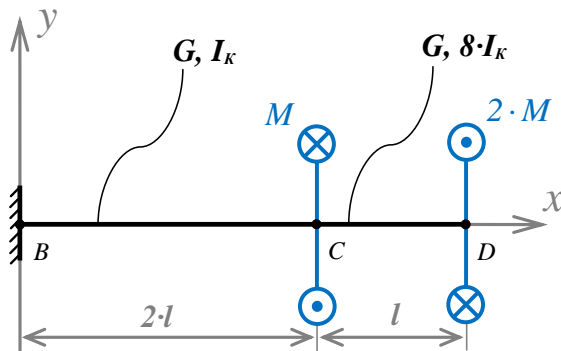


## D-03 (ANSYS)

Формулировка задачи:



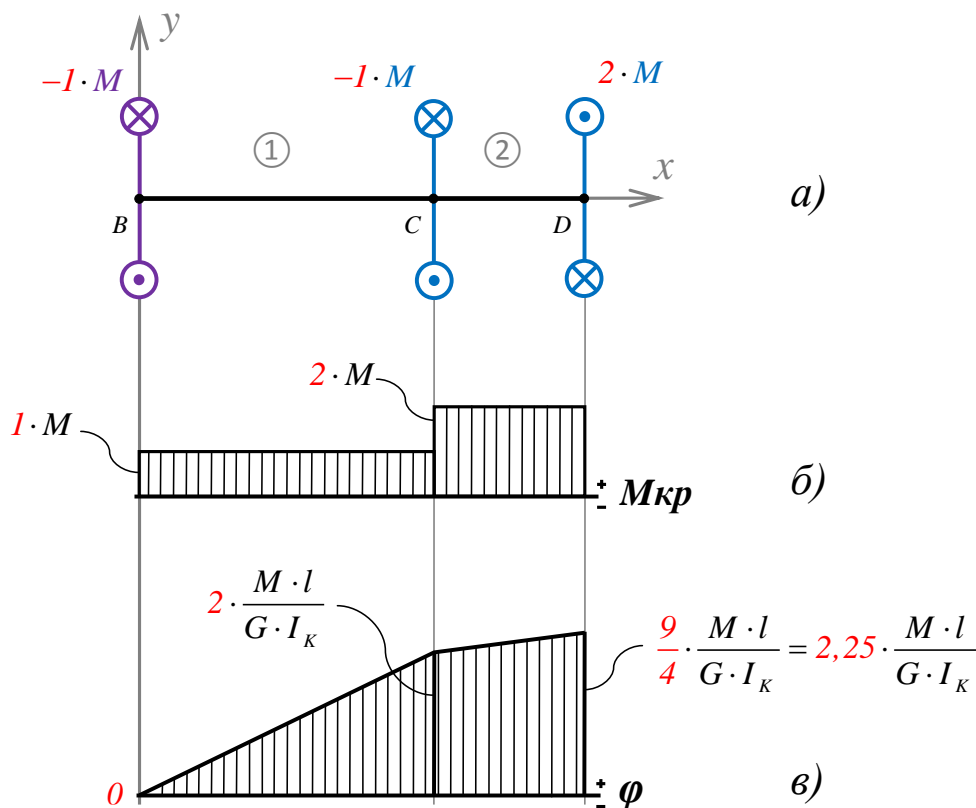
*Дано:* Торсион постоянной жёсткости нагружен сосредоточенными моментами на конце.  
 $G$  – модуль сдвига материала;  
 $I_K$  – геометрическая жёсткость при кручении поперечного сечения торсиона.

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

Эпюру угловых перемещений поперечных сечений  $\varphi$ ;

Потенциальную энергию упругого деформирования торсиона  $U$ .

