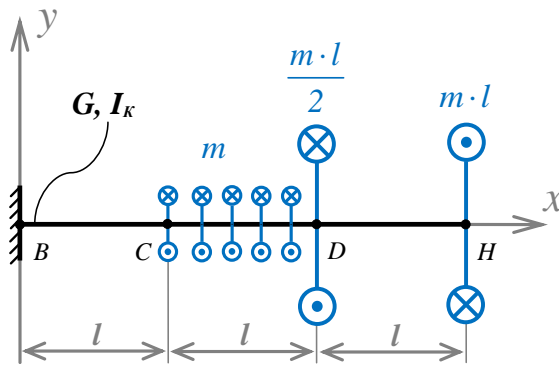


D-04 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: Торсион постоянной жёсткости

нагружен сосредоточенными моментами на конце.

G – модуль сдвига материала;

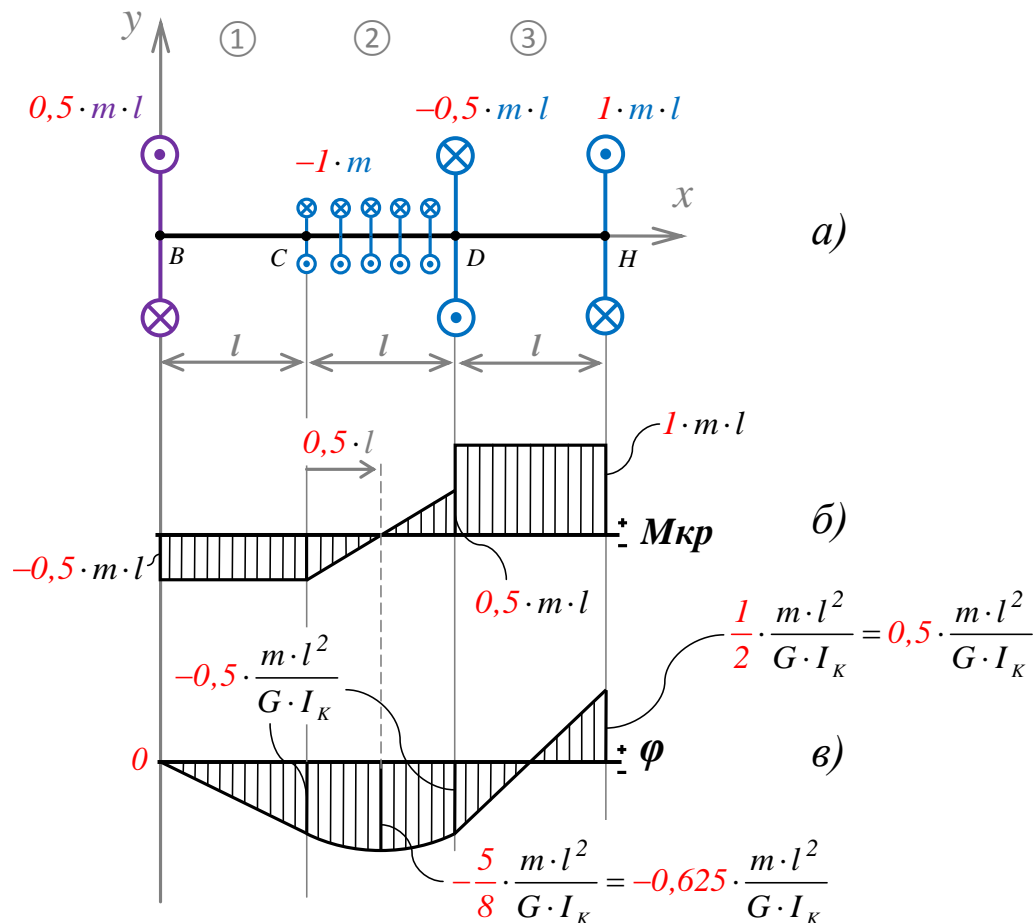
I_k – геометрическая жёсткость при кручении поперечного сечения торсиона.

Вычислить: Эпюру внутреннего крутящего момента $M_{кр}$;

Эпюру угловых перемещений поперечных сечений φ ;

Потенциальную энергию упругого деформирования торсиона U .

Аналитический расчёт (см. [D-04](#)) даёт следующие решения:

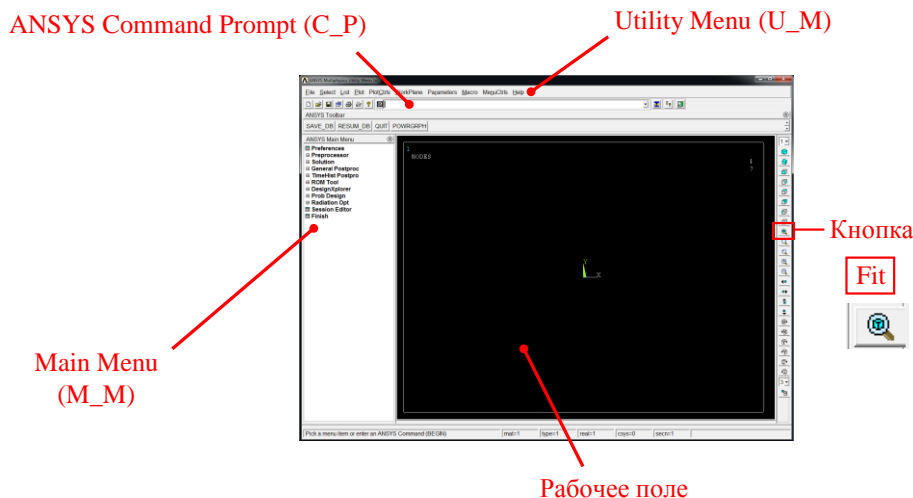


Задача данного примера: при помощи ANSYS Multyphysics получить эти же результаты методом конечных элементов.

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

Предварительные настройки:

Для решения задачи используется ANSYS Multiphysics 14.0:



С меню M_M и U_M работают мышью, выбирая нужные опции.

