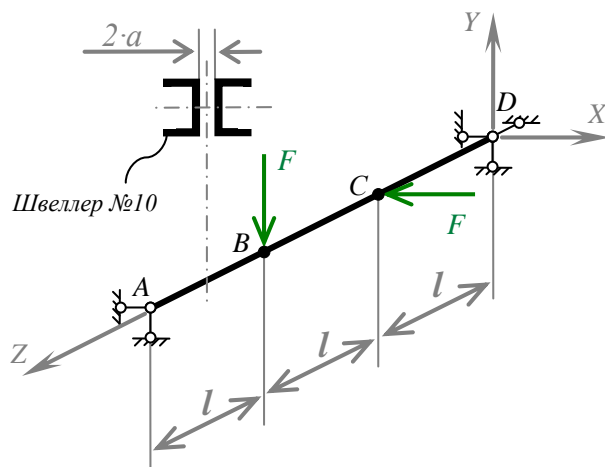


## I-04 (ANSYS)

Формулировка задачи:

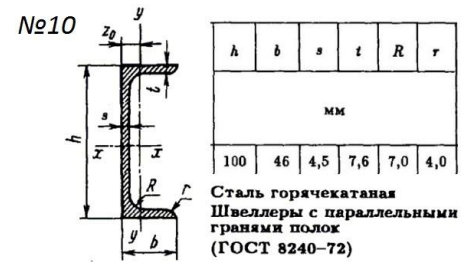


Дано:  $E=2 \cdot 10^5$  МПа ;

$F=2$  кН ;

$l=1$  м ;

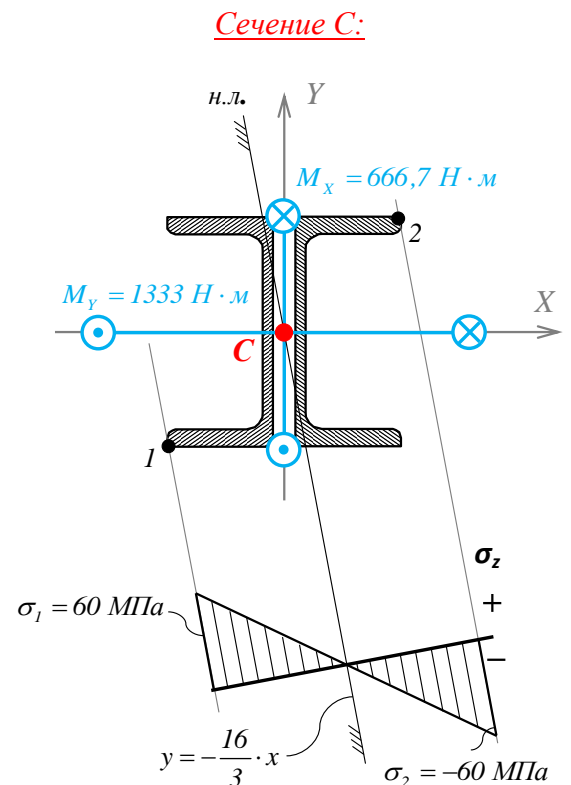
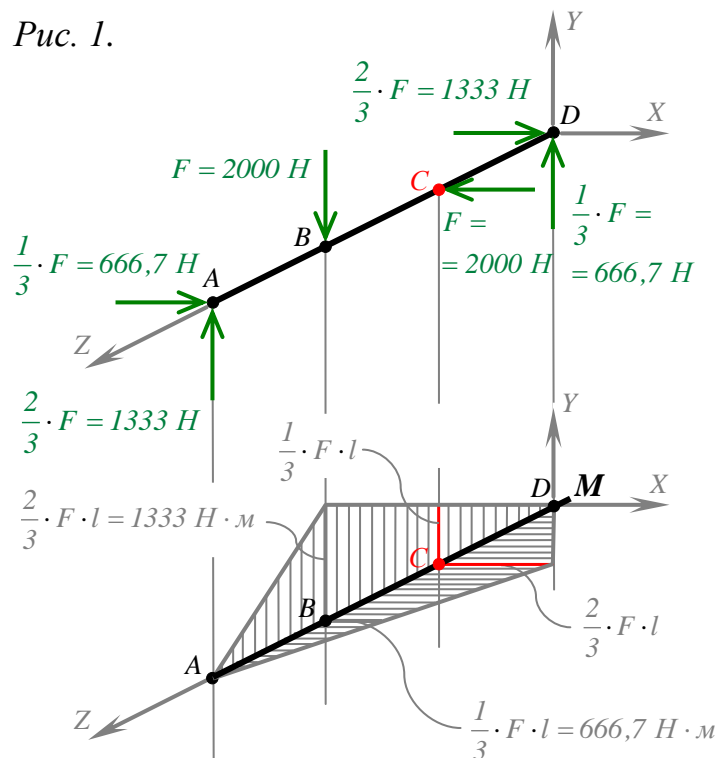
$a=5$  мм .