Аналитический расчёт (см. [D-03](#)) даёт следующие решения:

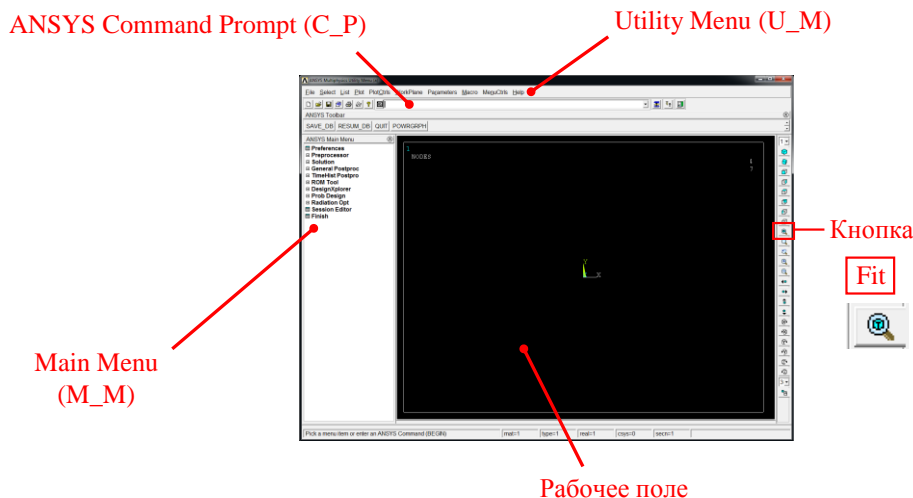


$$\begin{aligned}
 \text{в)} \quad U &= \frac{5}{4} \cdot \frac{M^2 \cdot l}{G \cdot I_K} = \\
 &= 1,25 \cdot \frac{M^2 \cdot l}{G \cdot I_K}
 \end{aligned}$$

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

## Предварительные настройки:

Для решения задачи используется ANSYS Multiphysics 14.0:



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

В 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
```

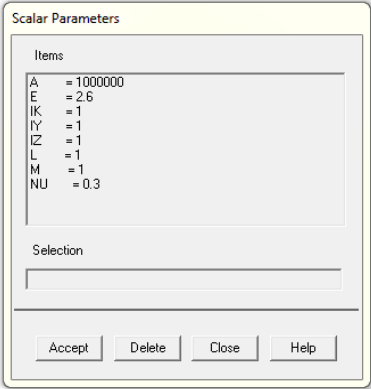
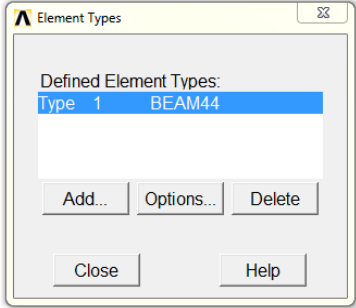
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

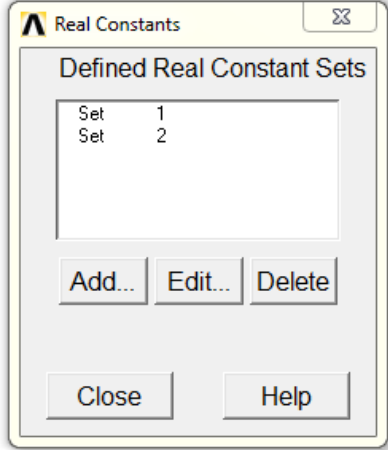
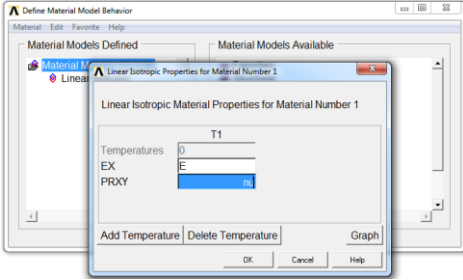
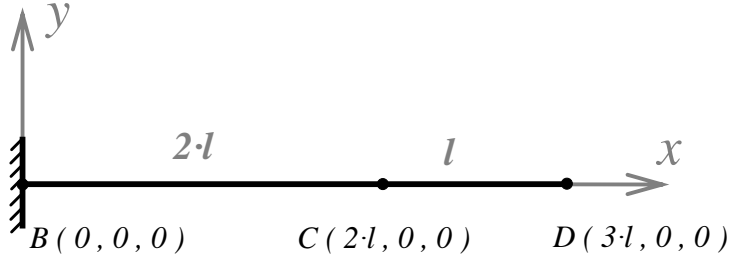
<http://www.tychina.pro/библиотека-задач-1/>



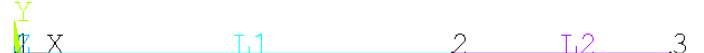
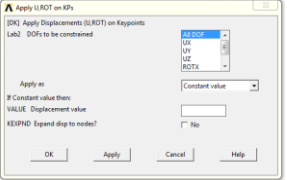

Решение задачи:


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  $\nu$  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  $I_K$ .

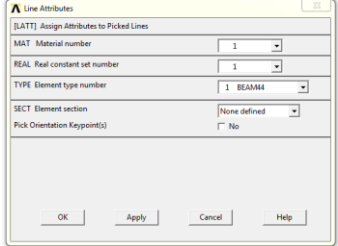
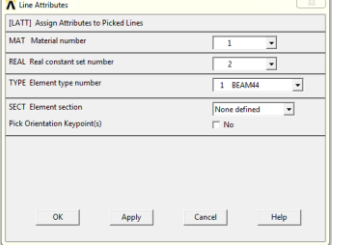
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;            A=1e6 &gt; Accept &gt;            Ik=1 &gt; Accept &gt;            Iy=Ik &gt; Accept &gt;            Iz=Ik &gt; Accept &gt;            E=2.6 &gt; Accept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

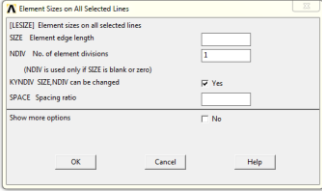


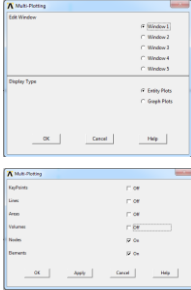

№	Действие	Результат
3	<p><i>Реальные константы для элемента BEAM44:</i></p> <p>Первая строчка в таблице реальных констант ображает свойства поперечного сечения участка ① торсиона:</p> <p><code>C_P &gt; R, 1, A, Iz, Iy, L/100, L/100, Ik &gt; Enter</code></p> <p>Вторая строчка в таблице реальных констант повторяет первую за исключением геометрической жёсткости при кручении <math>I_k</math>. Она предназначена для участка ② торсиона:</p> <p><code>C_P &gt; R, 2, A, Iz, Iy, L/100, L/100, 8*I_k &gt; Enter</code></p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант:</p> <p><code>M_M &gt; Preprocessor &gt; Real Constants &gt; Add/Edit/Delete &gt; Close</code></p>	
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p><code>M_M &gt; Preprocessor &gt; Material Props &gt; Material Models &gt; Structural &gt; Linear &gt; Elastic &gt; Isotropic &gt;</code></p> <p>В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu"</p> <p>&gt; OK</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
<b>Твердотельное моделирование</b>		
5	<p><i>Координаты точек – границ участков:</i></p>	


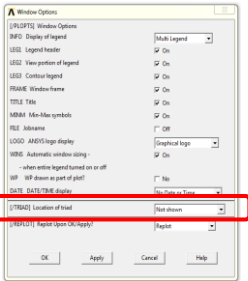

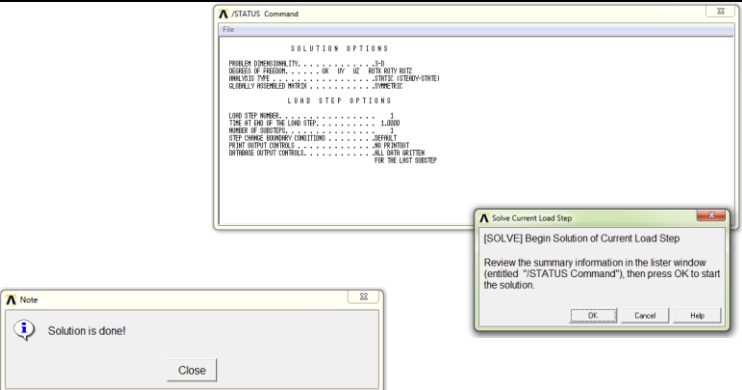
№	Действие	Результат
