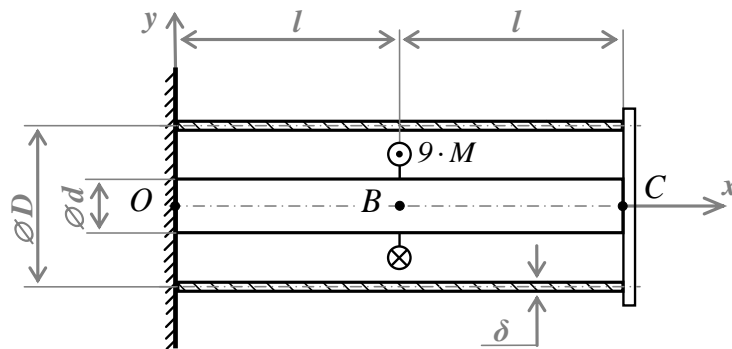


## E-05 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано:  $l, d, D=3 \cdot d, \delta=d/27, M, G$ ;

Стержень в трубке. Их концы связаны абсолютно жёсткой плитой и поворачиваются синхронно.

К стержню применен внешний крутящий момент.

Найти: эпюры  $M_{кр}$ ,  $\Phi$ .

Аналитический расчёт (см. [E-05](#)) даёт следующие решения:

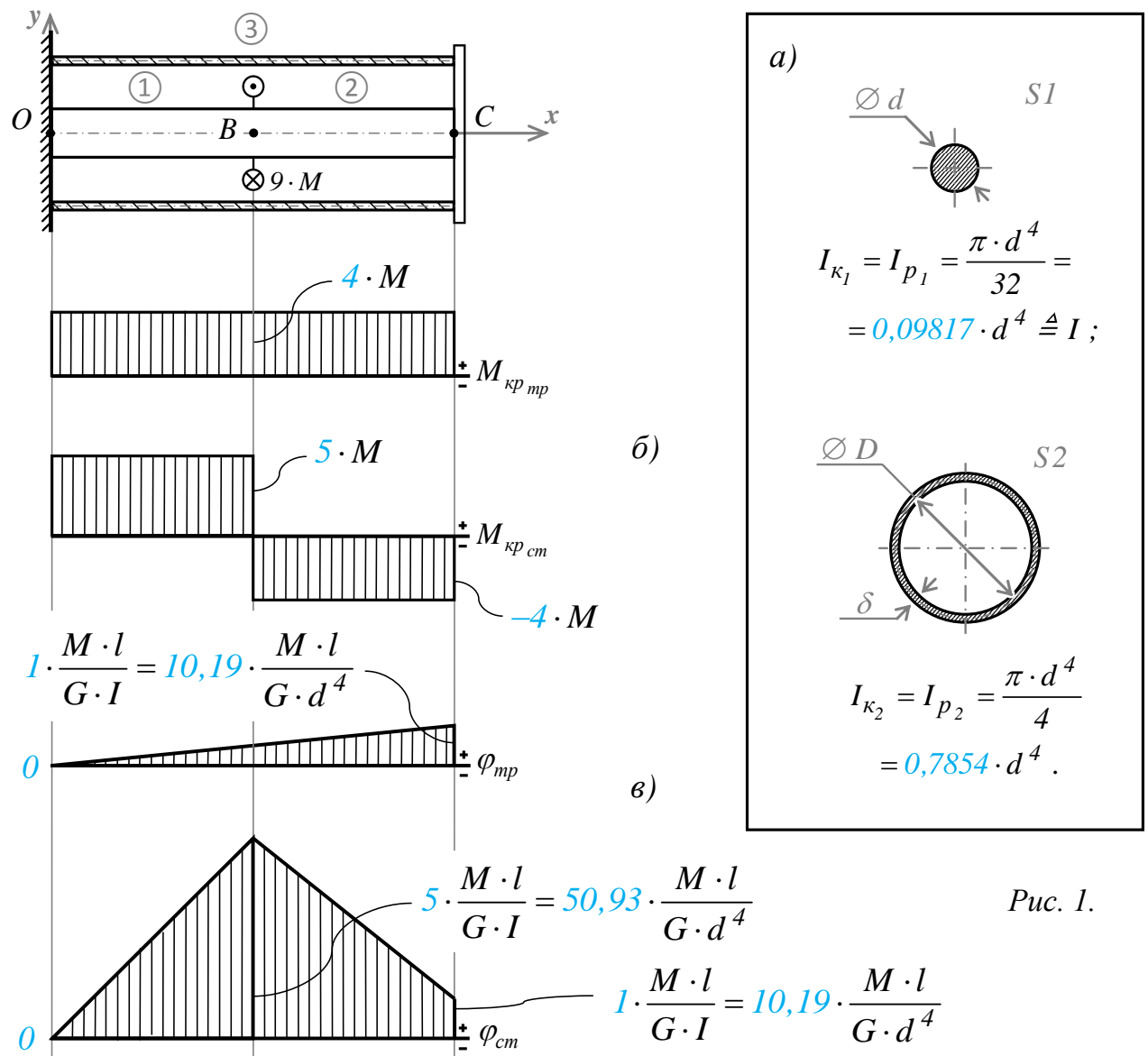
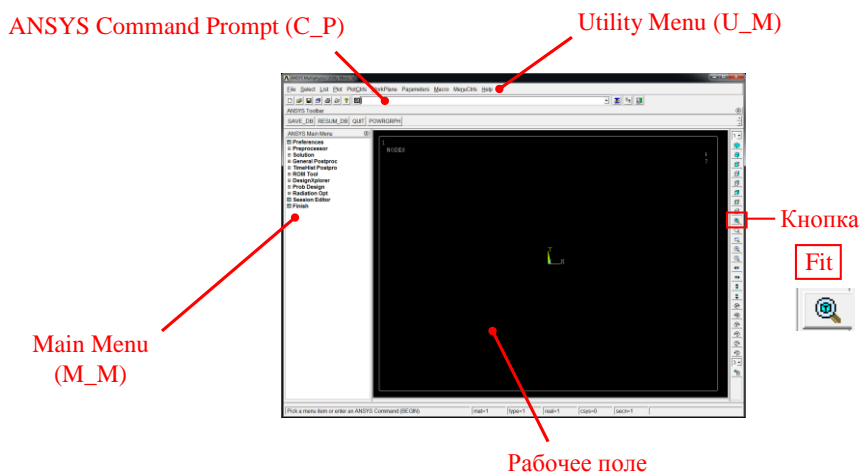


