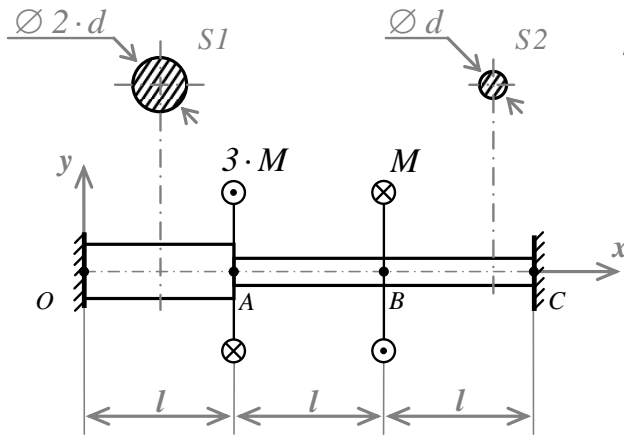


E-02 (ANSYS)

Формулировка задачи:



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

Найти: эпюры $M_{кр}$, φ .

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

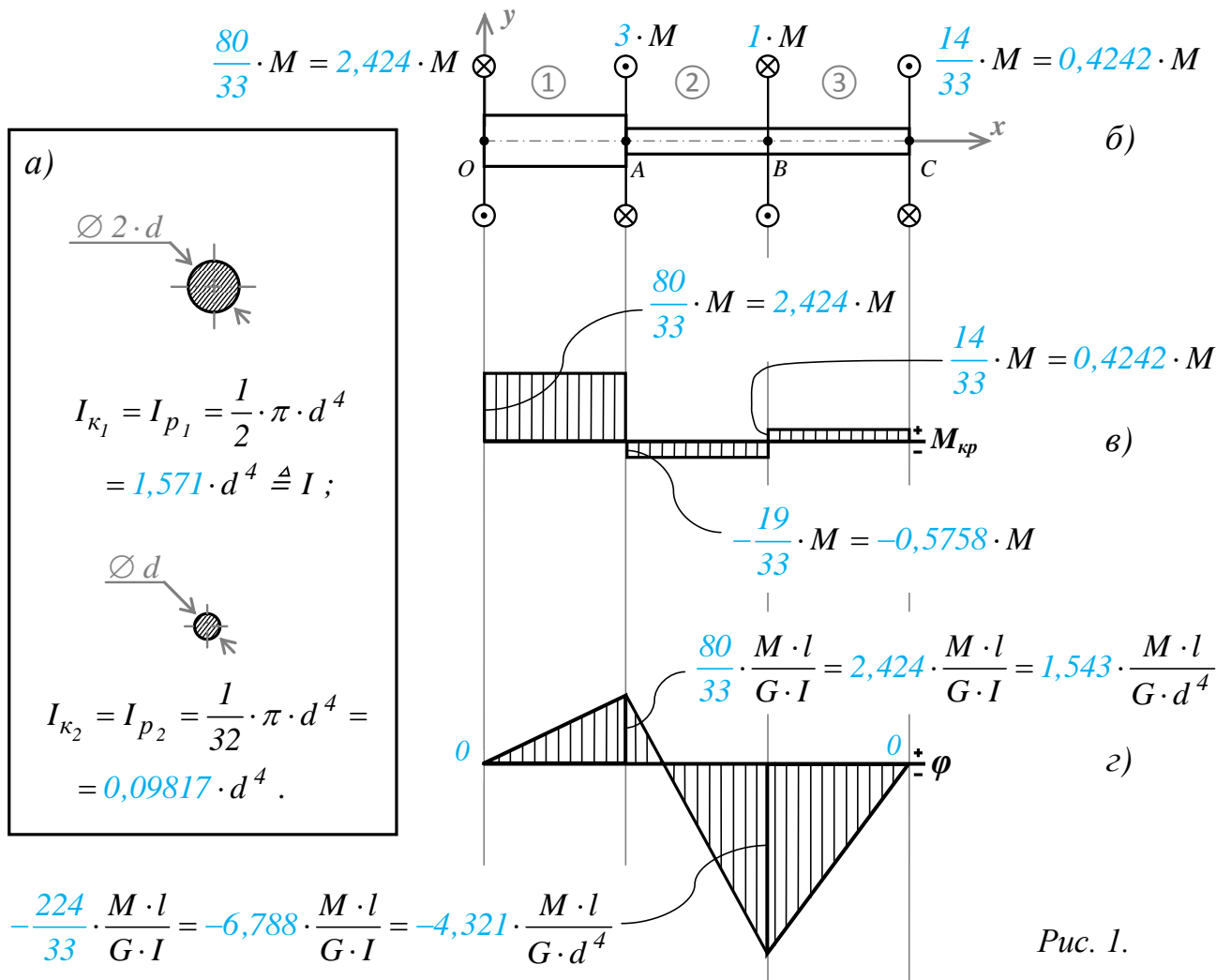
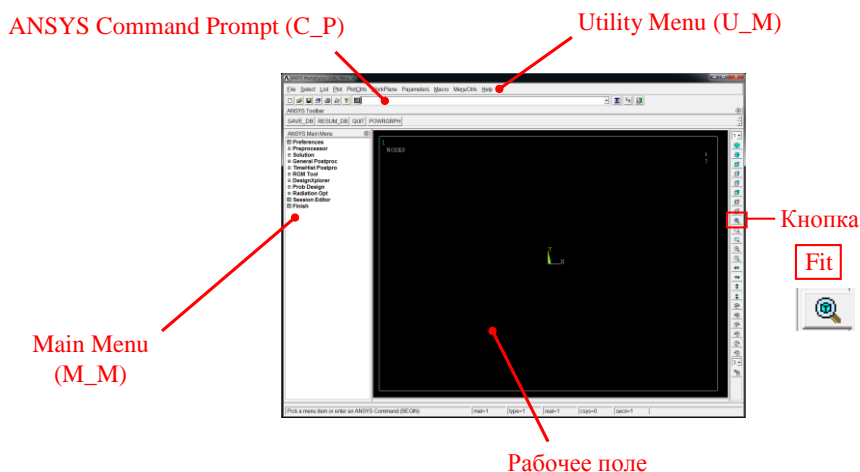


Рис. 1.

