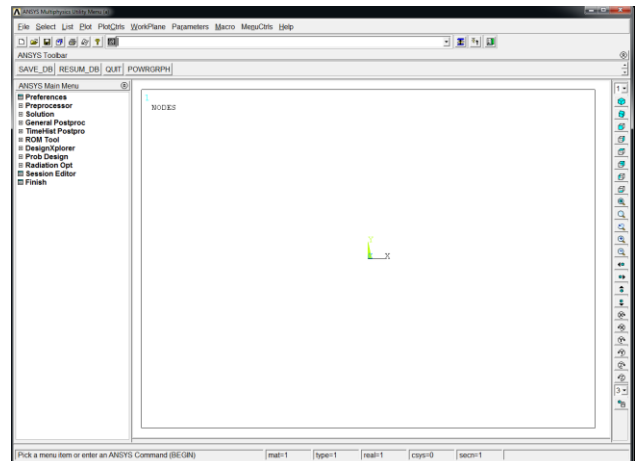


С меню M\_M и U\_M работают мышью, выбирая нужные опции.

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

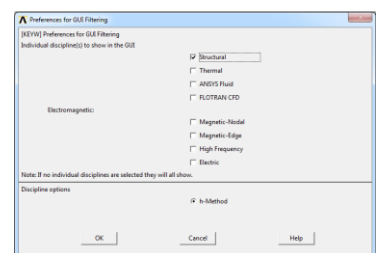
Чёрное рабочее поле не всегда приятно для глаза. Кроме того, оно неудобно для печати рисунков. Меняем чёрный цвет фона на белый следующими действиями:

U\_M > PlotCtrls > Style > Colors  
> Reverse Video



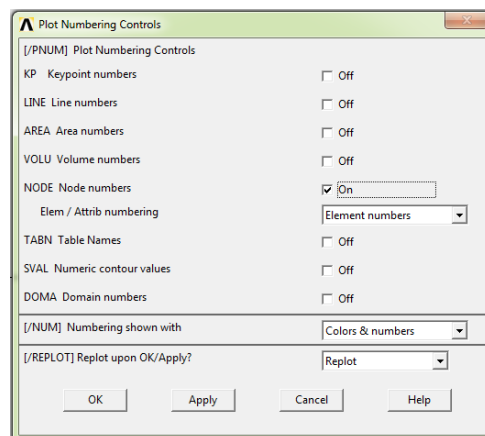
Убрать пункты меню, относящиеся к расплавам, магнитам и так далее, оставить только относящиеся к прочностным расчётам:

M\_M > Preferences > Отметить "Structural" > OK



При построениях полезно видеть номера узлов и номера конечных элементов (один участок – один конечный элемент):

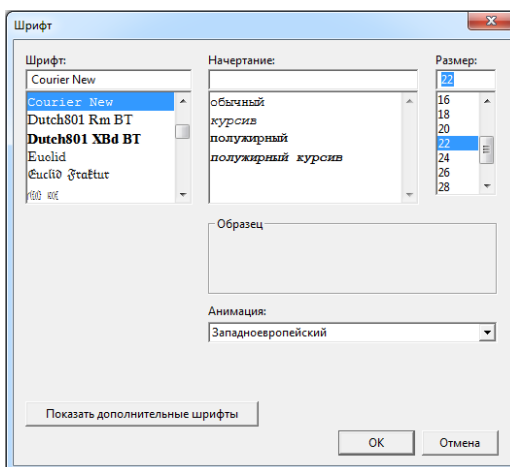
```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить NODE ;
Установить Elem на "Element numbers";
Установить [/NUM] на "Colors&numbers"
> ОК
```



Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

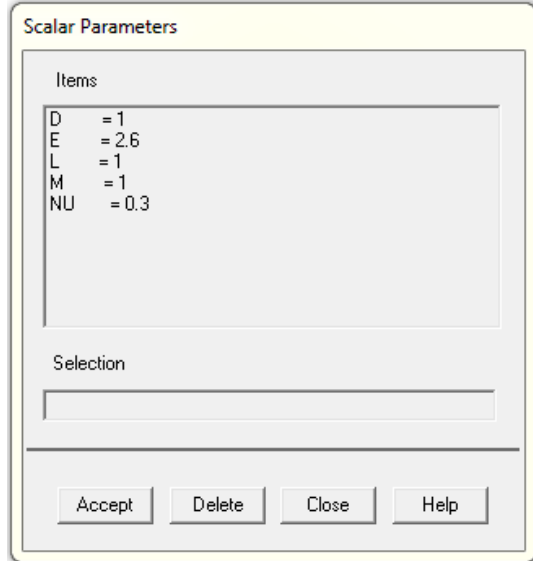
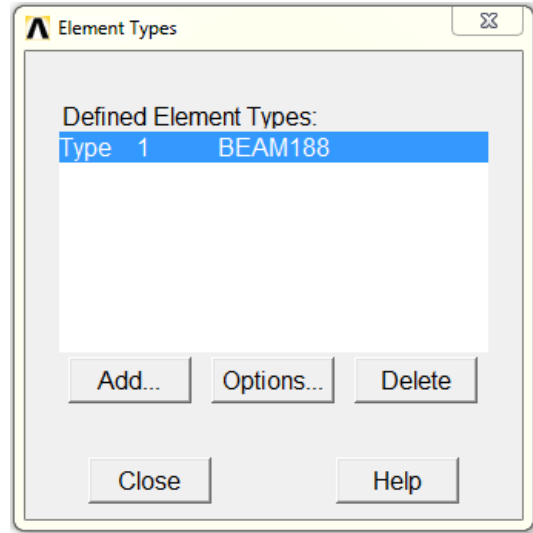
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >
Установить «Размер» на «22»
> ОК
```

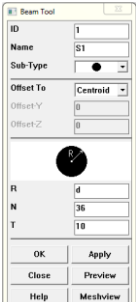
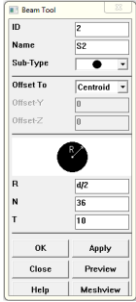
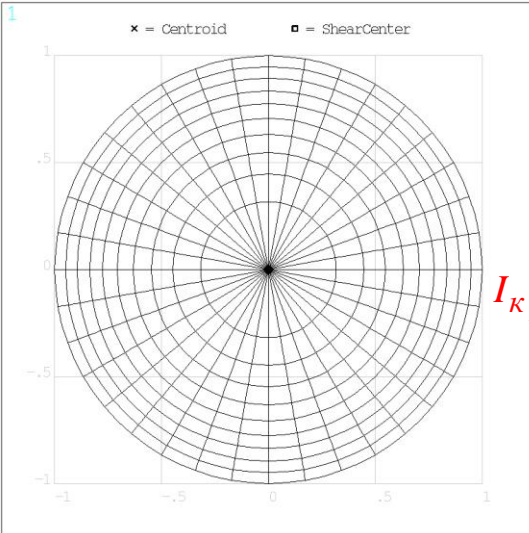
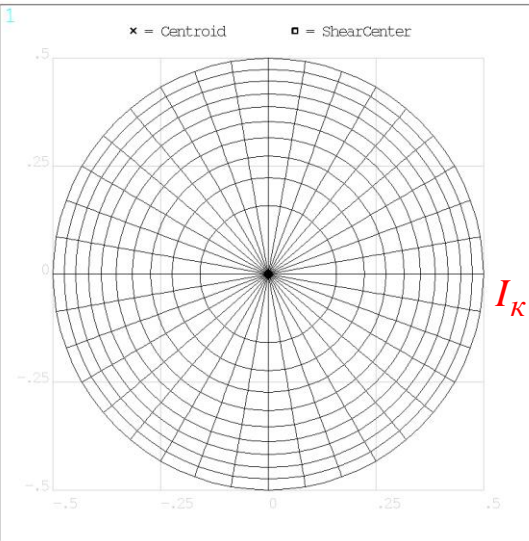
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
Установить «Размер» на «22»
> ОК
```

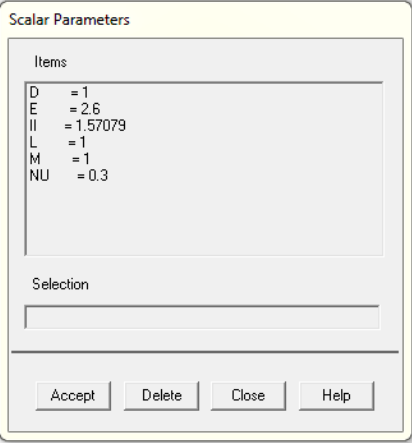
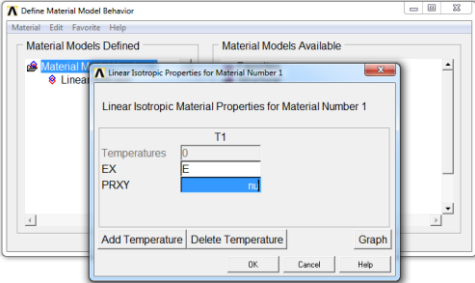
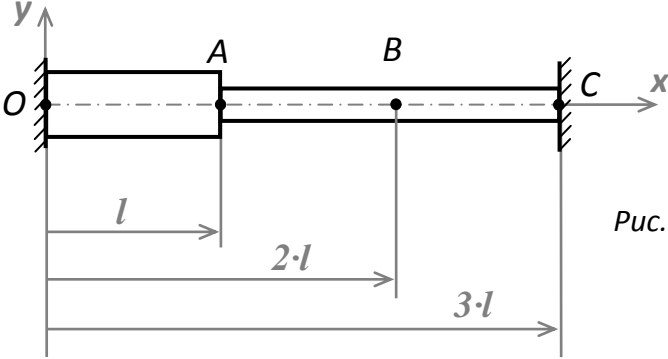