Рис. 1.

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multyphysics получить эти же решения методом конечных элементов.  
<http://www.tychina.pro>

### Предварительные настройки:

Для решения задачи используется ANSYS Multiphysics 14.0:



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

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

Меняем чёрный цвет фона на белый:

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

Скрываем пункты меню, не 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):

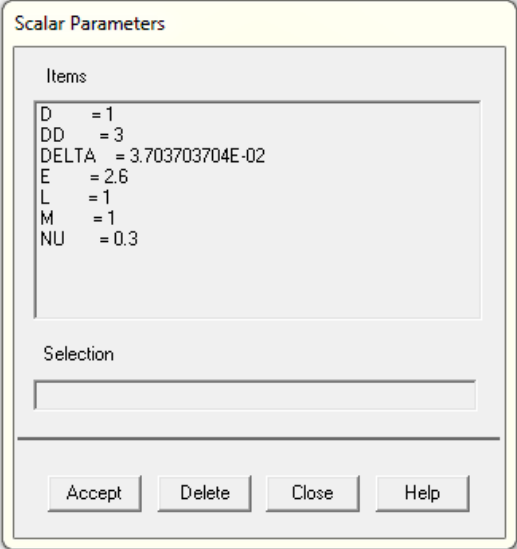
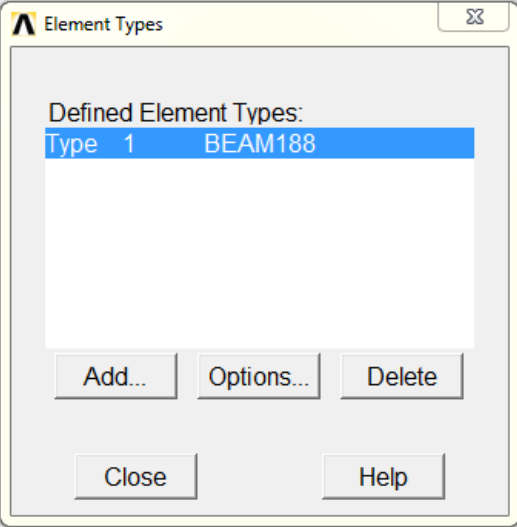
```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить NODE ;
Установить Elem на "Element numbers";
Установить [/NUM] на "Colors&numbers"
> OK
```