В окне 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, а также номера узлов модели конечноэлементной:

```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
```

```
Отметить KP, LINE, NODE ;
```

```
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
```

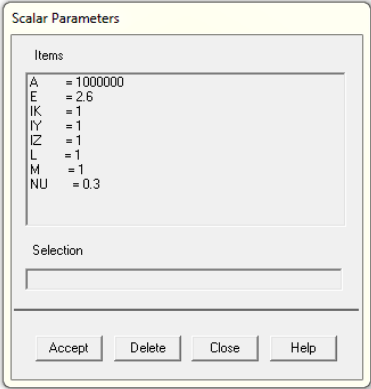
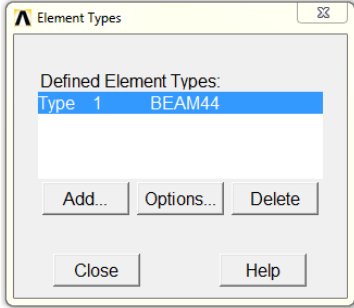
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

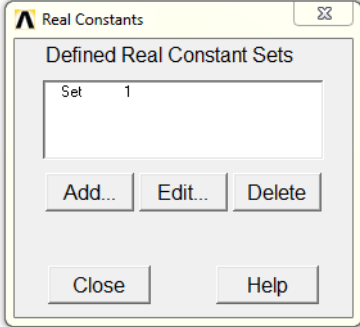
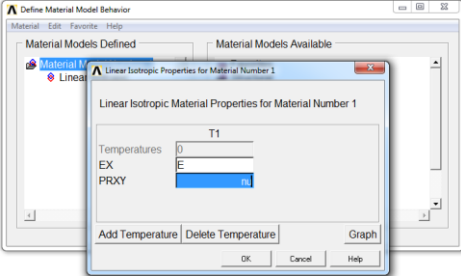
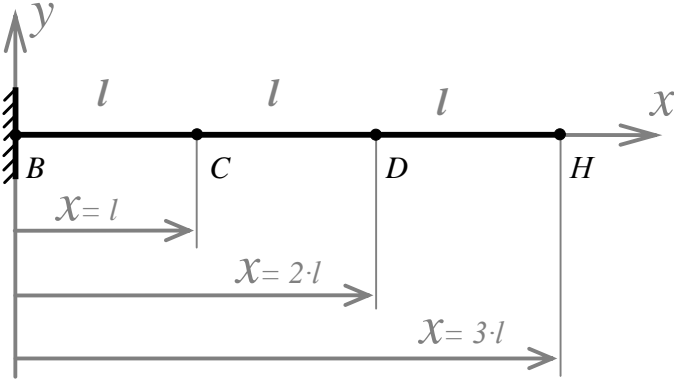
<http://www.tychina.pro/библиотека-задач-1/>



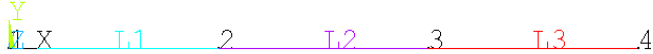
Решение задачи:

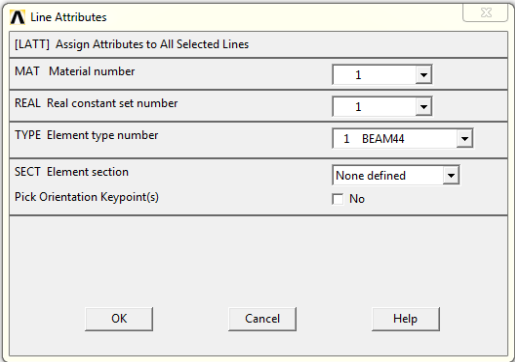
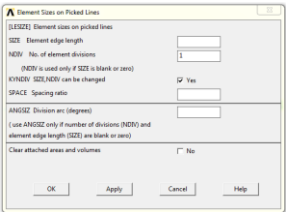
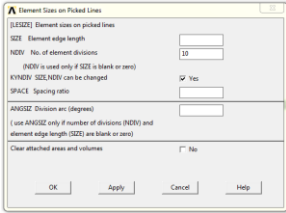
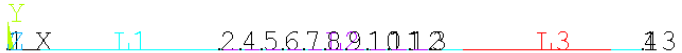
Приравняв G , I_K , m и l к единице, результаты получим в виде коэффициентов перед формулами, обозначенных на *рис. 1*. красным цветом. Модуль упругости второго рода (модуль сдвига) G в свойствах материала явно не задаётся. По известной формуле, связывающей G , E и ν изотропного материала для того, чтобы получить $G=1$ при $\nu=0,3$ требуется задать $E=2,6$.

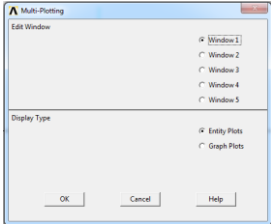
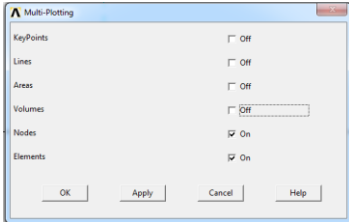
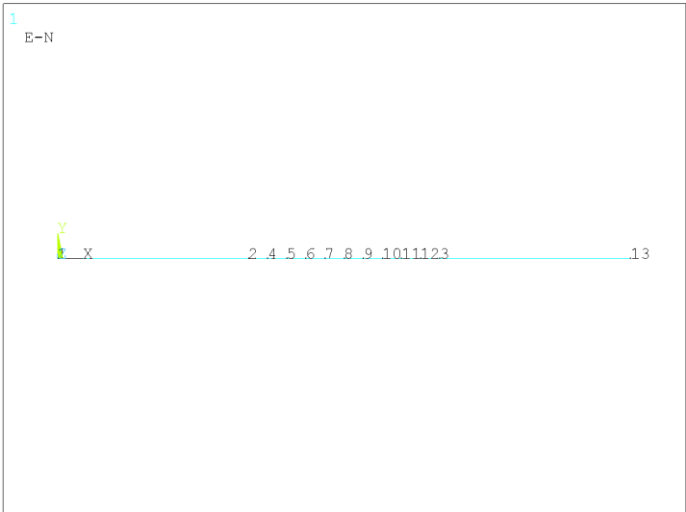
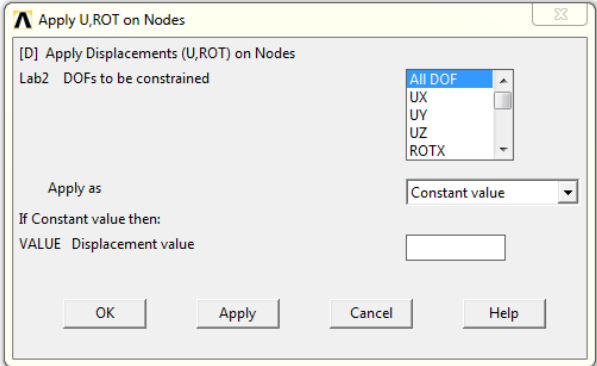
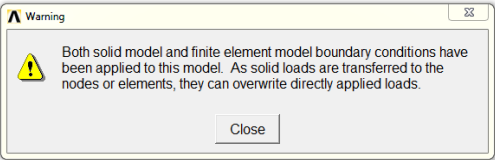
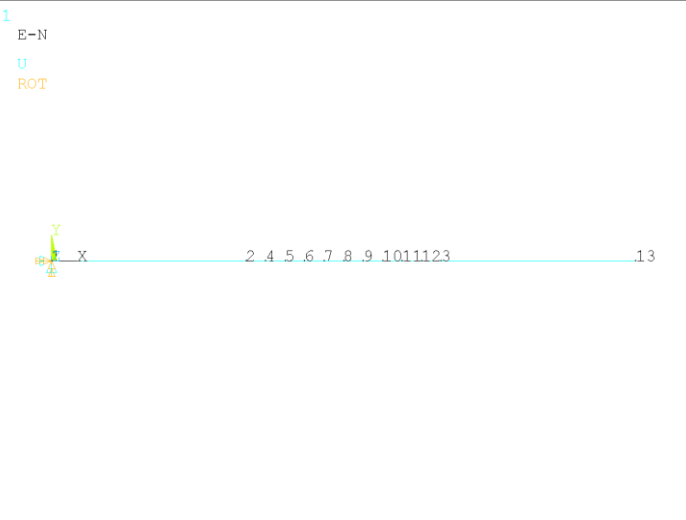
Площади поперечных сечений торсиона A зададим большими, дабы не присутствовало в результатах растяжение/сжатие, а их изгибные моменты инерции I_Y и I_Z для определённости приравняем к I_K .