6	<p><i>Ключевые точки – границы участков (B→1, C→2, D→3):</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Keypoints &gt; In Active CS &gt; NPT пишем 1  X, Y, Z пишем 0, 0, 0 &gt; Apply &gt;  NPT пишем 2  X, Y, Z пишем 2*l, 0, 0 &gt; Apply &gt;  NPT пишем 3  X, Y, Z пишем 3*l, 0, 0 &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p>	
7	<p><i>Два участка – две линии между точками:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Lines &gt; Lines &gt; &gt; Straight Line &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши кликнуть последовательно на ключевые точки 1 и 2  2 и 3  &gt; OK</p>	
8	<p><i>Заделка:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; &gt; Structural &gt; Displacement &gt; On Keypoints &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 1 ключевую точку  &gt; OK &gt;</p> <p>Lab2 установить "All DOF"  &gt; OK</p> 	

№	Действие	Результат
9	<p><i>Нагрузка (моменты прорисовываются векторами – двуглавыми стрелками):</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; &gt; Structural &gt; Force/Moment &gt; On Keypoints &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши кликнуть на ключевую точку 2 &gt; OK &gt;</p> <p>Lab установить "MX" VALUE установить "-M"</p> <p>&gt; Apply &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши кликнуть на ключевую точку 3 &gt; OK &gt;</p> <p>Lab установить "MX" VALUE установить "2*M"</p> <p>&gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	



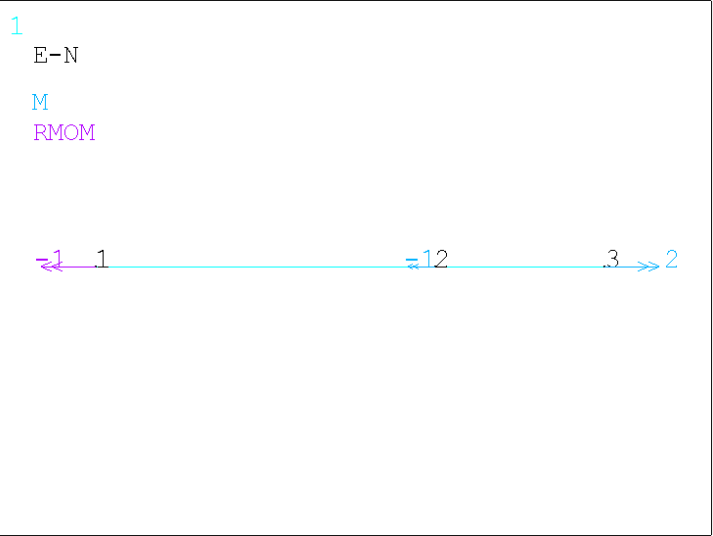
### Конечноэлементная модель

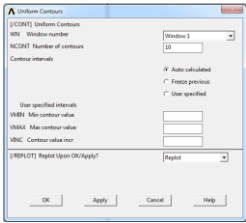
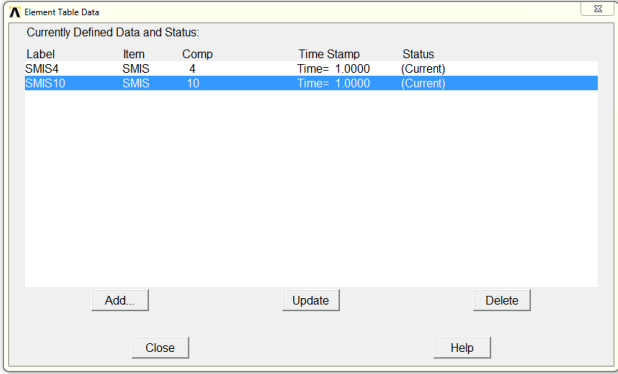
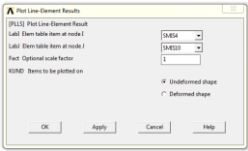

10	<p><i>Указываем материал, реальные константы и тип элементов:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh Attributes &gt; Picked Lines &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши кликнуть на линию L1 &gt; OK &gt;</p> <p>MAT установить "1" REAL установить "1" TYPE установить "1 BEAM44" &gt; Apply &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши кликнуть на линию L2 &gt; OK &gt;</p> <p>REAL установить "2" &gt; OK</p>	 
----	---	---

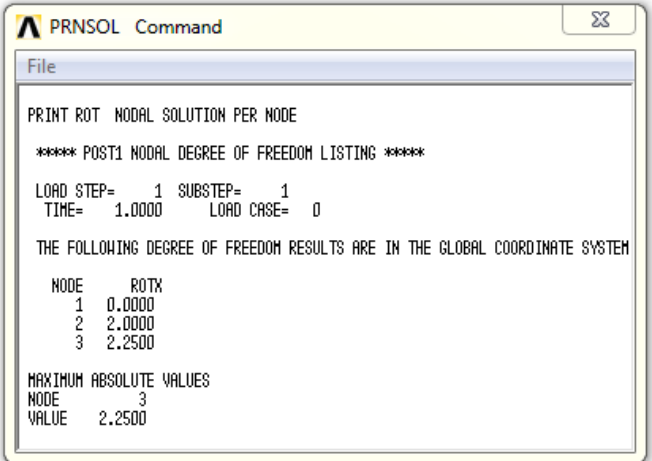
№	Действие	Результат