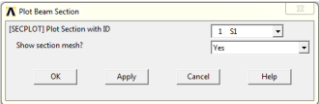
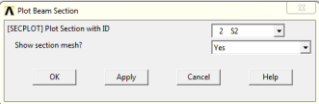
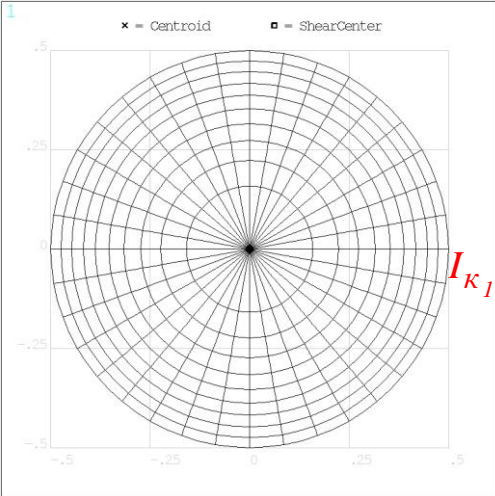
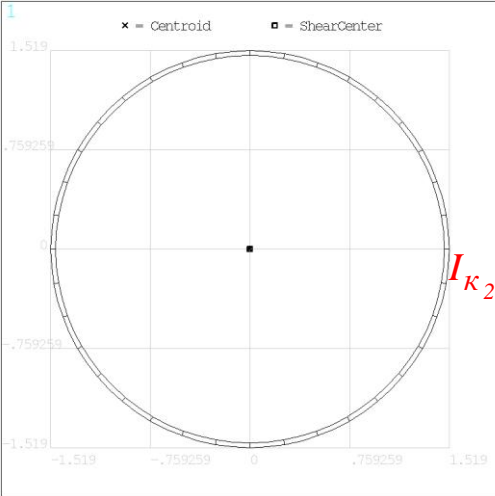
Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