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 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" > ОК
```

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

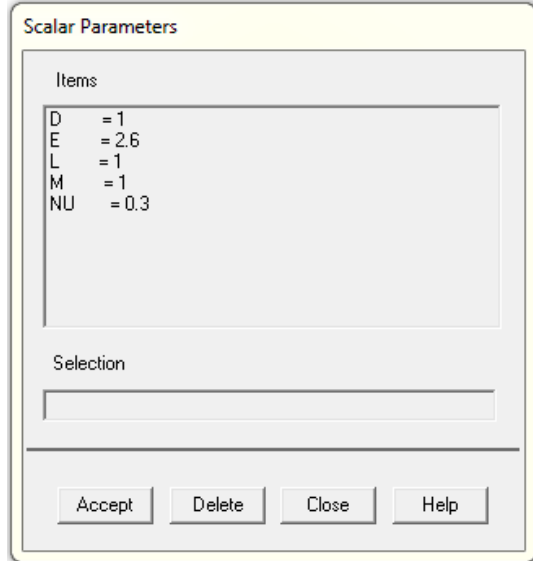
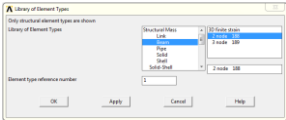
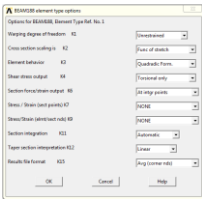
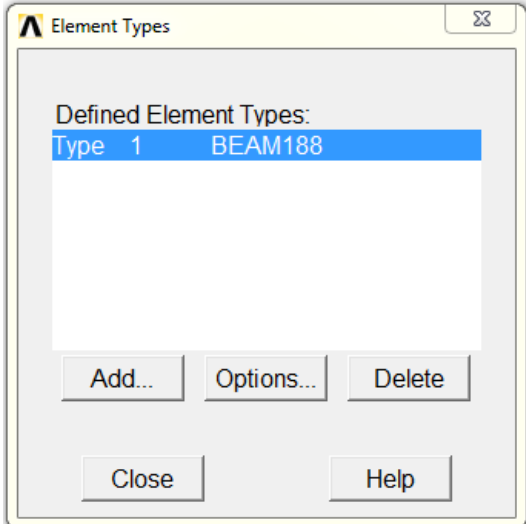
```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить NODE ;
Установить Elem на "Element numbers";
Установить [/NUM] на "Colors&numbers"
> ОК
```

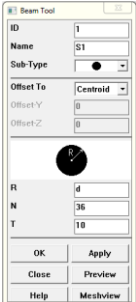
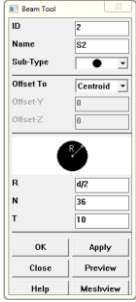
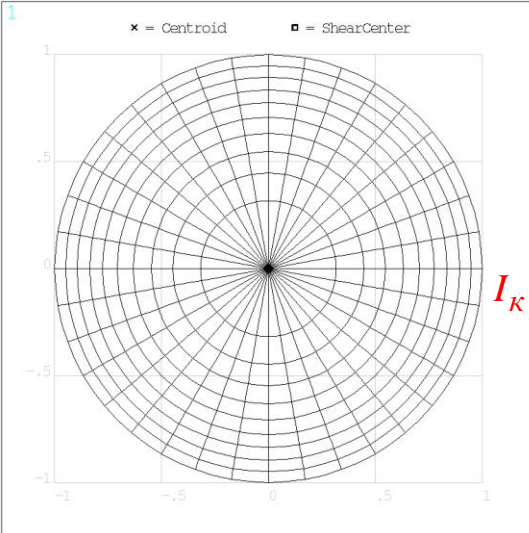
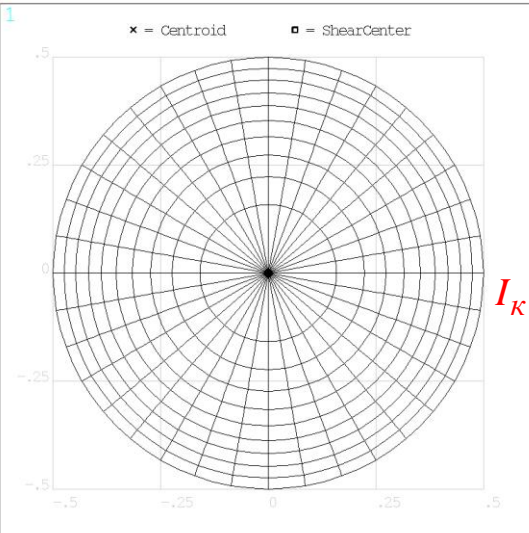
Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

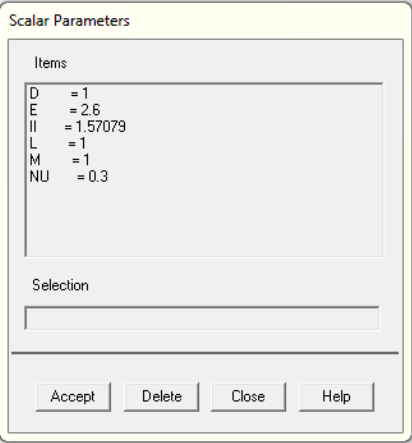
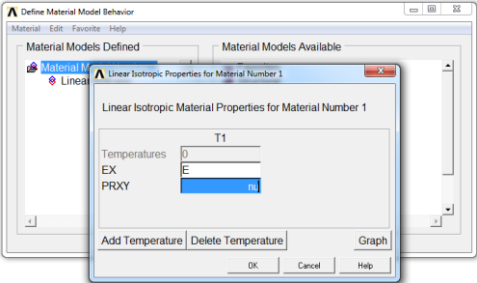
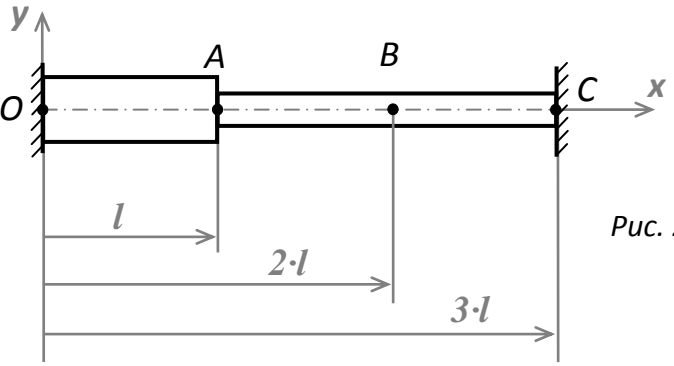
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >
Установить «Размер» на «22» > ОК
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
Установить «Размер» на «22» > ОК
```