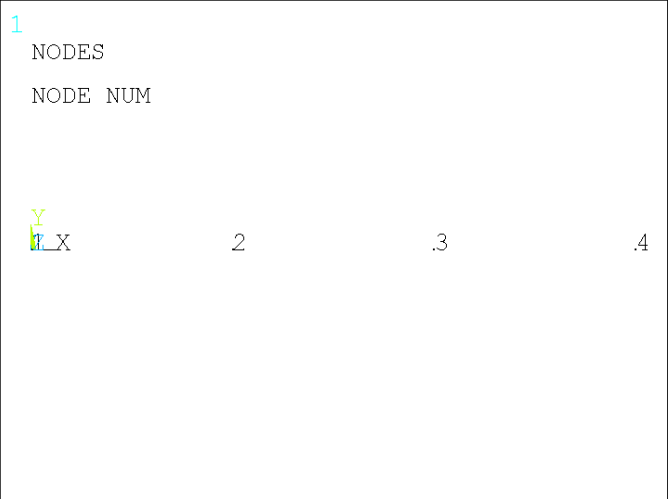
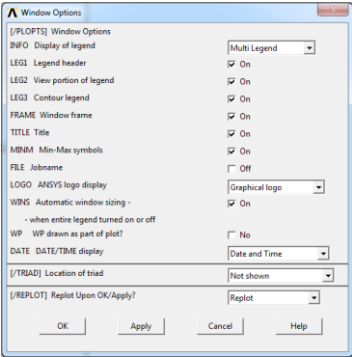
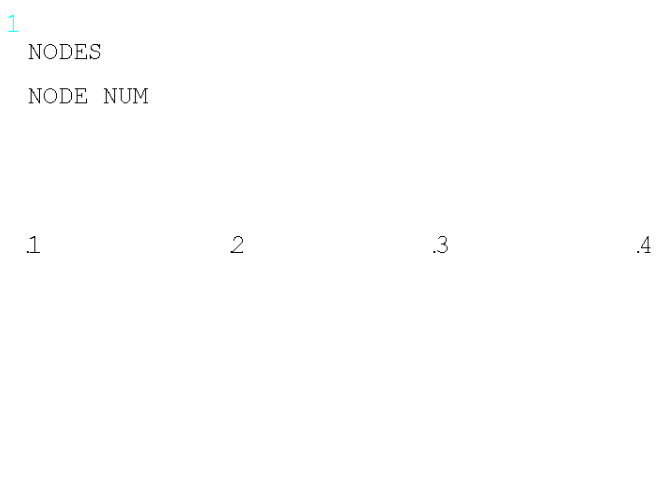
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

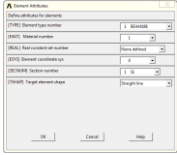
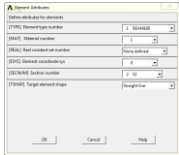
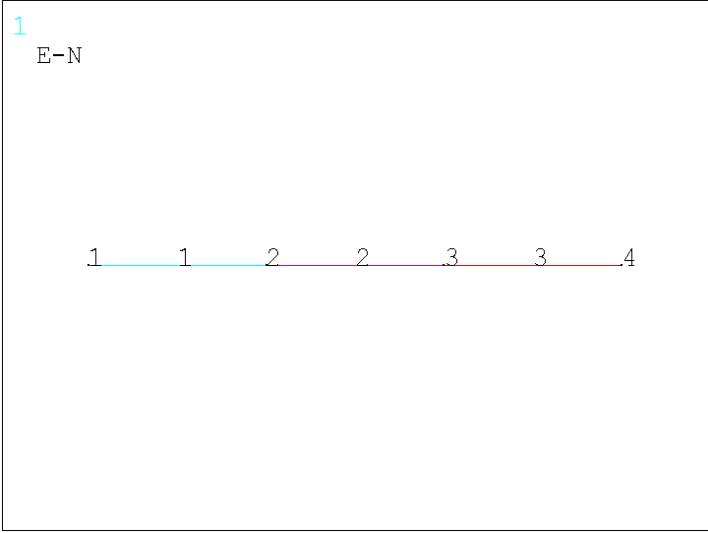
Решение задачи: Приравняв  $G$ ,  $d$ ,  $M$  и  $l$ , к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на рис. 1. синим цветом.

№	Действие	Результат
1	<p>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;            E=2.6 &gt; Accept &gt;            nu=0.3 &gt; Accept &gt;            d=1 &gt; Accept &gt;            M=1 &gt; Accept &gt;            l=1 &gt; Accept &gt;            &gt; Close</p> <p>При <math>E=2,6</math> и <math>\nu=0,3</math> имеем: <math>G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{2,6}{2,6} = 1</math>.</p>	
2	<p>Первая строка в таблице конечных элементов – трёхмерный балочный BEAM188:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Element Type &gt; Add/Edit/Delete &gt; Add            Element reference number пишем 1</p> <p>В левом окошке выбираем "Beam"</p> <p>В правом окошке "2 node 188"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>В окошке Element types отметить строку "1 BEAM188"</p> <p>&gt; Options &gt;</p> <p>КЗ установить "Quadratic Form"</p> <p>&gt; OK &gt;            &gt; Close</p>	





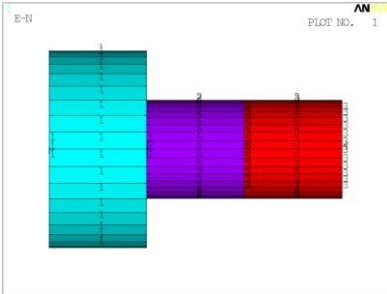
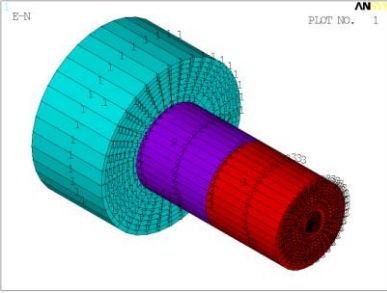