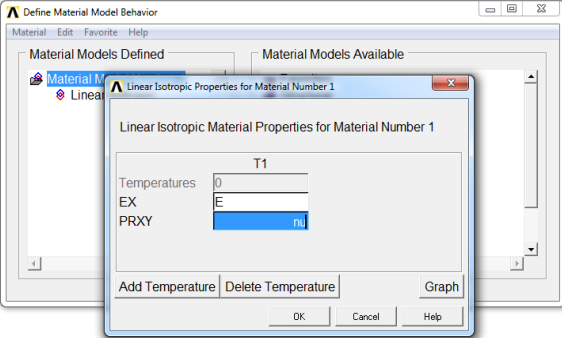
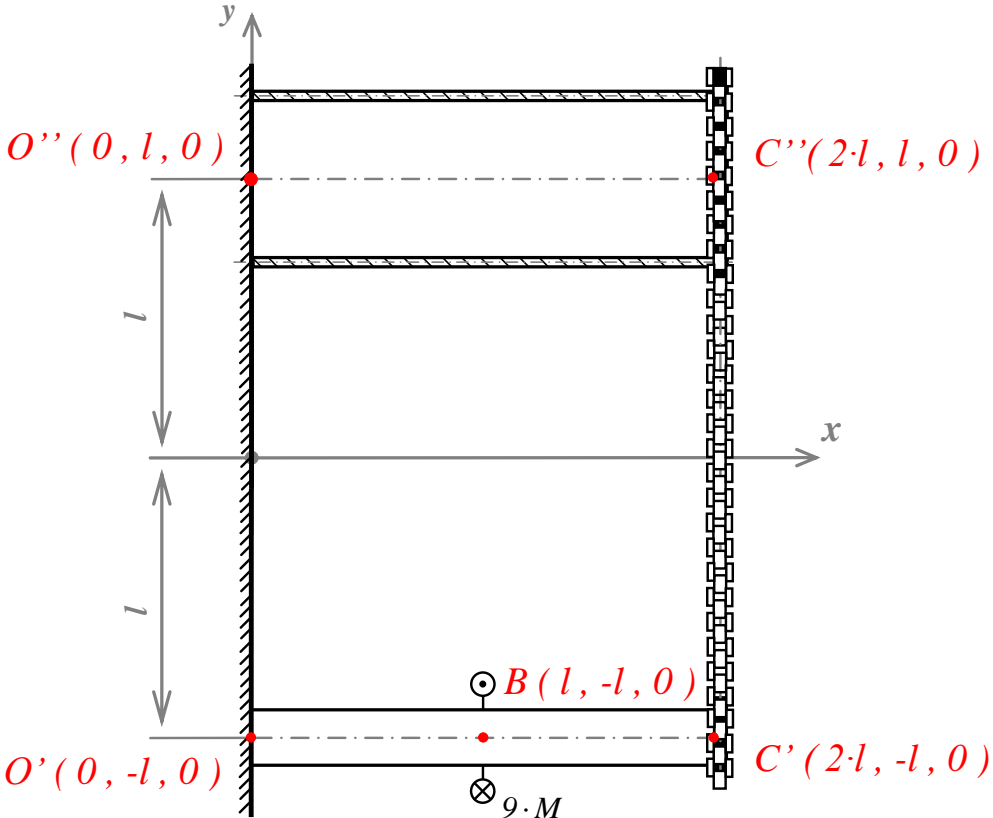
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >
Установить «Размер» на «22» > OK
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
Установить «Размер» на «22» > OK
```

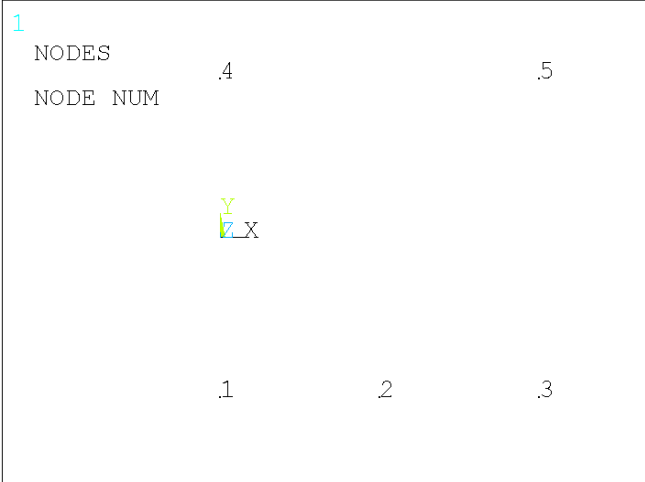
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

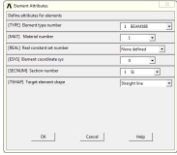
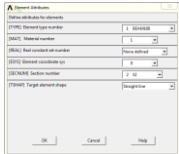
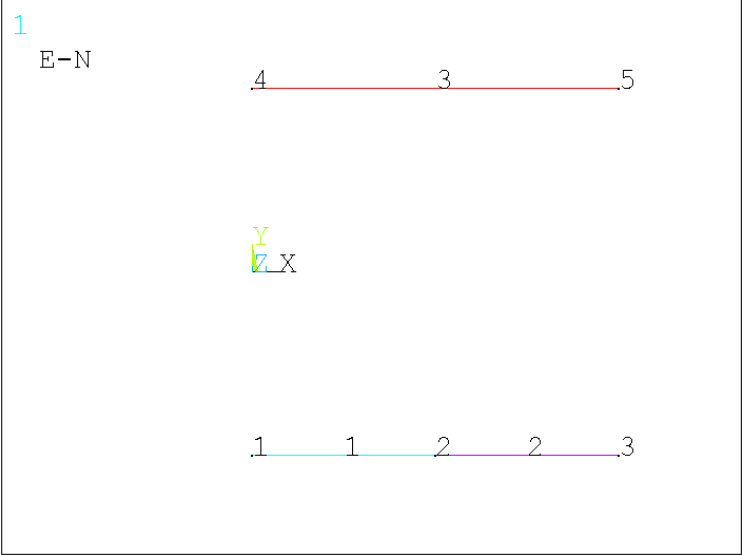
Решение задачи: Приравняв  $G$ ,  $d$ ,  $M$  и  $l$ , к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.







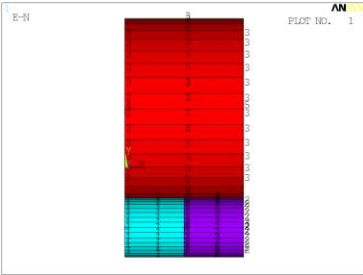
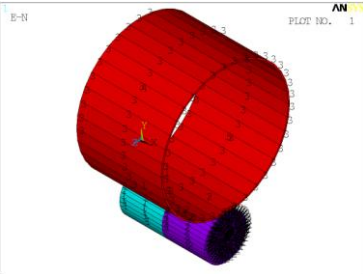
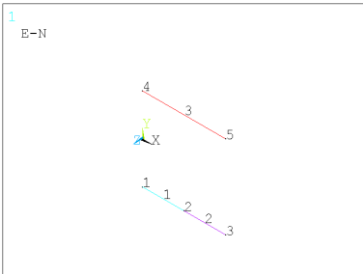
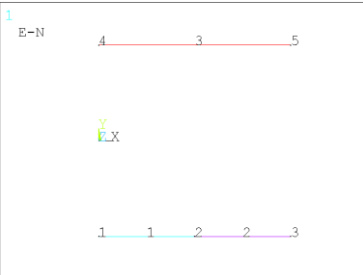
№	Действие	Результат
1	<p>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;            E=2.6 &gt; Accept &gt;            nu=0.3 &gt; Accept &gt;            d=1 &gt; Accept &gt;            DD=3*d &gt; Accept &gt;            Delta=d/27 &gt; Accept &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            В левом окошке выбираем "Beam"            В правом окошке "2 node 188"            &gt; OK &gt;            В окошке Element types отметить строку "1 BEAM188"            &gt; Options &gt;            K3 установить "Quadratic Form"            &gt; OK &gt;            &gt; Close</p>	

№	Действие	Результат