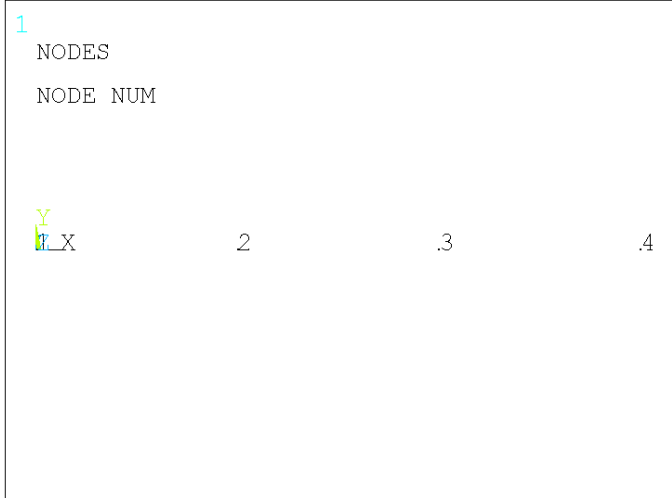
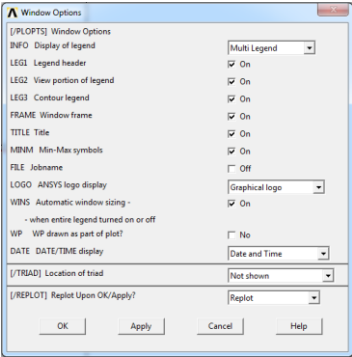
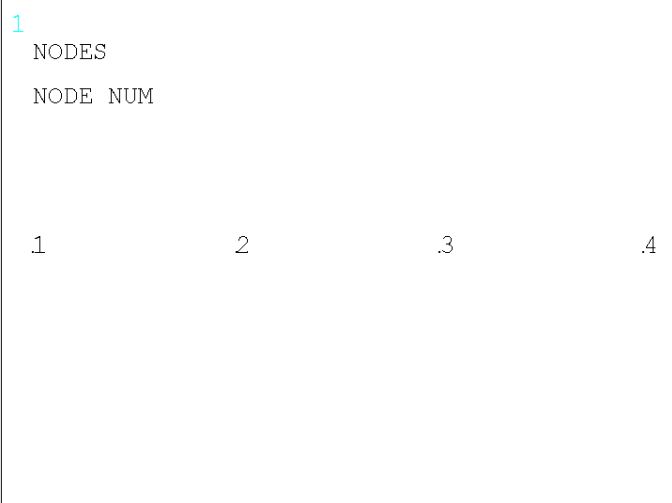
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

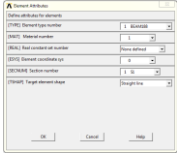
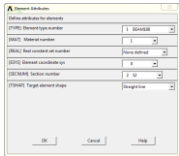
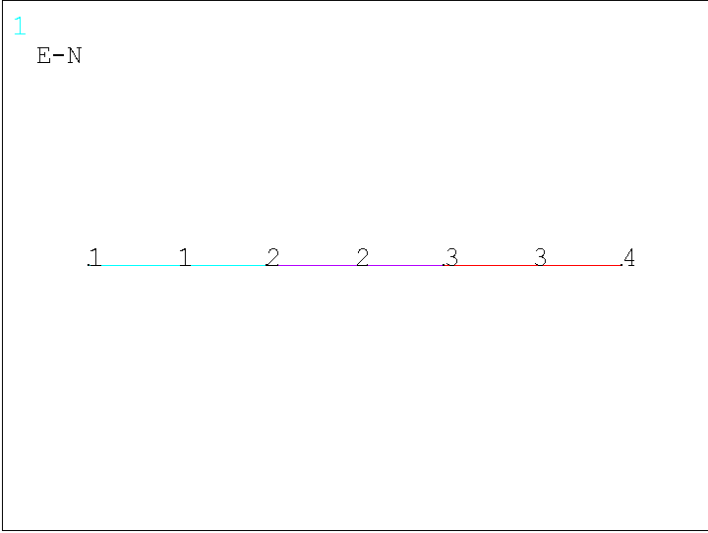
Решение задачи: Приравняв G , d , M и l , к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на рис. 1. синим цветом.