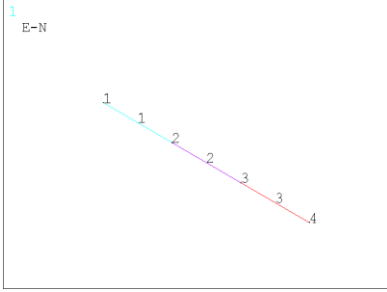
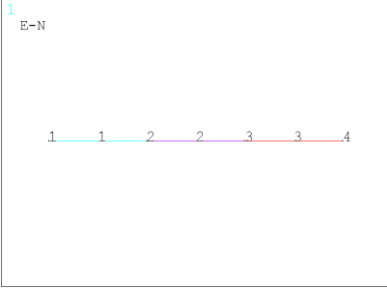
№	Действие	Результат
3	<p>Два поперечных сечения:</p> <p>Сечение S1 диаметром <math>2d</math>; сечение S2 диаметром <math>d</math>:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Sections &gt; Beam &gt; Common Sections  ID пишем 1  NAME пишем имя сечения S1  Sub-Type установить изображение круга  Offset To установить "Centroid"  R пишем <math>d</math> (это радиус круга)  N пишем, например, 36 (секторов)  T пишем, например, 10 (колец)  &gt; Apply &gt;</p> <p>ID пишем 2  NAME пишем имя сечения S2  Sub-Type установить изображение круга  Offset To установить "Centroid"  R пишем <math>d/2</math> (это радиус круга)  N пишем, например, 36 (секторов)  T пишем, например, 10 (колец)  &gt; OK</p> <p>Прорисовываем оба сечения, смотрим геометрическую жёсткость при кручении у сечения S1:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Sections &gt; Beam &gt; Plot Section  [Secplot] установить "1 S1"  Show section mesh? установить "Yes"  &gt; Apply &gt;</p> <p>[Secplot] установить "2 S2"  Show section mesh? установить "Yes"  &gt; OK</p> <p><math>I_{K_1}</math> и <math>I_{K_2}</math> совпадают со своими значениями, вычисленными аналитически (рис. 1а).</p>	   <p>SECTION ID 1 DATA SUMMARY</p> <p>Section Name = S1  Area = 3.14159  Iyy = .785394  Iyz = -.192E-16  Izz = .785394  Warping Constant = 0  Torsion Constant = 1.57079  Centroid Y = .634E-16  Centroid Z = -.135E-16  Shear Center Y = -.203E-16  Shear Center Z = .387E-17  Shear Corr. YY = .857146  Shear Corr. YZ = .146E-14  Shear Corr. ZZ</p>  <p>SECTION ID 2 DATA SUMMARY</p> <p>Section Name = S2  Area = .785397  Iyy = .049087  Iyz = -.120E-17  Izz = .049087  Warping Constant = 0  Torsion Constant = .098174  Centroid Y = .317E-16  Centroid Z = -.673E-17  Shear Center Y = -.102E-16  Shear Center Z = .194E-17  Shear Corr. YY = .857146  Shear Corr. YZ = .146E-14  Shear Corr. ZZ</p>

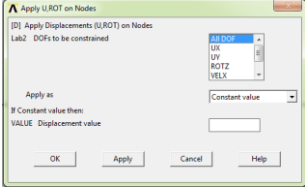
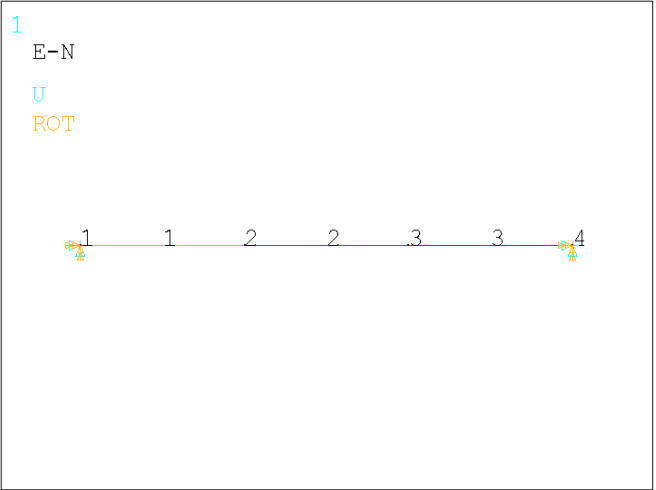
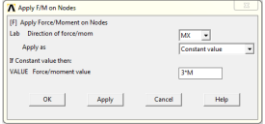
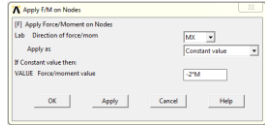
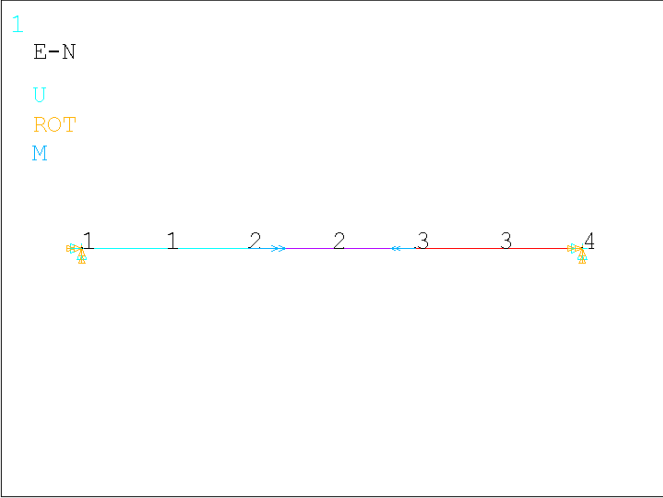
№	Действие	Результат
4	<p>Геометрическую жёсткость при кручении у сечения <math>SI</math> заносим в параметры:  U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;  II=1.57079  &gt; Accept &gt;  &gt; Close</p>	
5	<p>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:  M_M &gt; Preprocessor &gt; Material Props &gt; Material Models &gt;  Structural &gt; Linear &gt; Elastic &gt; Isotropic &gt;  EX пишем "E",  PRXY пишем "nu"  &gt; OK &gt;  Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
6	<p>Координата <math>X</math> точек стержня:  Определяемся с положением точек относительно глобальной декартовой системы координат. Начало отсчёта поместим, например, на левый край стержня, так привычнее.</p>	 <p style="text-align: right;">Рис. 2.</p>