№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <pre> U_M > Parameters > Scalar Parameters > m=1 > Accept > l=1 > Accept > nu=0.3 > Accept > E=2.6 > Accept > Ik=1 > Accept > Iy=Ik > Accept > Iz=Ik > Accept > A=1e6 > Accept > > Close </pre>	
2	<p><i>Первая строчка в таблице конечных элементов – балочный тип BEAM44:</i></p> <pre> M_M > Preprocessor C_P > ET, 1, BEAM44 > Enter </pre> <p>Посмотрим таблицу конечных элементов:</p> <pre> M_M > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Close </pre>	

№	Действие	Результат
3	<p><i>Реальные константы для элемента BEAM44:</i></p> <p>Первая (и единственная) строка в таблице реальных константот ображает свойства поперечного сечения торсиона:</p> <p><code>C_P > R, 1, A, Iz, Iy, L/100, L/100, Ik > Enter</code></p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант:</p> <p><code>M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Close</code></p>	
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p><code>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic ></code> В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu" > OK</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
Твердотельное моделирование		
5	<p><i>Координаты точек – границ участков:</i></p>	

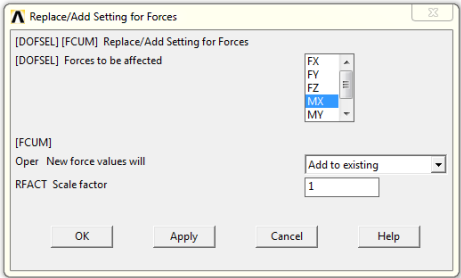
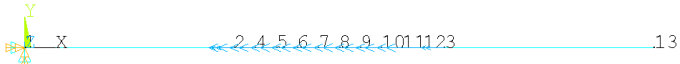
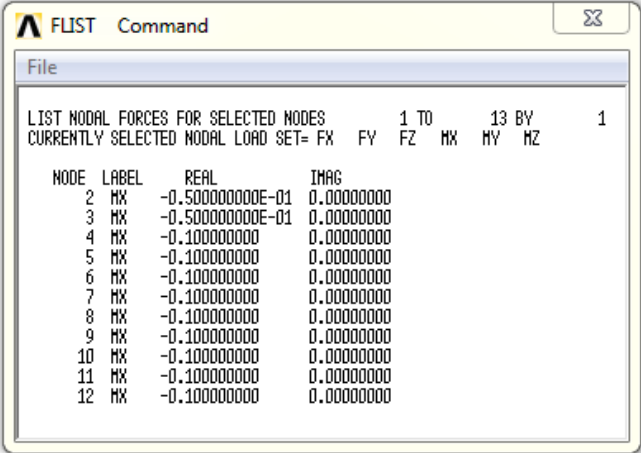
№	Действие	Результат
6	<p><i>Ключевые точки – границы участков (B→1, C→2, D→3, H→4):</i></p> <p>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Keypoints> In Active CS> NPT пишем 1 X,Y,Z пишем 0,0,0 > Apply > NPT пишем 2 X,Y,Z пишем 1,0,0 > Apply > NPT пишем 3 X,Y,Z пишем 2*1,0,0 > Apply > NPT пишем 4 X,Y,Z пишем 3*1,0,0 > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p>	
7	<p><i>Три участка – три линии между точками:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > > Straight Line ></p> <p>Левой кнопкой мыши кликнуть последовательно на ключевые точки 1 и 2 2 и 3 3 и 4 > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

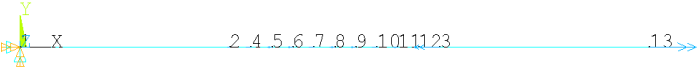
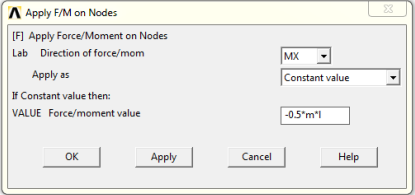
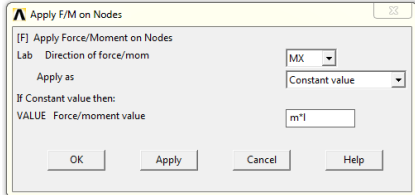
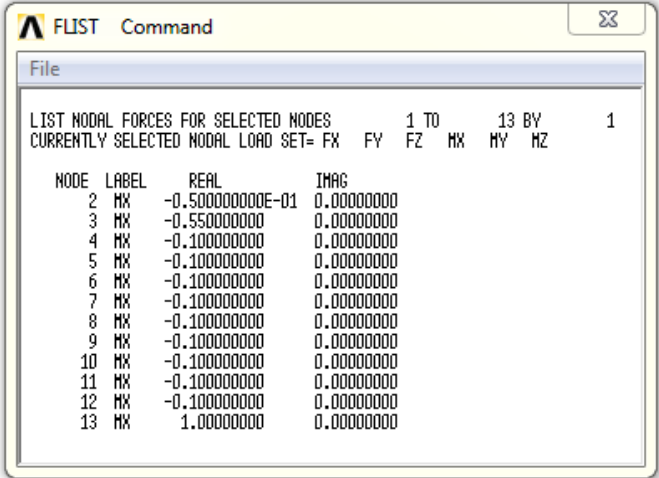
№	Действие	Результат
Конечноэлементная модель		
8	<p><i>Указываем линиям атрибуты разбиения (материал, реальные константы и тип элементов):</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Lines > MAT установить "1" REAL установить "1" TYPE установить "1 BEAM44" > ОК</p>	
9	<p><i>Участки ① и ② без распределённых нагрузок можно бить одним конечным элементом, участок ③ - несколькими, например, десятью:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > > Lines > Picked Lines > Кликнуть последовательно на линии L1 и L3 > ОК > NDIV пишем 1 > Apply > Кликнуть последовательно на линии L2 > ОК > NDIV пишем 10 > ОК</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	  