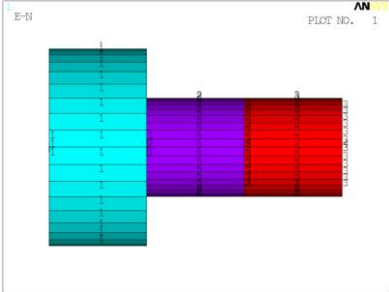
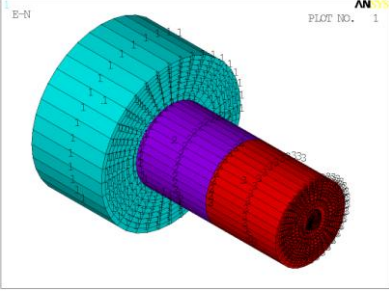


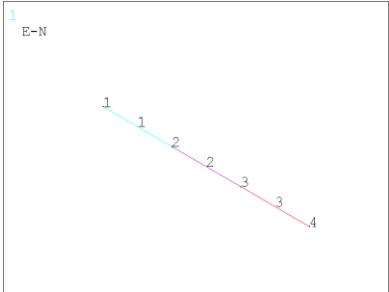
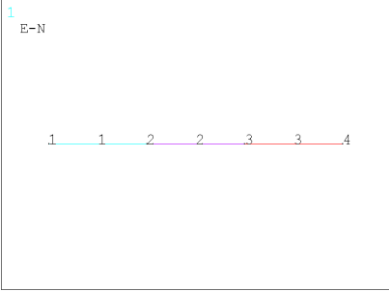
№	Действие	Результат
1	<p>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters > E=2.6 > Accept > nu=0.3 > Accept > d=1 > Accept > M=1 > Accept > l=1 > Accept > > Close</p> <p>При $E=2,6$ и $\nu=0,3$ имеем: $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{2,6}{2,6}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

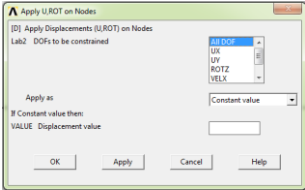
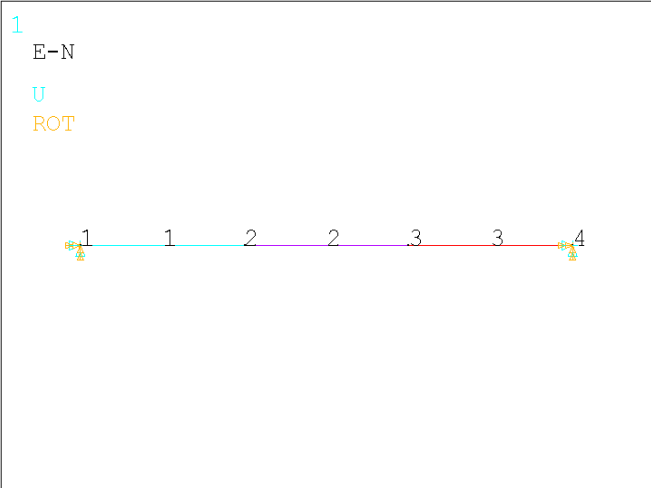
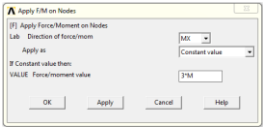
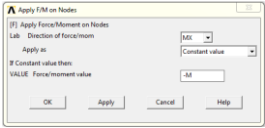
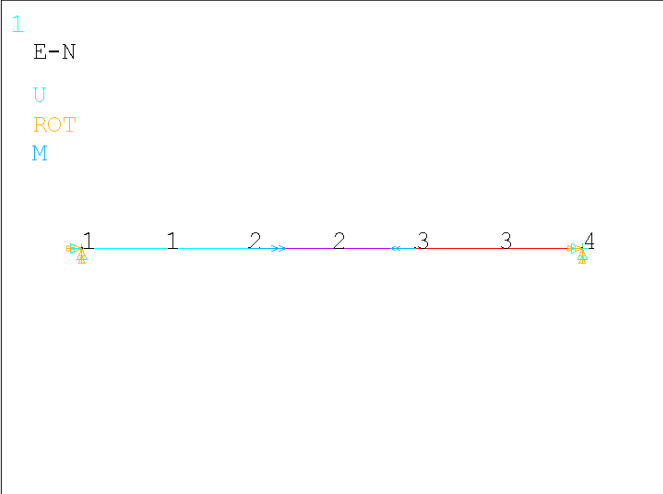
№	Действие	Результат
3	<p>Два поперечных сечения:</p> <p>Сечение S1 диаметром $2d$; сечение S2 диаметром d:</p> <p>M_M > Preprocessor > Sections > Beam > Common Sections ID пишем 1 NAME пишем имя сечения S1 Sub-Type установить изображение круга Offset To установить "Centroid" R пишем d (это радиус круга) N пишем, например, 36 (секторов) T пишем, например, 10 (колец) > Apply ></p> <p>ID пишем 2 NAME пишем имя сечения S2 Sub-Type установить изображение круга Offset To установить "Centroid" R пишем $d/2$ (это радиус круга) N пишем, например, 36 (секторов) T пишем, например, 10 (колец) > OK</p> <p>Прорисовываем оба сечения, смотрим геометрическую жёсткость при кручении у сечения S1:</p> <p>M_M > Preprocessor > Sections > Beam > Plot Section [Secplot] установить "1 S1" Show section mesh? установить "Yes" > Apply ></p> <p>[Secplot] установить "2 S2" Show section mesh? установить "Yes" > OK</p> <p>I_{K_1} и I_{K_2} 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>