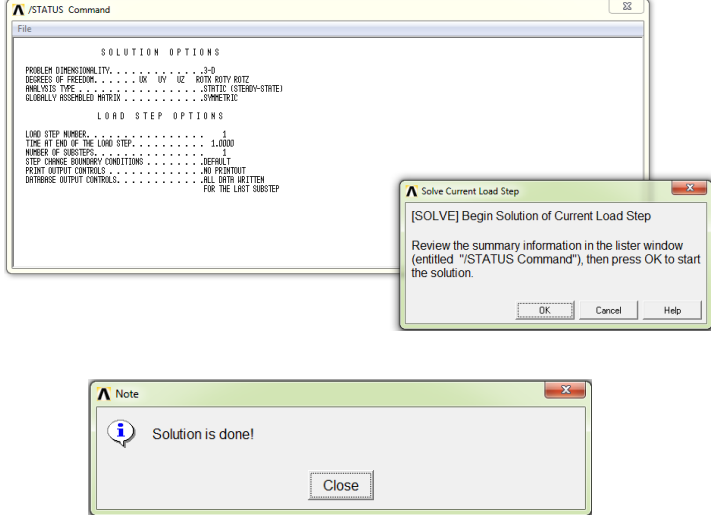
№	Действие	Результат
<b>Конечноэлементная модель</b>		
<b>7</b>	<p><i>Узлы 1, 2, 3 и 4 в точках O, A, B и C соответственно:</i></p> <pre>M_M&gt; Preprocessor&gt; Modeling&gt; Create&gt; Nodes&gt; In Active CS &gt; NODE пишем 1 X,Y,Z пишем 0,0,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 2 X,Y,Z пишем 1,0,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 3 X,Y,Z пишем 2*1,0,0&gt; Apply &gt; NODE пишем 4 X,Y,Z пишем 3*1,0,0 &gt; ОК</pre> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p> <p>Номер узла 1 сливается со значком глобальной системы координат.</p>	
<b>8</b>	<p><i>Скрываем оси системы координат:</i></p> <pre>U_M&gt; PlotCtrls&gt; Window Controls&gt; Window Options&gt; [/Triad] установить "Not Shown" &gt; ОК</pre> 	

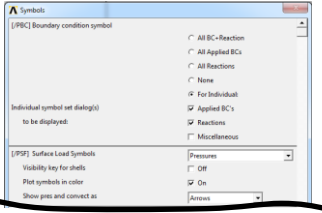
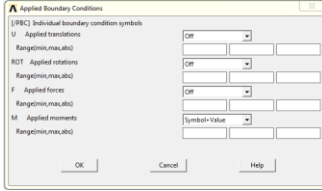
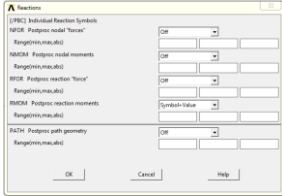
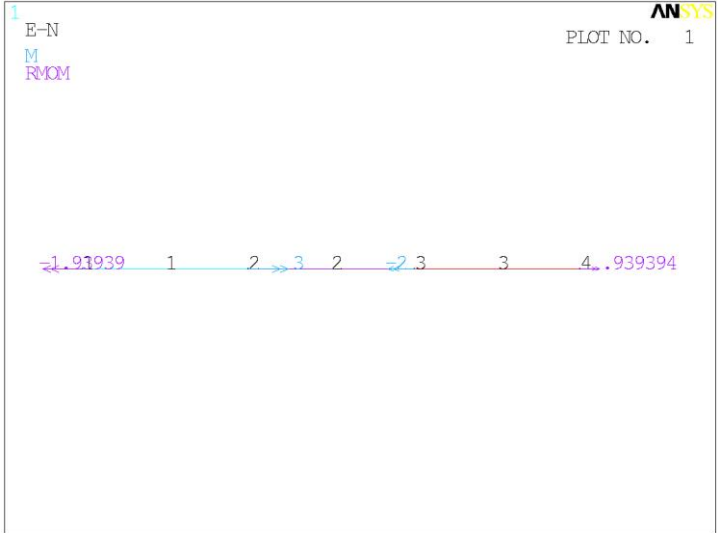
№	Действие	Результат
9	<p><i>Конечные элементы – участки стержня:</i></p> <p><b>Первый элемент - участок сечением S1:</b></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt; &gt; Elem Attributes &gt; [TYPE]установить "1 BEAM188" [MAT ]установить "1" [SECNUM]установить "1 S1" &gt; OK</p>  <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt; &gt; Auto Numbered &gt; Thru Nodes</p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно кликаем на узлы 1 и 2 &gt; OK</p> <p><b>Второй и третий элементы - участки сечением S2:</b></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt; &gt; Elem Attributes &gt; [SECNUM]установить "2 S2" &gt; OK</p>  <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt; &gt; Auto Numbered &gt; Thru Nodes</p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно кликаем на узлы 1 и 2 &gt; Apply &gt; 3 и 4 &gt; OK</p> <p><b>Прорисовываем всё, что есть:</b></p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