11	<p><i>Участки без распределённых нагрузок можно бить одним конечным элементом:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Size Cntrls &gt; ManualSize &gt; &gt; Lines &gt; All Lines &gt; NDIV пишем 1 &gt; OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	
12	<p><i>Рабиваем линии на элементы:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh &gt; Lines &gt; Pick All</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Видим одновременно твердотельную и конечноэлементную модели.</p>	
13	<p><i>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Multi-Plot Controls... &gt; Появляется первое окно Multi-Plotting &gt; OK &gt;</p> <p>Появляется второе окно Multi-Plotting &gt; Оставляем в нём отметки только напротив Nodes и Elements &gt; OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Видим только конечноэлементную модель.</p> 	

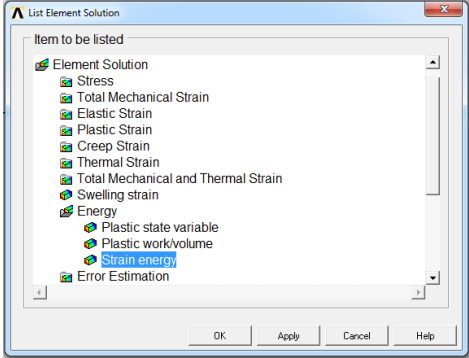
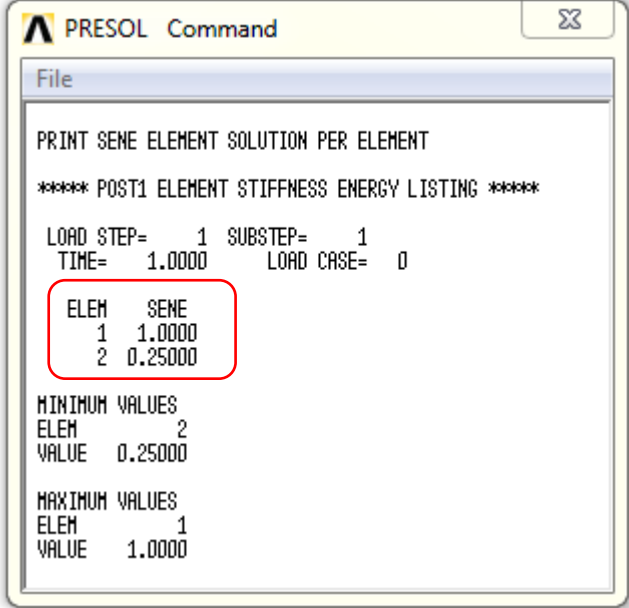
№	Действие	Результат
14	<p>Переносим на конечноэлементную модель нагрузки и закрепления с модели твердотельной:</p> <p>M_M &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Operate &gt; Transfer to FE &gt; &gt; All Solid Lds &gt; OK</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
15	<p>Скрываем оси системы координат:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Window Controls &gt; Window Options &gt; [/Triad] установить "Not Shown" &gt; OK</p> 	
<b>Расчёт</b>		
16	<p>Запускаем расчёт:</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. Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно. Расчёт окончен.</p>	



№	Действие	Результат
<b>Просмотр результатов</b>		
<b>17</b>	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt; [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"  Убираем галочку с "Miscellaneous"  Surface Load Symbols устанавливаем Pressures  Show pres and convect as устанавливаем Arrows  &gt; OK &gt;</p> <p><b>В окне "Applied Boundary Conditions"</b></p> <p>U установить "Off"  Rot установить "Off"  F установить "Symbol+Value"  M установить "Symbol+Value"  &gt; OK &gt;</p> <p><b>В окне "Reactions"</b></p> <p>NFOR установить "Off"  NMOM установить "Off"  RFOR установить "Symbol+Value"  RMOM установить "Symbol+Value"  &gt; OK</p> <p><b>Обновляем изображение:</b></p> <p>U_M &gt; Plot &gt; 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