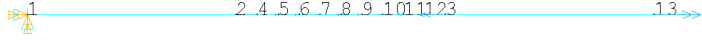
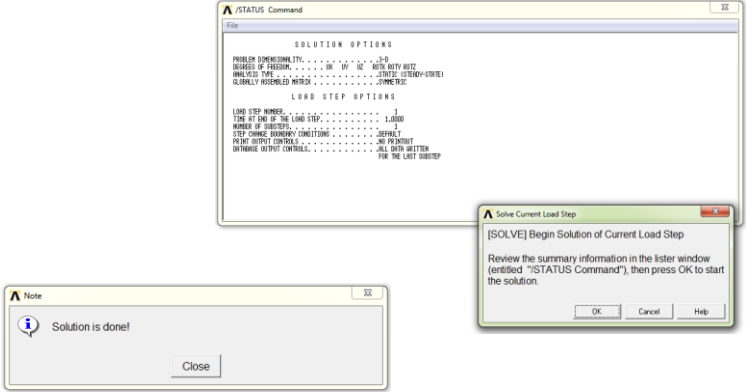
№	Действие	Результат
10	<p>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Multi-Plot Controls... > Появляется первое окно Multi-Plotting > OK ></p> <p>Появляется второе окно Multi-Plotting > Оставляем в нём отметки только напротив Nodes и Elements > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Видим только конечноэлементную модель.</p>	  
11	<p>Заделка:</p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > > Structural > Displacement > On Nodes ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на узел №1 > OK ></p> <p>Lab2 установить "All DOF" > OK</p> <p>Если появится предупреждающее окно «Warning!»</p>   <p>игнорируйте его.</p>	



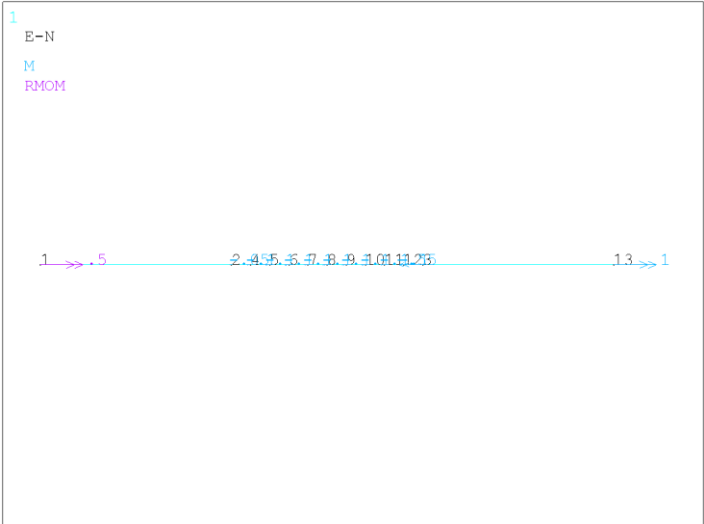
№	Действие	Результат
12	<p>Как прикладывать распределённую крутящую нагрузку?</p> <p>Особой опции (как для приложения к элементам распределённой нагрузки поперечной), для нагрузки крутильной в ANSYSе нет. Поэтому действовать придётся самостоятельно.</p> <p>Суммарный крутящий момент от распределённой нагрузки, действующей на балочный элемент, мы к элементу приложить не можем, только к его узлам. Делим суммарный момент надвое. Половина прикладывается к начальному узлу элемента, половина – к его конечному узлу. Моменты от соседних элементов в узлах складываются. Нечему складываться только на двух крайних узлах участка.</p> <p>Получается, если на участок длиной L действует распределённый момент m, а участок разбит на n элементов, то на каждый внутренний узел участка должен действовать сосредоточенный момент $\frac{m \cdot L}{n}$ а на два крайних узла – момент $\frac{m \cdot L}{2 \cdot n}$.</p> <p>Или в нашем случае для участка ②):</p> $\frac{m \cdot L}{n} = \frac{m \cdot l}{10} \text{ - для внутренних узлов;}$ $\frac{m \cdot L}{2 \cdot n} = \frac{m \cdot l}{2 \cdot 10} = \frac{m \cdot l}{20} \text{ - для крайних узлов.}$ <p>Распределённый момент m формально отрицательный, значит и сосредоточенные моменты, имитирующие его, тоже будут отрицательными.</p>	<p>The diagram illustrates the process of converting a distributed torsional load into discrete concentrated moments. It is divided into three stages:</p> <ol style="list-style-type: none"> Top Stage: A horizontal beam of length L is divided into n segments by nodes labeled 1, 2, 3, ..., n. A distributed load m is applied downwards. The length of each segment is L/n. Middle Stage: The distributed load is replaced by concentrated moments at each node. For internal nodes, the moment is $m \cdot \frac{L}{n}$. For the two end nodes, the moment is $m \cdot \frac{L}{2 \cdot n}$. Each node is represented by a circle with a cross (⊗) above it and a circle with a dot (⊙) below it, indicating a counter-clockwise moment. Bottom Stage: The final assembly of these concentrated moments on a beam structure. The moments at the ends are $\frac{m \cdot L}{2 \cdot n}$ and the moments at the internal nodes are $\frac{m \cdot L}{n}$.

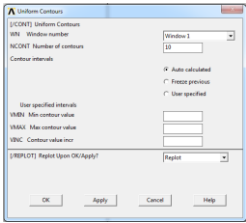
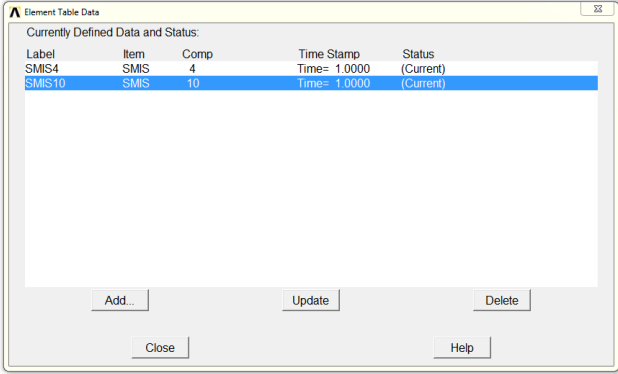
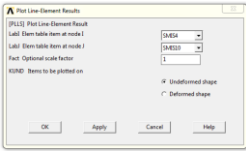
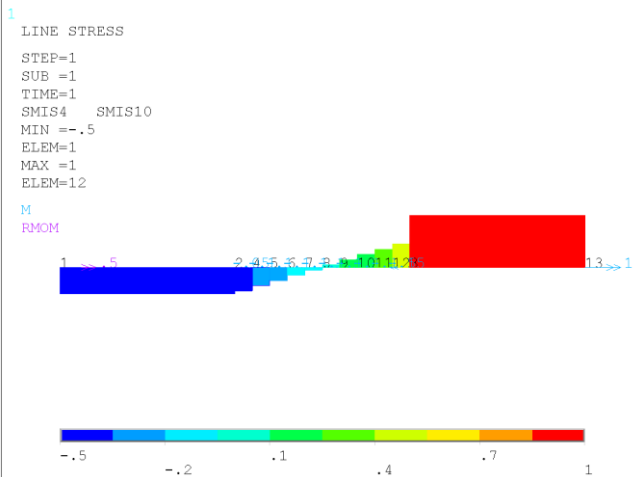
Рис. 1.