3	<p>Два поперечных сечения:</p> <p>Сечение <math>S1</math> диаметром <math>2d</math>; сечение <math>S2</math> 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/2</math> (это радиус круга)  N пишем, например, 36 (секторов)  T пишем, например, 10 (колец)  &gt; Apply &gt;  ID пишем 2  NAME пишем имя сечения S2  Sub-Type установить изображение круга  Offset To установить "Centroid"  R<sub>i</sub> пишем <math>(DD-Delta)/2</math> (это радиус внутренней окружности)  R<sub>o</sub> пишем <math>(DD+Delta)/2</math> (это радиус наружной окружности)  N пишем, например, 36 (отрезков кольца)  &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;  [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.) с точностью до 0,1%.</p>	     <p>SECTION ID 1  DATA SUMMARY  Section Name = S1  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>  <p>SECTION ID 2  DATA SUMMARY  Section Name = S2  Area = .349065  Iyy = .392757  Iyz = -.113E-16  Izz = .392757  Warping Constant = 0  Torsion Constant = .785514  Centroid Y = -.907E-16  Centroid Z = .522E-15  Shear Center Y = -.321E-15  Shear Center Z = .219E-15  Shear Corr. YY = .500126  Shear Corr. YZ = -.226E-12  Shear Corr. ZZ</p>

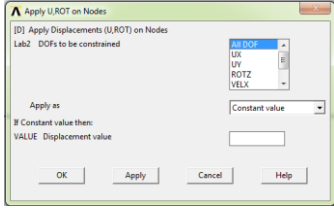
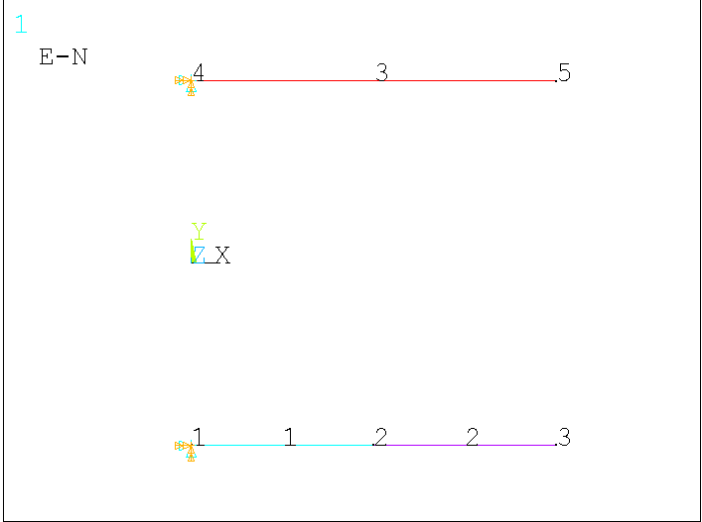
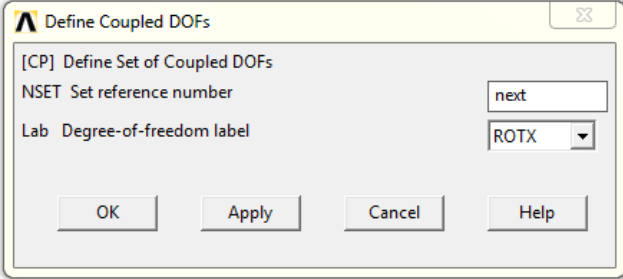
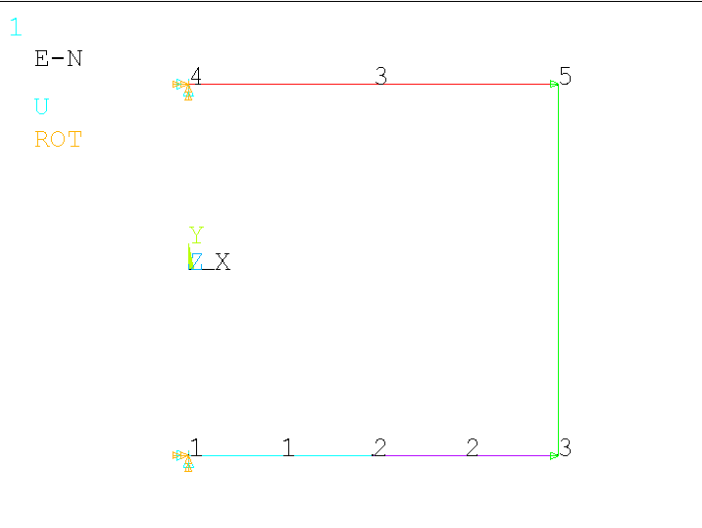
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Material Props &gt; Material Models &gt; Structural &gt; Linear &gt; Elastic &gt; Isotropic &gt; EX пишем "E", PRXY пишем "nu" &gt; OK &gt;</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
5	<p><i>Координаты точек конструкции:</i></p> <p>Определяемся с положением точек относительно глобальной декартовой системы координат.</p> <p>Для того, чтобы рисунки будущих эпюр не накладывались друг на друга, ось трубки смещаем вверх на расстояние, например, <math>l</math>, а ось стержня – вниз на то же расстояние.</p> <p>Абсолютно жёсткую плиту, связывающую концы стержня и трубки по углу поворота <math>\varphi</math>, заменяем (как бы) абсолютно жёсткой цепной передачей.</p>	