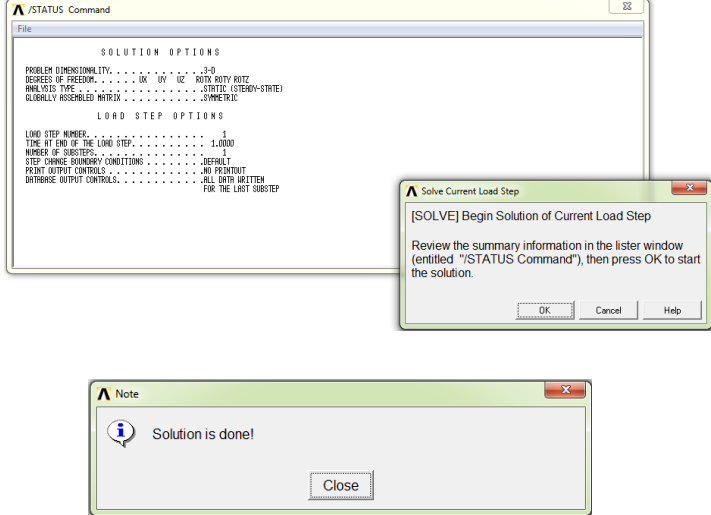
№	Действие	Результат
4	<p>Геометрическую жёсткость при кручении у сечения SI заносим в параметры:</p> <pre>U_M > Parameters > Scalar Parameters > II=1.57079 > Accept > > Close</pre>	
5	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <pre>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic > EX пишем "E", PRXY пишем "nu" > OK ></pre> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
6	<p><i>Координата X точек стержня:</i></p> <p>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>

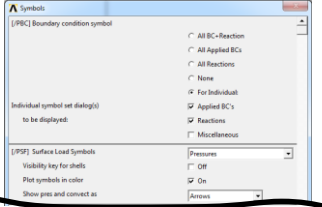
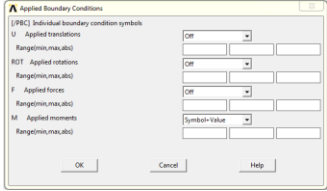
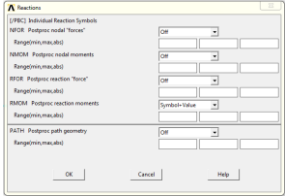
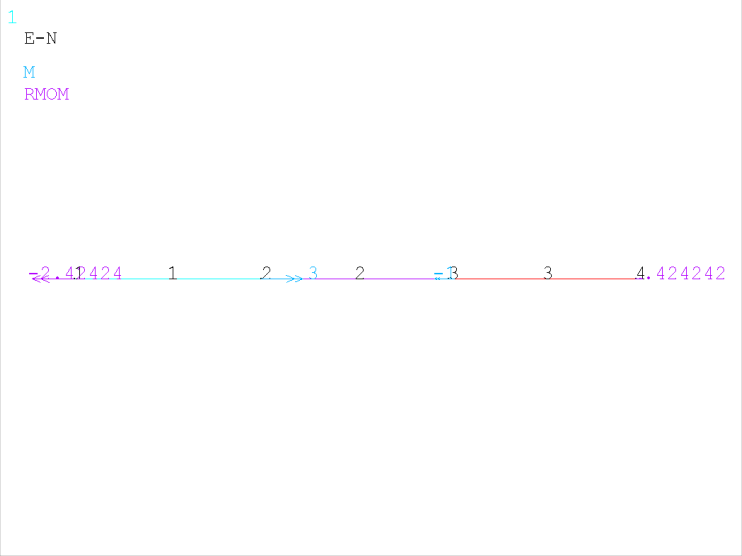
№	Действие	Результат
Конечноэлементная модель		
7	<p><i>Узлы 1, 2, 3 и 4 в точках O, A, B и C соответственно:</i></p> <pre>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Nodes> In Active CS > NODE пишем 1 X,Y,Z пишем 0,0,0 > Apply > NODE пишем 2 X,Y,Z пишем l,0,0 > Apply > NODE пишем 3 X,Y,Z пишем 2*l,0,0> Apply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