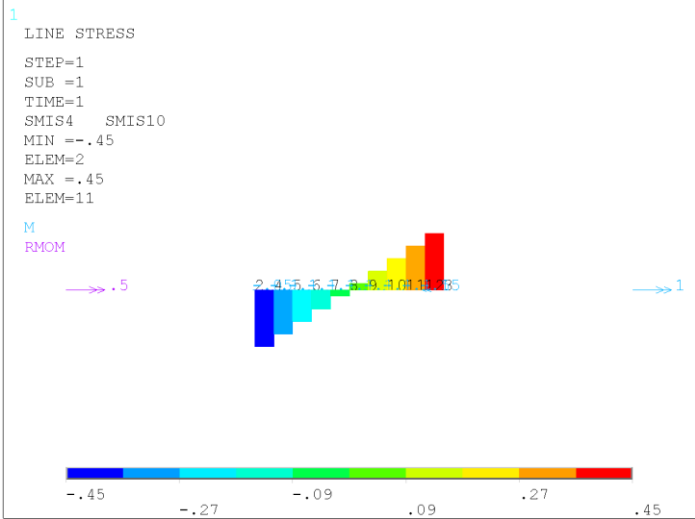
№	Действие	Результат																																																																																																																
13	<p><i>Внешние крутящие моменты, последовательно прикладываемые к узлам модели, будут в них не замещаться, а суммироваться:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Settings > > Replace vs Add > Forces > В поле [DOFSEL] выбираем "MX" В поле [FCUM] выбираем "Add to existing" > OK</p>																																																																																																																	
14	<p><i>Распределённая нагрузка:</i></p> <p>Прикладываем:</p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > > Structural > Force/Moment > On Nodes > Мышкой кликаем на 9 внутренних узлов участка ② - №№ 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 и 12 > OK > Lab установить "MX" VALUE установить "$-m \cdot l / 10$" > Apply ></p> <p>Мышкой кликаем на 2 крайних узла участка ② - №№ 2 и 3 > OK > Lab установить "MX" VALUE установить "$-m \cdot l / 20$" > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Проверяем:</p> <p>U_M > List > Loads > Forces > On All Nodes</p> <p>Видим крутящий момент -0,1 на внутренних узлах (это как раз $-m \cdot l / 10$) и момент -0,05 на внутренних узлах (это $m \cdot l / 20$).</p>	  <table border="1"> <thead> <tr> <th>FILE</th> <th colspan="7">LIST NODAL FORCES FOR SELECTED NODES 1 TO 13 BY 1</th> </tr> <tr> <th></th> <th colspan="7">CURRENTLY SELECTED NODAL LOAD SET= FX FY FZ MX MY MZ</th> </tr> <tr> <th>NODE</th> <th>LABEL</th> <th>REAL</th> <th>IMAG</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>MX</td> <td>-0.500000000E-01</td> <td>0.00000000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>MX</td> <td>-0.500000000E-01</td> <td>0.00000000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>MX</td> <td>-0.100000000</td> <td>0.00000000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>MX</td> <td>-0.100000000</td> <td>0.00000000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>MX</td> <td>-0.100000000</td> <td>0.00000000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>MX</td> <td>-0.100000000</td> <td>0.00000000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>MX</td> <td>-0.100000000</td> <td>0.00000000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>MX</td> <td>-0.100000000</td> <td>0.00000000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>MX</td> <td>-0.100000000</td> <td>0.00000000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>MX</td> <td>-0.100000000</td> <td>0.00000000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>MX</td> <td>-0.100000000</td> <td>0.00000000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	FILE	LIST NODAL FORCES FOR SELECTED NODES 1 TO 13 BY 1								CURRENTLY SELECTED NODAL LOAD SET= FX FY FZ MX MY MZ							NODE	LABEL	REAL	IMAG					2	MX	-0.500000000E-01	0.00000000					3	MX	-0.500000000E-01	0.00000000					4	MX	-0.100000000	0.00000000					5	MX	-0.100000000	0.00000000					6	MX	-0.100000000	0.00000000					7	MX	-0.100000000	0.00000000					8	MX	-0.100000000	0.00000000					9	MX	-0.100000000	0.00000000					10	MX	-0.100000000	0.00000000					11	MX	-0.100000000	0.00000000					12	MX	-0.100000000	0.00000000				
FILE	LIST NODAL FORCES FOR SELECTED NODES 1 TO 13 BY 1																																																																																																																	
	CURRENTLY SELECTED NODAL LOAD SET= FX FY FZ MX MY MZ																																																																																																																	
NODE	LABEL	REAL	IMAG																																																																																																															
2	MX	-0.500000000E-01	0.00000000																																																																																																															
3	MX	-0.500000000E-01	0.00000000																																																																																																															
4	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																															
5	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																															
6	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																															
7	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																															
8	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																															
9	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																															
10	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																															
11	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																															
12	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																															