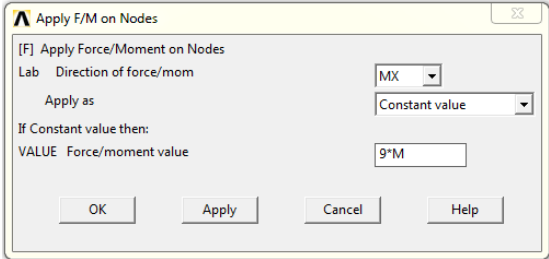
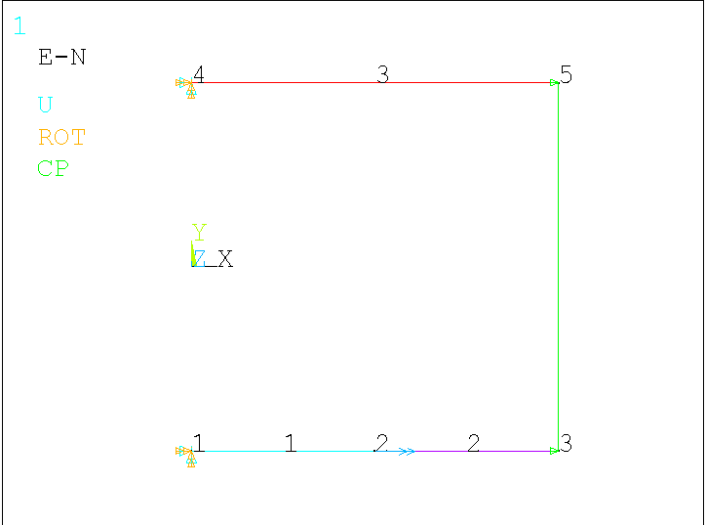
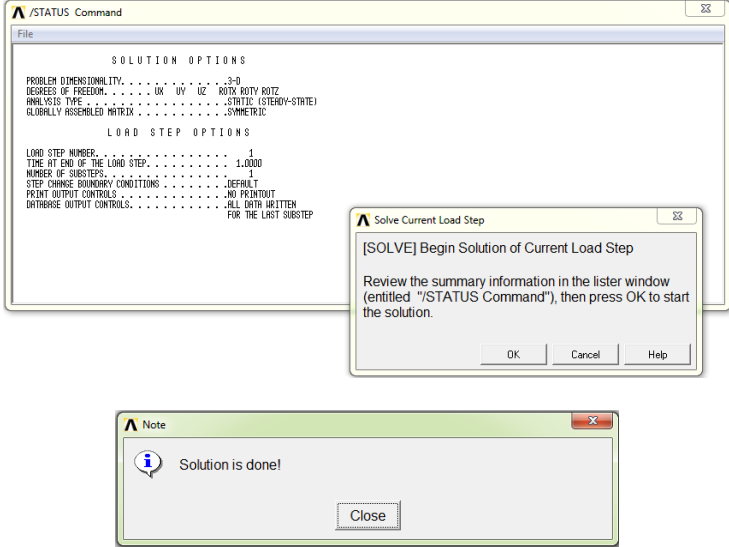
№	Действие	Результат
<b>Конечноэлементная модель</b>		
<b>6</b>	<p><i>Узлы 1, 2, 3, 4 и 5 в точках O', B, C', O'' и C'' соответственно:</i></p> <pre> M_M&gt; Preprocessor&gt; Modeling&gt; Create&gt; Nodes&gt; In Active CS &gt; NODE пишем 1 X,Y,Z пишем 0,-l,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 2 X,Y,Z пишем l,-l,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 3 X,Y,Z пишем 2*l,-l,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 4 X,Y,Z пишем 0,l,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 5 X,Y,Z пишем 2*l,l,0 &gt; ОК  Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots </pre>	 <p>1</p> <pre> NODES          .4          .5 NODE NUM                 Y                 Z X                 .1          2          .3 </pre>

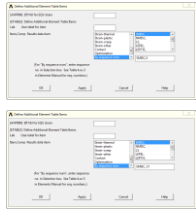
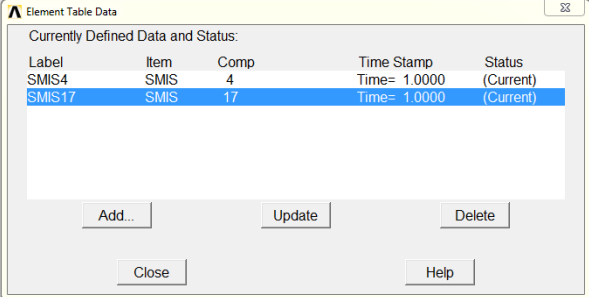
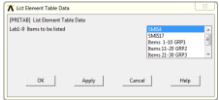
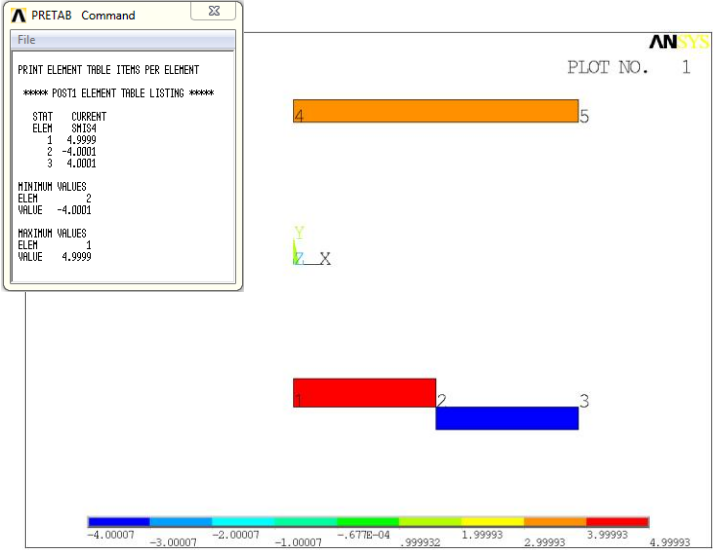
№	Действие	Результат
7	<p><i>Конечные элементы – участки стержня:</i></p> <p><b>Первый элемент - участок сечением S1:</b></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt;  &gt; Elem Attributes &gt;  [TYPE]установить "1 BEAM188"  [MAT ]установить "1"  [SECNUM]установить "1 S1"  &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; Apply &gt;  2 и 3  &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  4 и 5  &gt; OK</p> <p><b>Прорисовываем всё, что есть:</b></p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