Найти:  $I_X$ ,  $I_Y$ ,  $\sigma_{max}$ .

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

Рис. 1.



Главные моменты инерции  
поперечного сечения :

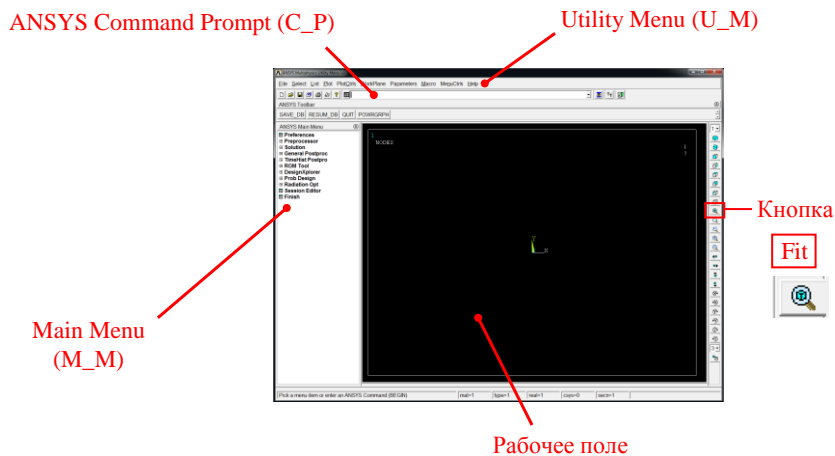
$$I_X = 0,35 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4 ; \quad I_Y = 0,135 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4 .$$

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 окно C\_P вручную вводят текстовые команды, потом **Enter**.

Меняем чёрный цвет фона на белый следующими действиями:

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

Оставить в меню пункты, относящиеся только к прочностным расчётам:

```
M_M > Preferences > Отметить "Structural" > OK
```

Нумеровать ключевые точки, линии, поверхности узлы и элементы:

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

```
Отметить KP, LINE, AREA, 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>
```

```
«Размер» устанавливаем «22»
```

```
> OK
```

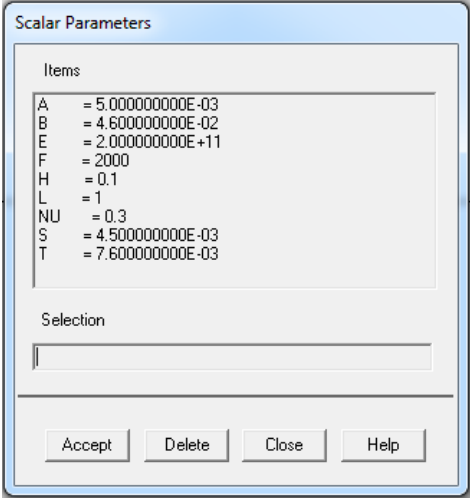
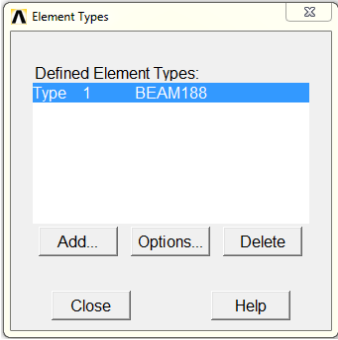
```
U_M > PlotCtrls> Font Controls> Entity Font>
```