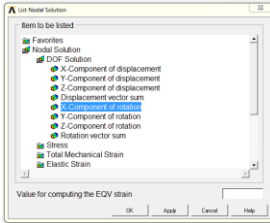
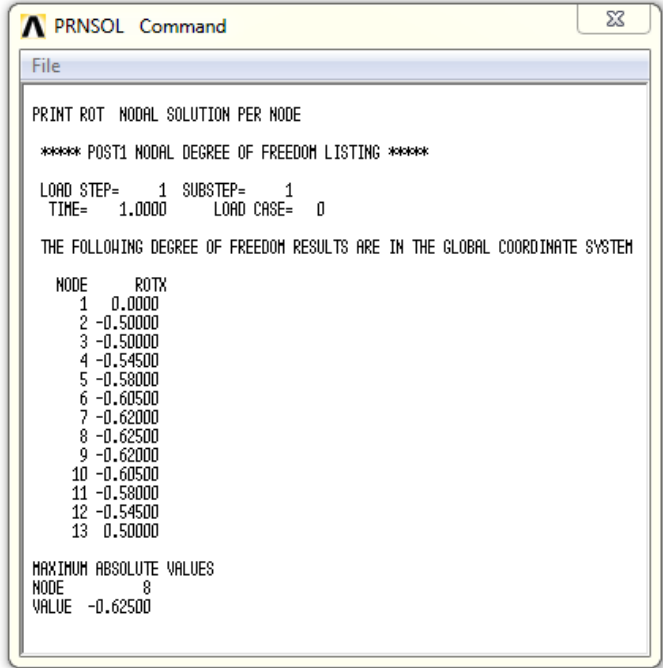
№	Действие	Результат																																																																																																																																																			
15	<p><i>Сосредоточенные моменты:</i></p> <p>Прикладываем:</p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > > Structural > Force/Moment > On Nodes ></p> <p>Мышкой кликаем на узел № 3 > OK ></p> <p>Lab установить "MX"</p> <p>VALUE установить "-0.5*m*l"</p> <p>> Apply ></p> <p>Мышкой кликаем на узел № 13 > OK ></p> <p>Lab установить "MX"</p> <p>VALUE установить "m*l"</p> <p>> OK</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Векторы крутящих моментов перерисовались в соответствии с изменившимся масштабом.</p> <p>Проверяем:</p> <p>U_M > List > Loads > Forces > On All Nodes</p> <p>Видим, как в узле №3 сосредоточенный момент -0,5 суммировался с частью распределённого момента -0,05.</p>	    <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">LIST NODAL FORCES FOR SELECTED NODES</th> <th>1 TO</th> <th>13 BY</th> <th>1</th> </tr> <tr> <th colspan="4">CURRENTLY SELECTED NODAL LOAD SET=</th> <th>FX</th> <th>FY</th> <th>FZ</th> <th>MX</th> <th>MY</th> <th>MZ</th> </tr> <tr> <th>NODE</th> <th>LABEL</th> <th>REAL</th> <th>IMAG</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2</td><td>MX</td><td>-0.500000000E-01</td><td>0.00000000</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>MX</td><td>-0.550000000</td><td>0.00000000</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>MX</td><td>-0.100000000</td><td>0.00000000</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>MX</td><td>-0.100000000</td><td>0.00000000</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>MX</td><td>-0.100000000</td><td>0.00000000</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>MX</td><td>-0.100000000</td><td>0.00000000</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>MX</td><td>-0.100000000</td><td>0.00000000</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>MX</td><td>-0.100000000</td><td>0.00000000</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>MX</td><td>-0.100000000</td><td>0.00000000</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>MX</td><td>-0.100000000</td><td>0.00000000</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>MX</td><td>-0.100000000</td><td>0.00000000</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>MX</td><td>1.000000000</td><td>0.00000000</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	LIST NODAL FORCES FOR SELECTED NODES				1 TO	13 BY	1	CURRENTLY SELECTED NODAL LOAD SET=				FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	NODE	LABEL	REAL	IMAG							2	MX	-0.500000000E-01	0.00000000							3	MX	-0.550000000	0.00000000							4	MX	-0.100000000	0.00000000							5	MX	-0.100000000	0.00000000							6	MX	-0.100000000	0.00000000							7	MX	-0.100000000	0.00000000							8	MX	-0.100000000	0.00000000							9	MX	-0.100000000	0.00000000							10	MX	-0.100000000	0.00000000							11	MX	-0.100000000	0.00000000							12	MX	-0.100000000	0.00000000							13	MX	1.000000000	0.00000000						
LIST NODAL FORCES FOR SELECTED NODES				1 TO	13 BY	1																																																																																																																																															
CURRENTLY SELECTED NODAL LOAD SET=				FX	FY	FZ	MX	MY	MZ																																																																																																																																												
NODE	LABEL	REAL	IMAG																																																																																																																																																		
2	MX	-0.500000000E-01	0.00000000																																																																																																																																																		
3	MX	-0.550000000	0.00000000																																																																																																																																																		
4	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																																																																		
5	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																																																																		
6	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																																																																		
7	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																																																																		
8	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																																																																		
9	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																																																																		
10	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																																																																		
11	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																																																																		
12	MX	-0.100000000	0.00000000																																																																																																																																																		
13	MX	1.000000000	0.00000000																																																																																																																																																		

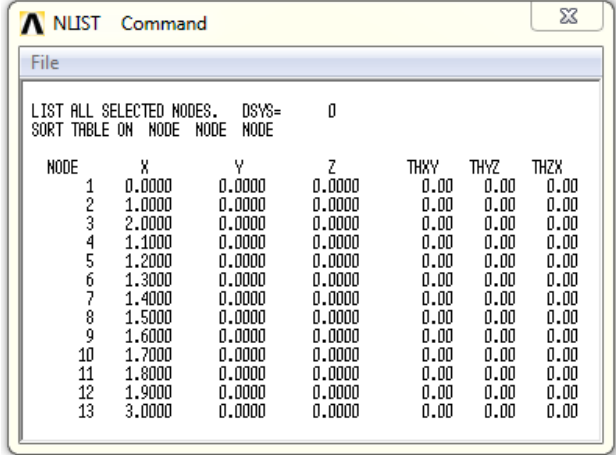
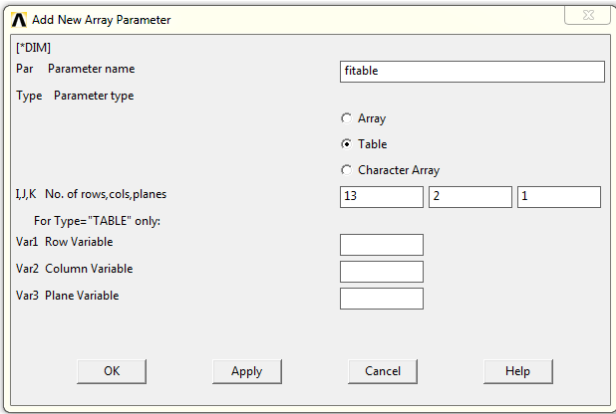
№	Действие	Результат
16	<p><i>Скрываем оси системы координат:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Window Controls > Window Options > [/Triad] установить "Not Shown" > ОК</p>	
Расчёт		
17	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS</p> <p>Синхронно появляются два окна: белое информационное и серое исполнительное. Белое закрываем, на сером нажимаем ОК. Расчёт пошёл. Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно. Расчёт окончен.</p>	