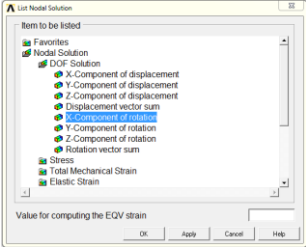
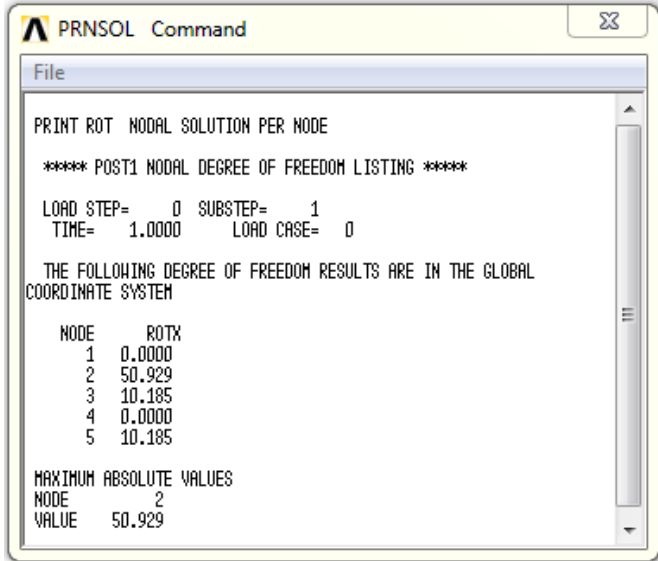
№	Действие	Результат
8	<p>Проверяем корректно ли заданы сечения элементам:</p> <p>Полноразмерная отрисовка конечных элементов:  U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Size and Shape &gt; [/ESHAPE] ставим галочку "on" &gt; ОК</p> <p>Изометрия:   потом .</p> <p>Можете подкорректировать размер изображения кнопками  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
9	<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;                      Левой кнопкой мыши нажать на 1 и 4 узлы &gt; OK &gt;                      Lab2 установить "All DOF" &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:                      U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	
10	<p><i>Связываем вертикальное перемещение конца стержня с вертикальным перемещением конца трубки:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Coupling/Seqn &gt; Couple DOFs                      Левой кнопкой мыши отмечаем узлы 5 и 3 &gt; OK                      NSET пишем next                      Lab установить "ROTX" &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:                      U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	

№	Действие	Результат
11	<p><i>Внешний крутящий момент:</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 9*M</p> <p>&gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	<p>1</p>  <p>E-N U ROT CP</p>