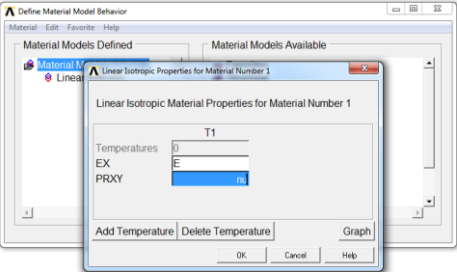
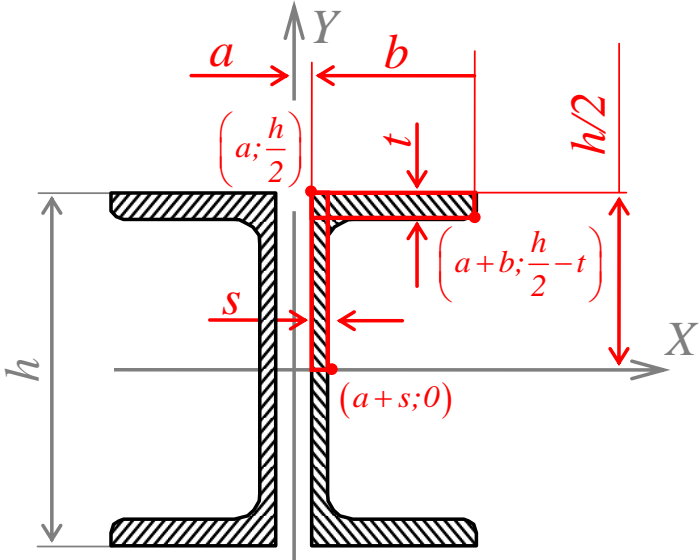
```
«Размер» устанавливаем «22»
```