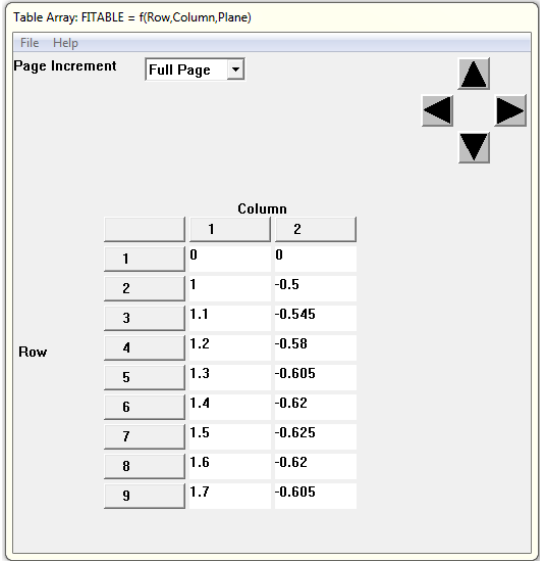
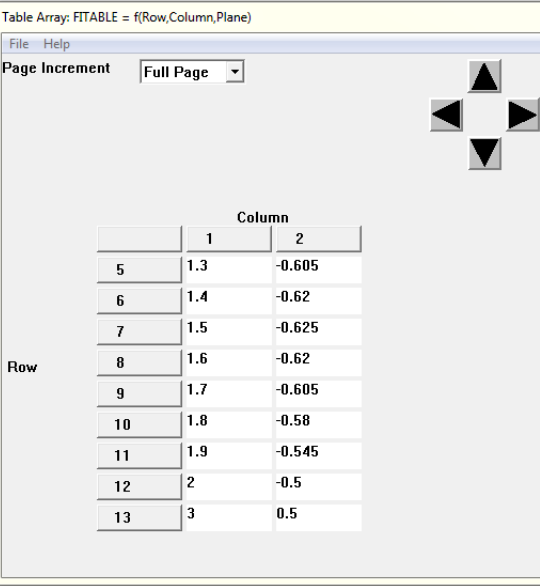
№	Действие	Результат
Просмотр результатов		
18	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual" Убираем галочку с "Miscellaneous" Surface Load Symbols устанавливаем Pressures Show pres and convect as устанавливаем Arrows > OK ></p> <p>В окне "Applied Boundary Conditions"</p> <p>U установить "Off" Rot установить "Off" F установить "Symbol+Value" M установить "Symbol+Value" > OK ></p> <p>В окне "Reactions"</p> <p>NFOR установить "Off" NMOM установить "Off" RFOR установить "Symbol+Value" RMOM установить "Symbol+Value" > OK</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>При необходимости корректируйте масштаб кнопками  или .</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1а</i>.</p>	

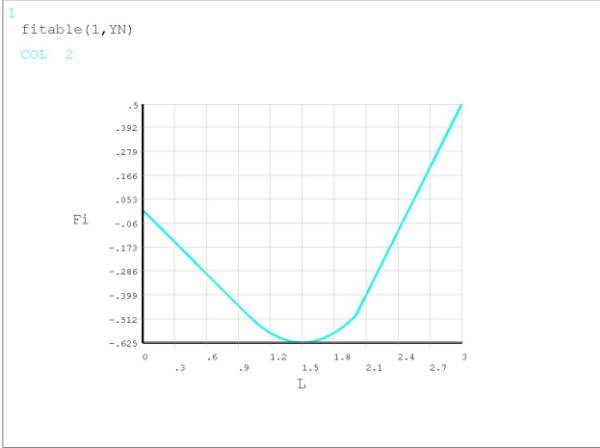
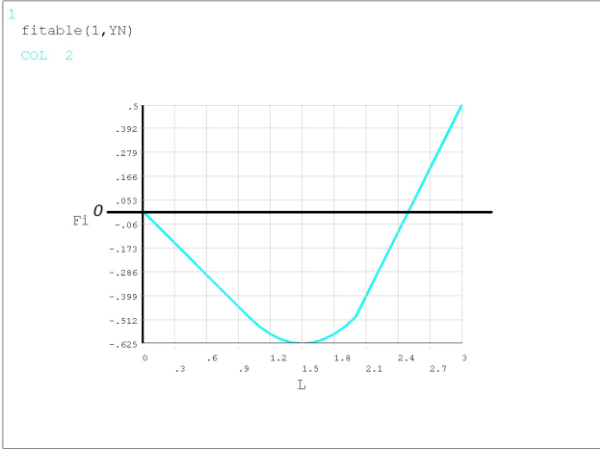
№	Действие	Результат
19	<p>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10 > OK</p>	
20	<p>Вычисление эпюры внутреннего крутящего момента $M_{кр}$:</p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "4" > Apply > "By sequence num", "SMISC,", "10" > OK > > Close</p>	
21	<p>Прорисовка эпюры внутреннего крутящего момента $M_{кр}$:</p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > LabI установить "SMIS4" LabJ установить "SMIS10" > OK</p>  <p>Получаем тот же результат, что и на рис. 1б. (только числа, выделенные на рис. 1б. красным цветом). Наклонная линия эпюры на участке ② представлена ступенчатой диаграммой, разрывы на которой равны моментам, приложенным в соответствующих узлах.</p> <p>Далее эпюру на частке ② рассмотрим подробнее.</p>	

№	Действие	Результат
22	<p>Выделяем балочные конечные элементы участка ②, рассматриваем эпюру только на этом участке:</p> <p>Выделяем десять конечных элементов участка ②:</p> <p>U_M > Select > Entities > Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick" Селектор на "From Full" > OK</p>  <p>Последовательно кликаем левой кнопкой мыши на каждый из десяти элементов участка ② > OK</p> <p>Прорисовываем:</p> <p>U_M > Plot > Replot</p> <p>Видим минимальное (-0,45) и максимальное (+0,45) значения на ступенчатой диаграмме. Вспоминаем: величины ступенек равны величинам приложенных моментов. Значит, если к минимуму и к максимуму прибавить по модулю величины соответствующих крайних моментов ($m \cdot l / 20 = 0.05$, рис. 2) то слева и справа получим значения по 0,5 – такие же, как и должны быть на краях участка ② (рис. 1б.).</p> <p>Выделяем всё:</p> <p>U_M > Select > Everything</p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS4 SMIS10 MIN =-.45 ELEM=2 MAX =.45 ELEM=11 M RMOM </pre>

№	Действие	Результат
23	<p>Угловые перемещения поперечных сечений торсиона (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 поворот относительно глобальной оси X (“+” – против часовой стрелки, “-” – по). Видим эпюру φ (рис. 1в.) в табличном виде. Уже здесь видны опорные значения на узлах - границах участков и экстремальное значение в узле №8, располагающемся в центре участка ②):</p> $\varphi_B = \varphi_1 = ROTX_1 = 0 ;$ $\varphi_C = \varphi_2 = ROTX_2 = -0,5 \cdot \frac{m \cdot l^2}{G \cdot I_K} ;$ $\varphi_D = \varphi_3 = ROTX_3 = -0,5 \cdot \frac{m \cdot l^2}{G \cdot I_K} ;$ $\varphi_H = \varphi_{13} = ROTX_{13} = 0,5 \cdot \frac{m \cdot l^2}{G \cdot I_K} ;$ $\varphi_{max} = \varphi_8 = ROTX_8 = -0,625 \cdot \frac{m \cdot l^2}{G \cdot I_K} .$ <p>Что в точности соответствует значениям эпюры φ на рис. 1в. Если табличное представление недостаточно информативно, можно построить эту эпюру графически (см. далее).</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 -0.50000 3 -0.50000 4 -0.54500 5 -0.58000 6 -0.60500 7 -0.62000 8 -0.62500 9 -0.62000 10 -0.60500 11 -0.58000 12 -0.54500 13 0.50000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 8 VALUE -0.62500 </pre>