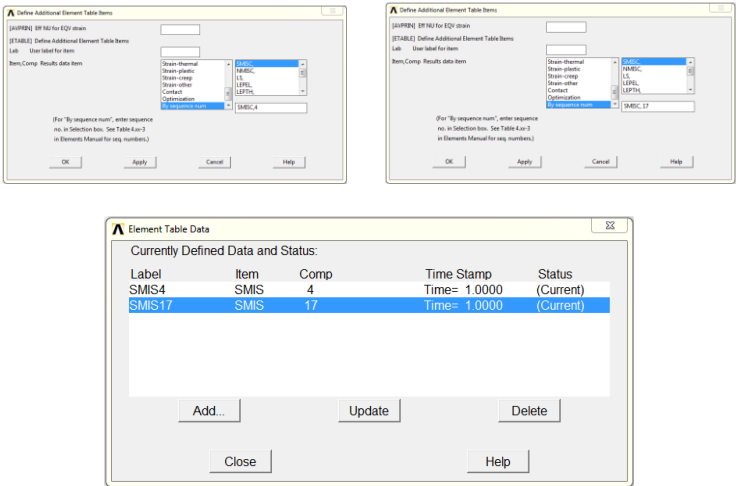

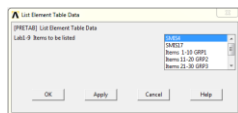



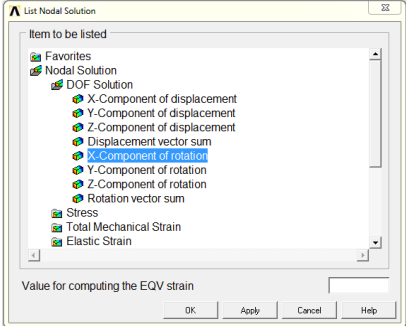
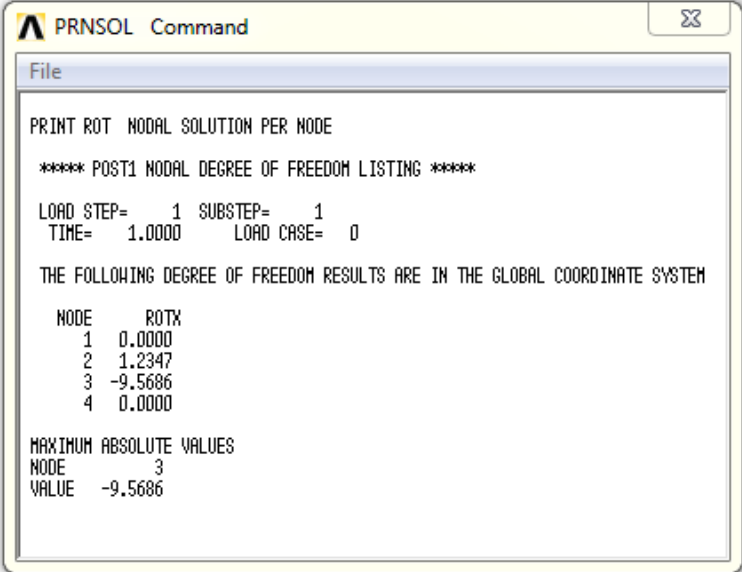
№	Действие	Результат
10	<p><i>Проверяем корректно ли заданы сечения элементам:</i></p> <p>Полноразмерная отрисовка конечных элементов:            U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Size and Shape &gt; [/ESHAPE] ставим галочку "on"            &gt; ОК</p> <p>Изометрия:   потом </p> <p>Можете подкорректировать размер изображения кнопками  или .</p>	 
	<p>Снова изображаем элементы их осями:            U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Size and Shape &gt; [/ESHAPE] убираем галочку "off"            &gt; ОК</p> <p>Фронтальный вид:   - вид спереди;  - автоформат.</p> <p>По внешнему виду конечных элементов можно сделать вывод: поперечные сечения конечным элементам указаны верно.</p>	 

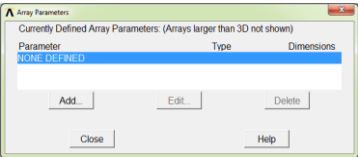
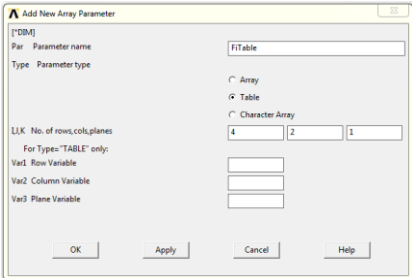
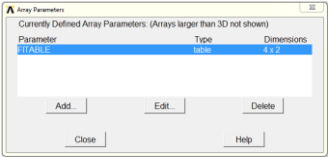
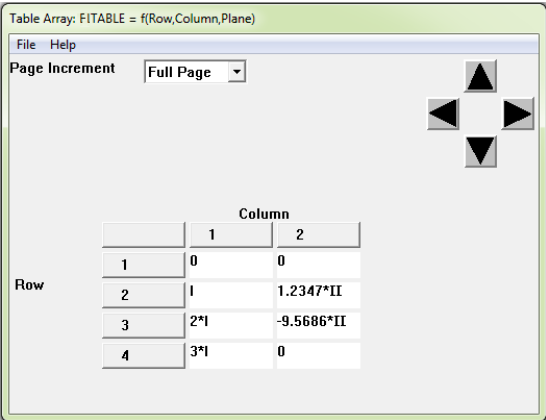
№	Действие	Результат
11	<p><i>Заделки:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Displacement &gt; On Nodes &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 1 и 4 узлы</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>Lab2 установить "All DOF"</p> <p>&gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	
12	<p><i>Внешние моменты:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Force/Moment &gt; On nodes &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши нажимаем на узел 2</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>Lab установить "MX"</p> <p>VALUE пишем 3*M</p> <p>&gt; Apply &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши нажимаем на узел 3</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>Lab установить "MX"</p> <p>VALUE пишем -2*M</p> <p>&gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>  	