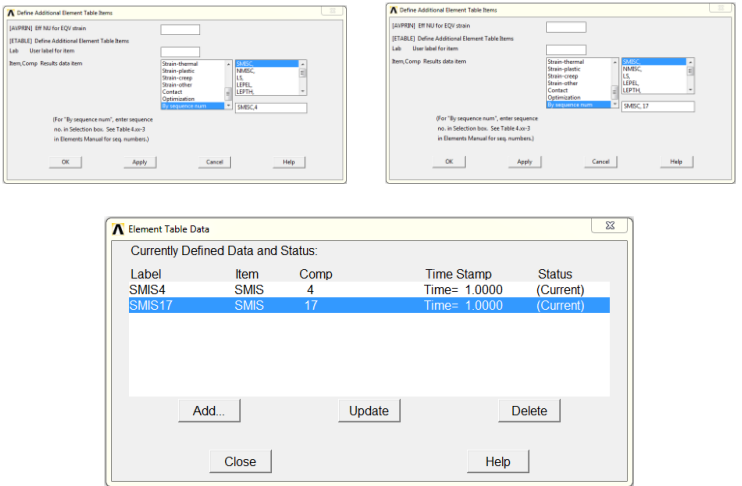

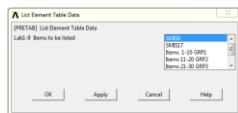
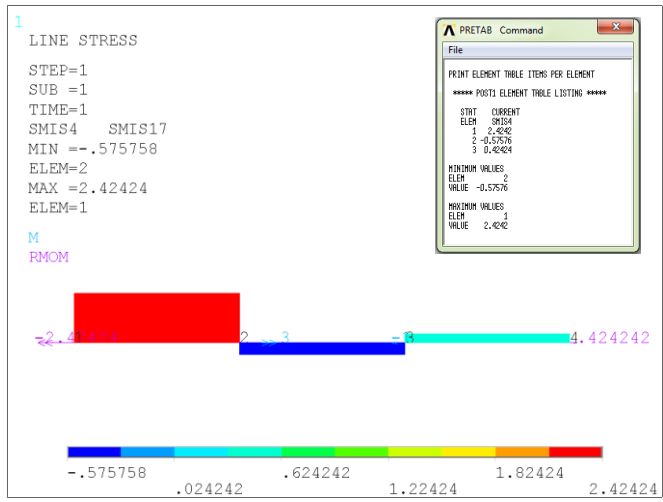
№	Действие	Результат
9	<p><i>Конечные элементы – участки стержня:</i></p> <p>Первый элемент - участок сечением S1:</p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > > Elem Attributes > [TYPE]установить "1 BEAM188" [MAT]установить "1" [SECNUM]установить "1 S1" > OK</p>  <p>M_M > Preprocessor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

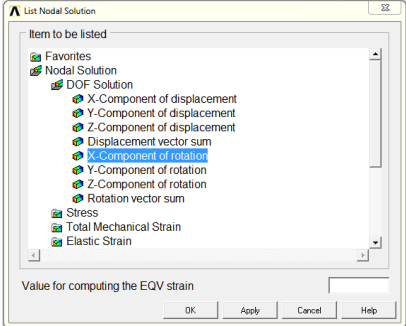
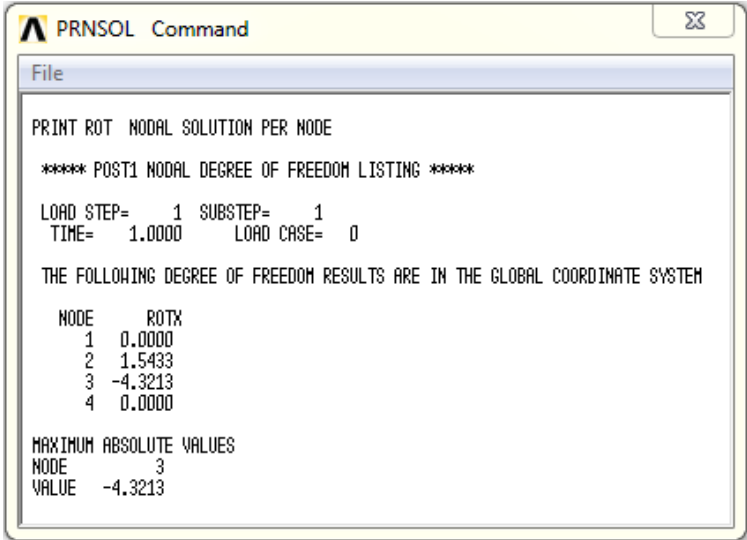
№	Действие	Результат
	<p><i>Проверяем корректно ли заданы сечения элементам:</i></p> <p>Полноразмерная отрисовка конечных элементов: U_M > PlotCtrls > Style > Size and Shape > [/ESHAPE] ставим галочку "on" > ОК</p> <p>Изометрия:  потом </p> <p>Можете подкорректировать размер изображения кнопками  или .</p>	 
<p>10</p>	<p>Снова изображаем элементы их осями: U_M > PlotCtrls > Style > Size and Shape > [/ESHAPE] убираем галочку "off" > 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>	 