№	Действие	Результат
24	<p>Осевая координата X узлов модели:</p> <pre>U_M > List > Nodes... > OK</pre>	 <p>The screenshot shows the 'NLIST Command' dialog box with the following content:</p> <pre> LIST ALL SELECTED NODES. DSYS= 0 SORT TABLE ON NODE NODE NODE NODE X Y Z THXY THYZ THZX 1 0.0000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00 2 1.0000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00 3 2.0000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00 4 1.1000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00 5 1.2000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00 6 1.3000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00 7 1.4000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00 8 1.5000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00 9 1.6000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00 10 1.7000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00 11 1.8000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00 12 1.9000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00 13 3.0000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00 </pre>
25	<p>Массив для эюры:</p> <p>Создаём массив-таблицу с названием, например, <i>wtable</i> :</p> <pre>U_M > Parameters > Array Parameters > Define/Edit > Add > Par="fitable" Type="Table" I, J, K = 13, 2, 1 > OK > Close ></pre>	 <p>The screenshot shows the 'Add New Array Parameter' dialog box with the following configuration:</p> <ul style="list-style-type: none"> Parameter name: <input type="text" value="fitable"/> Parameter type: <input checked="" type="radio"/> Table I, J, K No. of rows, cols, planes: <input type="text" value="13"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="1"/> For Types "TABLE" only: <ul style="list-style-type: none"> Var1 Row Variable: <input type="text"/> Var2 Column Variable: <input type="text"/> Var3 Plane Variable: <input type="text"/> Buttons: OK, Apply, Cancel, Help

№	Действие	Результат																																																																								
26	<p><i>Заполняем массив значениями эпюры:</i></p> <p>U_M > Parameters > Array Parameters > Define/Edit > Кликаем мышкой на строчку FITABLE > Edit ></p> <p>Нумеруем столбец и строки массива. Заполняем массив вручную.</p> <p>Первый столбец – координаты узлов по возрастанию координаты (см. действие 24), то есть координаты узлов 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 3, 13.</p> <p>Второй столбец – поворот ROTX узлов (см. действие №23).</p> <p>> File > Apply/Quit > Close</p>	 <p>Table Array: FITABLE = f(Row,Column,Plane)</p> <p>File Help</p> <p>Page Increment Full Page</p> <table border="1"> <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="9">Row</th> <th>1</th> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>2</th> <td>1</td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <th>3</th> <td>1.1</td> <td>-0.545</td> </tr> <tr> <th>4</th> <td>1.2</td> <td>-0.58</td> </tr> <tr> <th>5</th> <td>1.3</td> <td>-0.605</td> </tr> <tr> <th>6</th> <td>1.4</td> <td>-0.62</td> </tr> <tr> <th>7</th> <td>1.5</td> <td>-0.625</td> </tr> <tr> <th>8</th> <td>1.6</td> <td>-0.62</td> </tr> <tr> <th>9</th> <td>1.7</td> <td>-0.605</td> </tr> </tbody> </table>  <p>Table Array: FITABLE = f(Row,Column,Plane)</p> <p>File Help</p> <p>Page Increment Full Page</p> <table border="1"> <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="9">Row</th> <th>5</th> <td>1.3</td> <td>-0.605</td> </tr> <tr> <th>6</th> <td>1.4</td> <td>-0.62</td> </tr> <tr> <th>7</th> <td>1.5</td> <td>-0.625</td> </tr> <tr> <th>8</th> <td>1.6</td> <td>-0.62</td> </tr> <tr> <th>9</th> <td>1.7</td> <td>-0.605</td> </tr> <tr> <th>10</th> <td>1.8</td> <td>-0.58</td> </tr> <tr> <th>11</th> <td>1.9</td> <td>-0.545</td> </tr> <tr> <th>12</th> <td>2</td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <th>13</th> <td>3</td> <td>0.5</td> </tr> </tbody> </table>			Column				1	2	Row	1	0	0	2	1	-0.5	3	1.1	-0.545	4	1.2	-0.58	5	1.3	-0.605	6	1.4	-0.62	7	1.5	-0.625	8	1.6	-0.62	9	1.7	-0.605			Column				1	2	Row	5	1.3	-0.605	6	1.4	-0.62	7	1.5	-0.625	8	1.6	-0.62	9	1.7	-0.605	10	1.8	-0.58	11	1.9	-0.545	12	2	-0.5	13	3	0.5
		Column																																																																								
		1	2																																																																							
Row	1	0	0																																																																							
	2	1	-0.5																																																																							
	3	1.1	-0.545																																																																							
	4	1.2	-0.58																																																																							
	5	1.3	-0.605																																																																							
	6	1.4	-0.62																																																																							
	7	1.5	-0.625																																																																							
	8	1.6	-0.62																																																																							
	9	1.7	-0.605																																																																							
		Column																																																																								
		1	2																																																																							
Row	5	1.3	-0.605																																																																							
	6	1.4	-0.62																																																																							
	7	1.5	-0.625																																																																							
	8	1.6	-0.62																																																																							
	9	1.7	-0.605																																																																							
	10	1.8	-0.58																																																																							
	11	1.9	-0.545																																																																							
	12	2	-0.5																																																																							
	13	3	0.5																																																																							

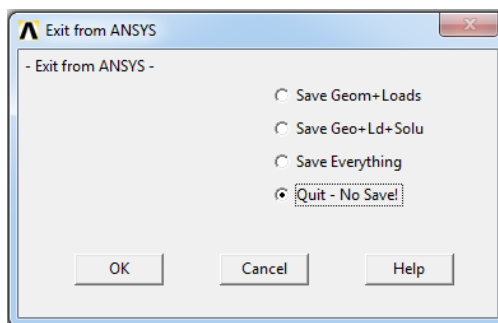
№	Действие	Результат
27	<p><i>Прорисовка эпюры F_i:</i></p> <p>Параметры, необходимые для построения эпюры: по горизонтальной оси будет откладываться первый столбец массива, по оси ординат – второй столбец массива.</p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters... > XN=1 > Accept > YN=2 > Accept > Close</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 "Fi", интервал по горизонтальной оси устанавливаем от левого конца стержня до правого (0...3*L), а интервал по вертикальной оси таким, чтобы поместилась эпюра (-0,625...0,5):</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Graphs > Modify Axes > [/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 "-0.625" и "0.5" > 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>Результат</p>  <p>Начинается график от нуля (левое значение). Если «сфотографировать» рисунок и на этом уровне провести нулевую отметку, сходство полученного графика с <i>рис. 1в.</i> становится очевидным:</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.