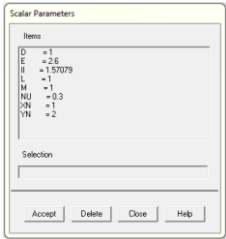
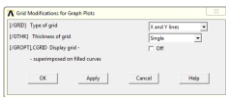
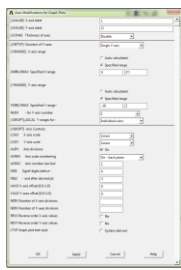
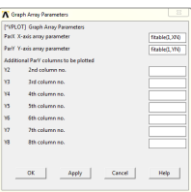
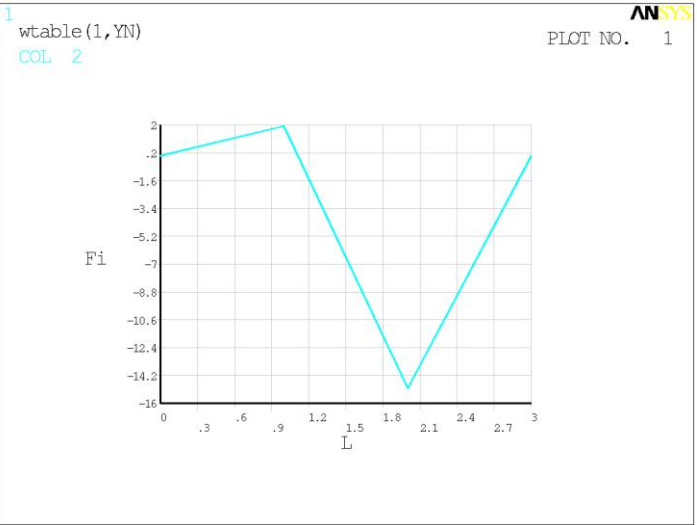
№	Действие	Результат
Расчёт		
13	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M &gt; Solution &gt; Solve &gt; Current LS</p> <p>Синхронно появляются два окна: белое информационное и серое исполнительное. Белое закрываем, на сером нажимаем ОК. Расчёт пошёл.</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p> <p>Расчёт окончен.</p>	 <p>The screenshot displays three windows from the ANSYS software interface:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Command Window (/STATUS Command):</b> Shows technical details for the solution process, including 'SOLUTION OPTIONS' (Problem Dimensionality: 3-D, Degrees of Freedom: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ) and 'LOAD STEP OPTIONS' (Load Step Number: 1, Time at End of Load Step: 1.0000, Number of Substeps: 8, Step Change Boundary Conditions: DEFAULT, Print Output Controls: NO PRINTOUT, Database Output Controls: ALL DATA WRITTEN FOR THE LAST SUBSTEP).</li> <li><b>Solve Current Load Step Dialog:</b> A modal dialog box with the text: "[SOLVE] Begin Solution of Current Load Step. Review the summary information in the lister window (entitled "/STATUS Command"), then press OK to start the solution." It features OK, Cancel, and Help buttons.</li> <li><b>Note Window:</b> A small notification window with an information icon and the text "Solution is done!" with a Close button.</li> </ul>

№	Действие	Результат
<b>Просмотр результатов</b>		
<b>14</b>	<p><b>Силовая схема:</b></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt; [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>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"</p> <p>Rot установить "Off"</p> <p>F установить "Off"</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 "Off"</p> <p>RMOM установить "Symbol+Value"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Elements</p> <p>В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Синим цветом начерчены внешние моменты;</li> <li>- Фиолетовым цветом начерчены реактивные моменты</li> </ul> <p>Реакции в заделках совпадают с результатами аналитического расчёта, показанными на <i>рис. 1б</i>. (числа, выделенные синим цветом). Минус означает направление вектора момента против оси X.</p>	   

№	Действие	Результат															
15	<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>																
16	<p><i>Составление эюры эюры внутреннего крутящего момента <math>M_{кр}</math>:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Add &gt; "By sequence num", "SMISC,", "4" &gt; Apply &gt; "By sequence num", "SMISC,", "17" &gt; OK &gt; &gt; Close</p>	 <table border="1" data-bbox="1478 630 2004 901"> <thead> <tr> <th>Label</th> <th>Item</th> <th>Comp</th> <th>Time Stamp</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SMIS4</td> <td>SMIS</td> <td>4</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS17</td> <td>SMIS</td> <td>17</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> </tbody> </table>	Label	Item	Comp	Time Stamp	Status	SMIS4	SMIS	4	Time= 1.0000	(Current)	SMIS17	SMIS	17	Time= 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status													
SMIS4	SMIS	4	Time= 1.0000	(Current)													
SMIS17	SMIS	17	Time= 1.0000	(Current)													
17	<p><i>Прорисовка эюры внутреннего крутящего момента <math>M_{кр}</math>:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Contour Plot &gt; &gt; Line Elem Res &gt; LabI установить "SMIS4" LabJ установить "SMIS17" &gt; OK</p>  <p><i>Пропечатка эюры внутреннего крутящего момента <math>M_{кр}</math>:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Elem Table Data &gt; Отметить мышью строчку SMIS4 &gt; OK</p>  <p>Получаем тот же результат, что и на рис. 1в. (числа, выделенные синим цветом).</p>	 <pre> LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS4 SMIS17 MIN =-1.06061 ELEM=2 MAX =1.93939 ELEM=1 M ROOM PRINT ELEMENT TABLE ITEMS FOR ELEMENT ***** POSTS ELEMENT TABLE LISTING ***** STEP CURRENT ELEM 01004 1 1.9394 2 -1.0606 3 0.93939 MINIMUM VALUES ELEM 2 VALUE -1.0606 MAXIMUM VALUES ELEM 1 VALUE 1.9394 </pre>															