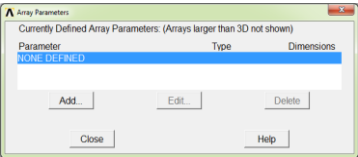
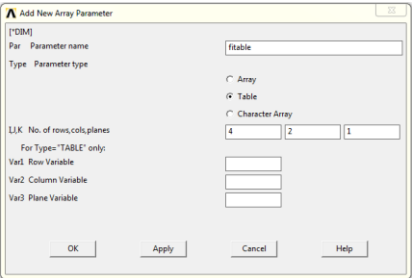
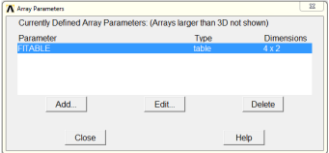
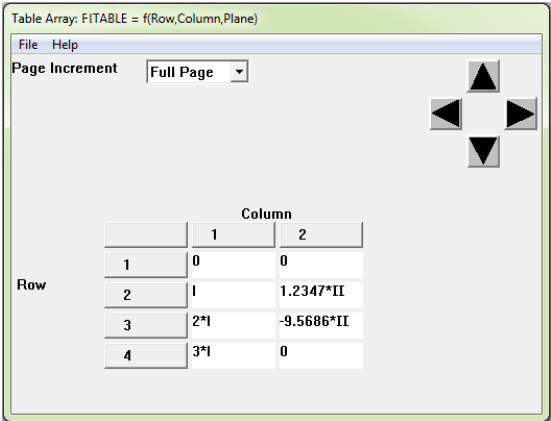
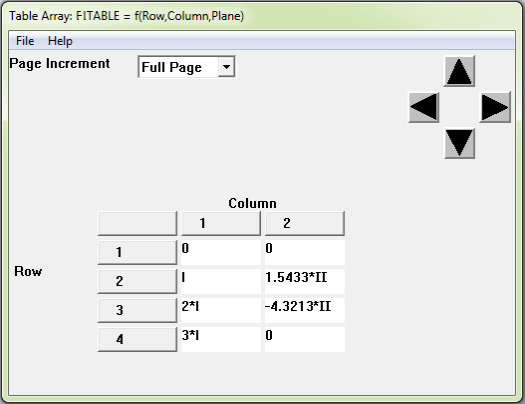
№	Действие	Результат
11	<p><i>Заделки:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Nodes ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 1 и 4 узлы</p> <p>> OK ></p> <p>Lab2 установить "All DOF"</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots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

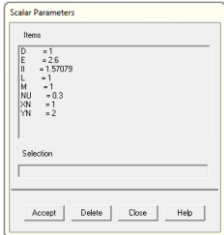
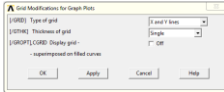
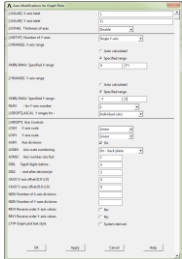
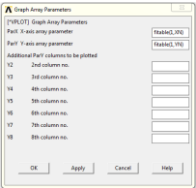
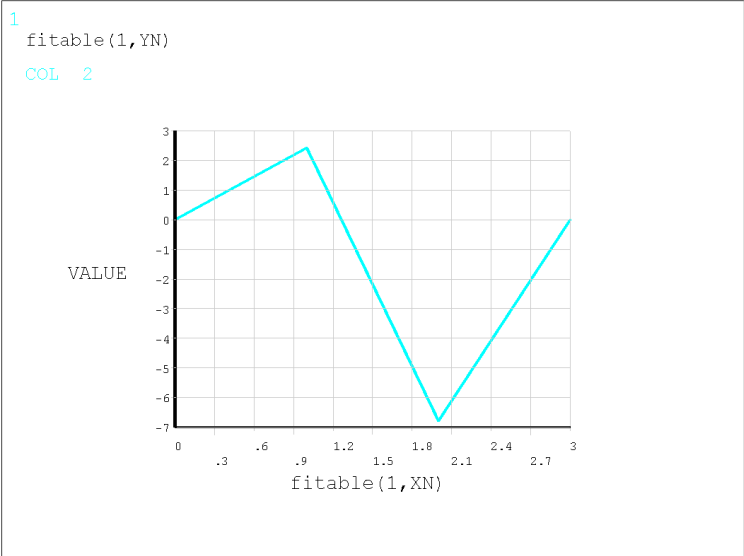
№	Действие	Результат
Расчёт		
13	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS</p> <p>Синхронно появляются два окна: белое информационное и серое исполнительное. Белое закрываем, на сером нажимаем ОК. Расчёт пошёл.</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». 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"> /STATUS Command: A window showing technical parameters for the solution, such as 'PROBLEM DIMENSIONALITY: 3-D', 'DEGREES OF FREEDOM: 0x 0y 0z ROTX ROTY ROTZ', and 'LOAD STEP OPTIONS'. Solve Current Load Step: A 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 has 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons. Note: A small window with an information icon and the text 'Solution is done!' and a 'Close' button.

№	Действие	Результат
Просмотр результатов		
14	<p>Силовая схема:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous" Surface Load Symbols устанавливаем Pressures Show pres and convect as устанавливаем Arrows > OK ></p> <p>В окне "Applied Boundary Conditions"</p> <p>U установить "Off"</p> <p>Rot установить "Off"</p> <p>F установить "Off"</p> <p>M установить "Symbol+Value"</p> <p>> OK ></p> <p>В окне "Reactions"</p> <p>NFOR установить "Off"</p> <p>NMOM установить "Off"</p> <p>RFOR установить "Off"</p> <p>RMOM установить "Symbol+Value"</p> <p>> OK ></p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Elements</p> <p>В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Синим цветом начерчены внешние моменты; - Фиолетовым цветом начерчены реактивные моменты <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 > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10 > OK</p>																
16	<p><i>Составление эюры эюры внутреннего крутящего момента $M_{кр}$:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "4" > Apply > "By sequence num", "SMISC,", "17" > OK > > Close</p>	 <p>The 'Define Additional Element Table Items' dialog boxes show the configuration for adding SMISC items. The 'Element Table Data' window shows the following table:</p> <table border="1" data-bbox="1478 630 2004 893"> <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 $M_{кр}$:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > > Line Elem Res> LabI установить "SMIS4" LabJ установить "SMIS17" > OK</p>  <p><i>Пропечатка эюры внутреннего крутящего момента $M_{кр}$:</i></p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Elem Table Data > Отметить мышью строчку SMIS4 > OK</p>  <p>Получаем тот же результат, что и на рис. 1в. (числа, выделенные синим цветом).</p>	 <p>The PRETAB Command window shows the following output:</p> <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS4 SMIS17 MIN =-.575758 ELEM=2 MAX =2.42424 ELEM=1 M RMOM </pre> <p>The plot shows a stress distribution along a line element with values ranging from -0.575758 to 2.42424. A color scale at the bottom indicates the stress values.</p>															