18	<p>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Contours &gt; Uniform Contours &gt; NCONT пишем 10 &gt; OK</p>	
19	<p>Вычисление эпюры внутреннего крутящего момента <math>M_{кр}</math>:</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,", "10" &gt; OK &gt; &gt; Close</p>	
20	<p>Прорисовка эпюры внутреннего крутящего момента <math>M_{кр}</math>:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Contour Plot &gt; Line Elem Res &gt; LabI установить "SMIS4" LabJ установить "SMIS10" &gt; OK</p>  <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1б.</i> (только числа, выделенные на <i>рис. 1б.</i> красным цветом). Значения показывают надписи слева MAX=-1 и MIN=-1, то есть эпюра прямоугольная – во всех точках имеет одно и то же значение «-1».</p>	

№	Действие	Результат
21	<p>Угловые перемещения поперечных сечений торсиона (таблица):</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt; Nodal Solution &gt; DOF Solution &gt; &gt; X-Component of rotation &gt; &gt; 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 :</p> $\varphi_A = \varphi_1 = ROTX_1 = 0 ;$ $\varphi_C = \varphi_2 = ROTX_2 = 2 \cdot \frac{M \cdot l}{G \cdot I_K} \cdot$ $\varphi_D = \varphi_3 = ROTX_3 = 2,25 \cdot \frac{M \cdot l}{G \cdot I_K} \cdot$ <p>Что в точности соответствует значениям линейной эпюры <math>\varphi</math> на рис. 1в.</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 2.0000 3 2.2500 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 3 VALUE 2.2500 </pre>

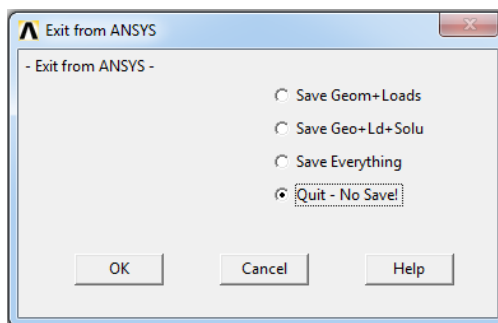
№	Действие	Результат
22	<p>Потенциальная энергия упругой деформации <math>U</math>:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Element Solution &gt; Energy &gt; Strain energy &gt; OK</p>  <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1г.</i>, но не весь сразу, а поэлементно. Складываем потенциальную энергию обоих конечных элементов модели, получаем:</p> $U = (1+0,25) \cdot \frac{M^2 \cdot l}{G \cdot I_K} = 1,25 \cdot \frac{M^2 \cdot l}{G \cdot I_K} \quad [\text{Дж}]$	 <pre> PRESOL Command File PRINT SENE ELEMENT SOLUTION PER ELEMENT **** POST1 ELEMENT STIFFNESS ENERGY LISTING **** LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0 ELEM  SENE 1 1.0000 2 0.25000 MINIMUM VALUES ELEM 2 VALUE 0.25000 MAXIMUM VALUES ELEM 1 VALUE 1.0000 </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.