№	Действие	Результат
18	<p>Угловые перемещения точек стержня (таблица):</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt; Nodal Solution &gt; DOF Solution &gt; X-Component of rotation &gt; OK</p>  <p>Получаем окно “PRNSOL Command” с табличкой, где NODE – номер узла конечноэлементной модели, а ROTX – его вращение относительно оси X:</p> $\varphi_1 = \varphi_0 = 0 ;$ $\varphi_2 = \varphi_A = 1,235 \cdot \frac{M \cdot l}{G \cdot d^4} \text{ (расхождение с рис.1г. составляет: } \Delta=0,08\%);$ $\varphi_3 = \varphi_B = -9,569 \cdot \frac{M \cdot l}{G \cdot d^4} \text{ (расхождение с рис.1г. составляет: } \Delta=0,02\%);$ $\varphi_4 = \varphi_C = 0 .$ <p>На этом можно было бы урок и закончить. Интересно, однако, прорисовать полученные значения в виде эпюры, к тому же в размерности <math>\frac{M \cdot l}{G \cdot I}</math>. Прорисовке будут посвящены последующие два действия данной инструкции.</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 ROTX 1 0.0000 2 1.2347 3 -9.5686 4 0.0000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 3 VALUE -9.5686 </pre>

№	Действие	Результат																					
19	<p>Осевые перемещения узлов стержня (подготовка эюры):</p> <p>Создаём массив-таблицу с названием, например, <i>fitable</i> :</p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Array Parameters &gt; Define/Edit &gt;</p>  <p>&gt; Add &gt;</p> <p>Par="fitable" Type="Table" I, J, K = 4, 2, 1</p>  <p>&gt; OK &gt;</p>  <p>&gt; Edit &gt;</p> <p>Нумеруем столбцы и строки массива. Заполняем массив вручную. Первый столбец – координаты (по возрастанию) узлов, то есть координаты узлов <math>1^{ro}</math>, <math>2^{ro}</math>, <math>3^{ro}</math> и <math>4^{ro}</math> (рис.2). Второй столбец - перемещения ROTX узлов (см. результат действия №18), умноженный на параметр <i>I</i>.</p> <p>&gt; File &gt; Apply/Quit &gt; Close</p>	 <table border="1" data-bbox="891 1273 1151 1433"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">Column</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th rowspan="4">Row</th> <th>1</th> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>1</td> <td>1.2347*II</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>2*1</td> <td>-9.5686*II</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>3*1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>			Column				1	2	Row	1	0	0	2	1	1.2347*II	3	2*1	-9.5686*II	4	3*1	0
		Column																					
		1	2																				
Row	1	0	0																				
	2	1	1.2347*II																				
	3	2*1	-9.5686*II																				
	4	3*1	0																				

№	Действие	Результат
20	<p>Осевые перемещения сечений стержня (прорисовка эпюры):</p> <p>Параметры, необходимые для построения эпюры: по горизонтальной оси будет откладываться первый столбец массива, по оси ординат – второй столбец массива.</p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters... &gt;  XN=1 &gt; Accept &gt; YN=2 &gt; Accept &gt; Close</p>  <p>Сетка будет на обеих осях эпюры:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Graphs &gt; Modify Grid &gt; [/GRID] установить "X and Y lines" &gt; OK</p>  <p>Горизонтальную ось подписываем "L", вертикальную ось подписываем "φ", интервал по горизонтальной оси устанавливаем от левого конца стержня до правого (0...3* l), а интервал по вертикальной оси таким, чтобы поместилась эпюра (-16*M*l/G/I ...2*M*l/G/I), см. <i>рис. 1г.</i>:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Graphs &gt; Modify Axes &gt; [/AXLAB] X-axis label пишем L  [/AXLAB] Y-axis label пишем Fi  [/XRANGE] установить "Specified range"  XMIN, XMAX установить "0" и "3*l"  [/YRANGE] установить "Specified range"  YMIN, YMAX установить "-16" и "2"  &gt; OK</p>  <p>Прорисовываем эпюру:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Array Parameters  ParX установить "fitable(1, XN)"  ParY установить "fitable(1, YN)"  &gt; OK</p> 	 <p>Получаем ту же самую эпюру, которая изображена на <i>рис. 1г.</i></p> <p>Нулевая отметка (ось абсцисс эпюры) не обозначена и это скрадывает впечатление.</p>

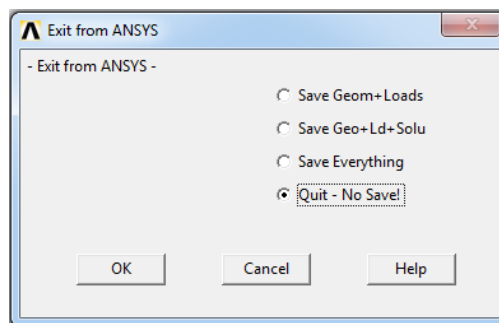


Сохраняем проделанную работу:

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.