№	Действие	Результат
18	<p>Угловые перемещения точек стержня (таблица):</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > X-Component of rotation > OK</p>  <p>Получаем окно “PRNSOL Command” с табличкой, где NODE – номер узла конечноэлементной модели, а ROTX – его вращение относительно оси X:</p> $\varphi_1 = \varphi_0 = 0 ;$ $\varphi_2 = \varphi_A = 1,543 \cdot \frac{M \cdot l}{G \cdot d^4} \text{ (точное совпадение с рис.1з.);}$ $\varphi_3 = \varphi_B = -4,321 \cdot \frac{M \cdot l}{G \cdot d^4} \text{ (точное совпадение с рис.1з.);}$ $\varphi_4 = \varphi_C = 0 .$ <p>На этом можно было бы урок и закончить. Интересно, однако, прорисовать полученные значения в виде эпюры, к тому же в размерности $\frac{M \cdot l}{G \cdot I}$. 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 1.5433 3 -4.3213 4 0.0000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 3 VALUE -4.3213 </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 > Parameters > Array Parameters > Define/Edit ></p>  <p>> Add ></p> <p>Par="fitable" Type="Table" I, J, K = 4, 2, 1</p> <p>> OK ></p>  <p>> Edit ></p>  <p>Нумеруем столбцы и строки массива. Заполняем массив вручную. Первый столбец – координаты (по возрастанию) узлов, то есть координаты узлов $1^{го}$, $2^{го}$, $3^{го}$ и $4^{го}$ (рис.2). Второй столбец - перемещения ROTX узлов (см. результат действия №18), умноженный на параметр <i>I</i>.</p> <p>> File > Apply/Quit > Close</p>	 <table border="1" data-bbox="1565 783 1830 948"> <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>I</td> <td>1.2347*II</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>2*I</td> <td>-9.5686*II</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>3*I</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>  <table border="1" data-bbox="808 1268 1144 1417"> <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>I</td> <td>1.5433*II</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>2*I</td> <td>-4.3213*II</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>3*I</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>			Column				1	2	Row	1	0	0	2	I	1.2347*II	3	2*I	-9.5686*II	4	3*I	0			Column				1	2	Row	1	0	0	2	I	1.5433*II	3	2*I	-4.3213*II	4	3*I	0
		Column																																										
		1	2																																									
Row	1	0	0																																									
	2	I	1.2347*II																																									
	3	2*I	-9.5686*II																																									
	4	3*I	0																																									
		Column																																										
		1	2																																									
Row	1	0	0																																									
	2	I	1.5433*II																																									
	3	2*I	-4.3213*II																																									
	4	3*I	0																																									

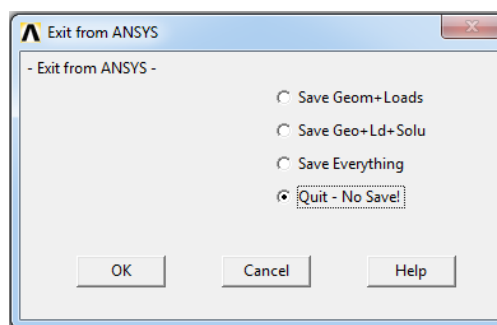
№	Действие	Результат
20	<p>Осевые перемещения сечений стержня (прорисовка эпюры):</p> <p>Параметры, необходимые для построения эпюры: по горизонтальной оси будет откладываться первый столбец массива, по оси ординат – второй столбец массива.</p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters... > XN=1 > Accept > YN=2 > Accept > Close</p> <p>Сетка будет на обеих осях эпюры:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Graphs > Modify Grid > [/GRID] установить "X and Y lines" > OK</p> <p>Горизонтальную ось подписываем "L", вертикальную ось подписываем "φ", интервал по горизонтальной оси устанавливаем от левого конца стержня до правого ($0 \dots 3 \cdot l$), а интервал по вертикальной оси таким, чтобы поместилась эпюра ($-7 \cdot M \cdot l / G / I \dots 3 \cdot M \cdot l / G / I$), см. <i>рис. 1г</i>:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Graphs > Modify Axes > [/AXLAB] X-axis label пишем L [/AXLAB] Y-axis label пишем φ [/XRANGE] установить "Specified range" XMIN, XMAX установить "0" и "3·l" [/YRANGE] установить "Specified range" YMIN, YMAX установить "-7" и "3" > OK</p> <p>Прорисовываем эпюру:</p> <p>U_M > Plot > Array Parameters ParX установить "fitable(1, XN)" ParY установить "fitable(1, YN)" > OK</p>	     <p>Получаем ту же самую эпюру, которая изображена на <i>рис. 1г</i>.</p> <p>Нулевая отметка (ось абсцисс эпюры на уровне нуля) 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.