<b>Расчёт</b>		
12	<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>	

№	Действие	Результат
<b>Просмотр результатов</b>		
13	<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>	
14	<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; Close</p> 	
15	<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" &gt; 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 <i>рис. 1б.</i> (числа, выделенные синим цветом) с погрешностью в десятитысячные доли процента.</p>	

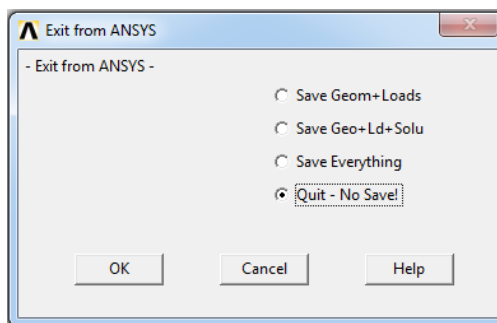
№	Действие	Результат
16	<p>Угловые перемещения точек стержня (таблица):</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt; Nodal Solution &gt; DOF Solution &gt; X-Component of rotation &gt; OK</p>  <p>Получаем окно “PRNSOL Command” с табличкой, где NODE – номер узла конечноэлементной модели, а ROTX – его вращение относительно оси X:</p> $\varphi_1 = \varphi_{O'} = 0 ;$ $\varphi_2 = \varphi_B = 50,93 \cdot \frac{M \cdot l}{G \cdot d^4} \text{ (точное совпадение с рис.1в.);}$ $\varphi_3 = \varphi_{C'} = 10,19 \cdot \frac{M \cdot l}{G \cdot d^4} \text{ (точное совпадение с рис.1в.);}$ $\varphi_4 = \varphi_{O''} = 0 ;$ $\varphi_5 = \varphi_{C''} = 10,19 \cdot \frac{M \cdot l}{G \cdot d^4} .$	 <pre> PRINT ROT NODAL SOLUTION PER NODE  **** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ****  LOAD STEP= 0 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      50.929       3      10.185       4      0.0000       5      10.185  MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE      2 VALUE     50.929 </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.