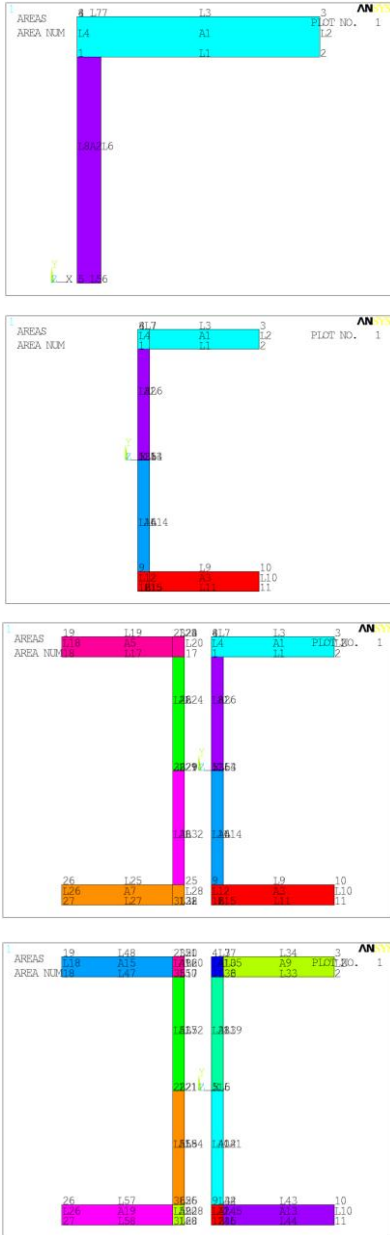
```
> OK
```

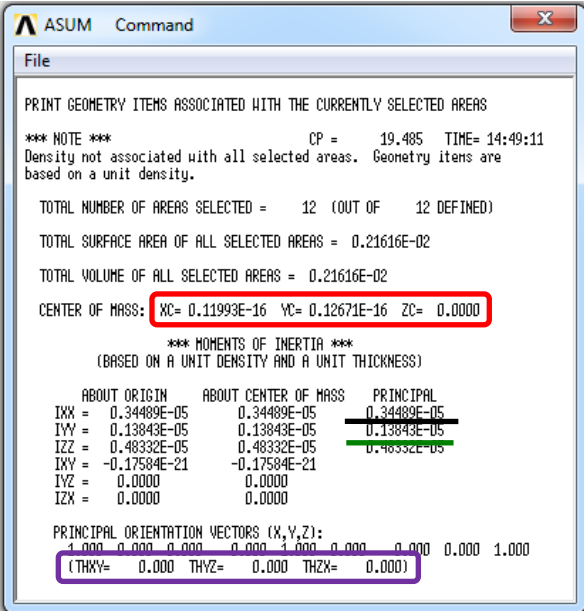
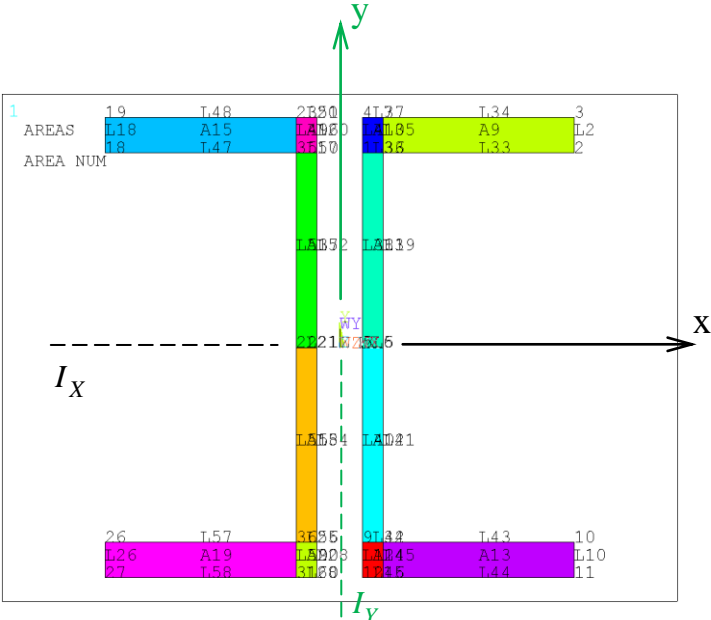
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

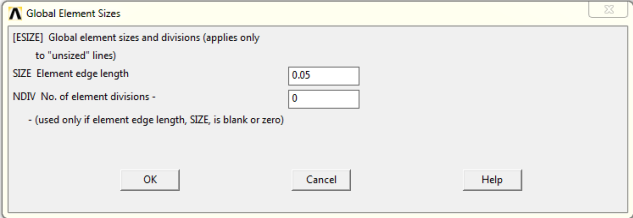
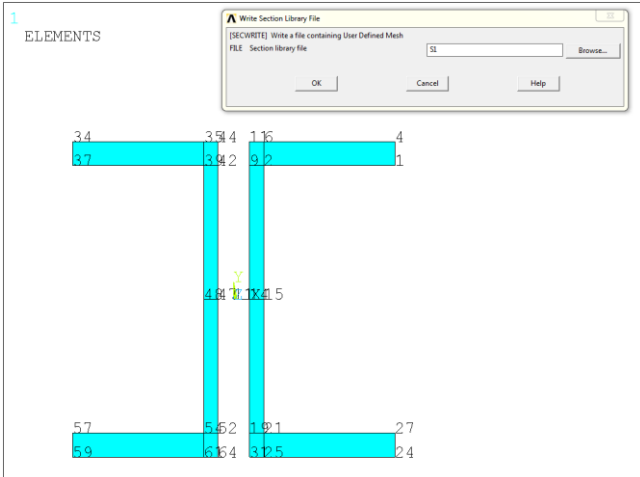
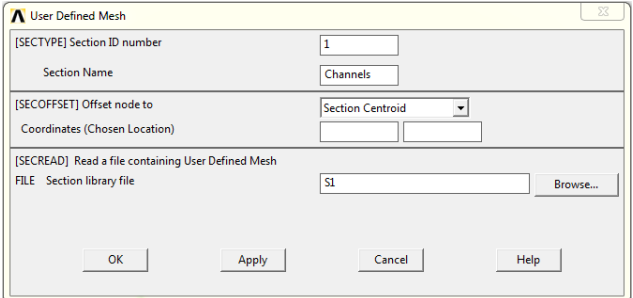
Решение задачи:

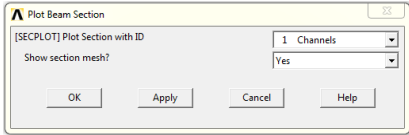
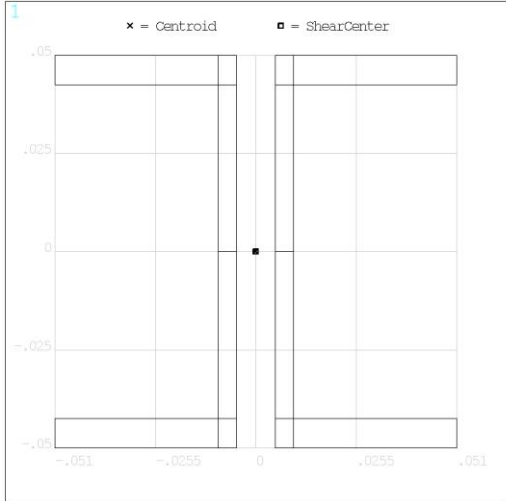
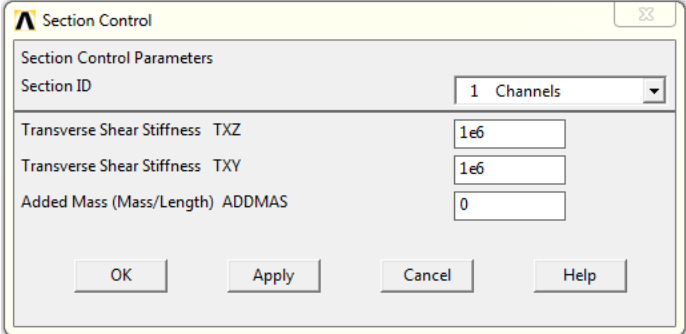
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;  E=2e11 &gt; Accept &gt;  nu=0.3 &gt; Accept &gt;  F=2000 &gt; Accept &gt;  l=1 &gt; Accept &gt;  a=0.005 &gt; Accept &gt;  h=0.100 &gt; Accept &gt;  b=0.046 &gt; Accept &gt;  s=0.0045 &gt; Accept &gt;  t=0.0076 &gt; Accept &gt;  &gt; Close</p>	
2	<p><i>Первая строка в таблице конечных элементов – трёхмерный балочный BEAM188:</i></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><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; ОК</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
<p>Поперечное сечение</p>		
4	<p><i>Схематизируем поперечное сечение:</i></p> <p>Операция необязательная. Геометрические возможности препроцессора ANSYS позволяют точно описать поперечное сечение любого стандартного проката.</p> <p>Однако времени это занимает много. В данном случае аппроксимируем контур швеллера прямоугольниками. К какой погрешности это приведёт увидим, сравнивая геометрические характеристики полученной фигуры <math>A</math>, <math>I_X</math> и <math>I_Y</math> с результатами аналитического расчёта.</p>	



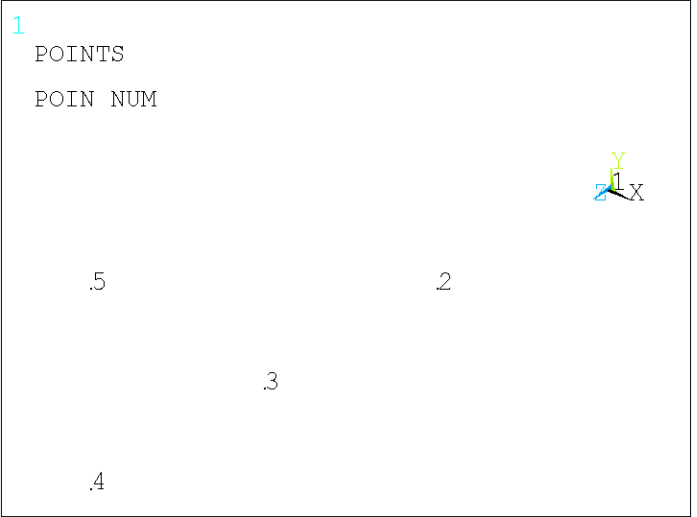
№	Действие	Результат
5	<p><i>Поверхности поперечного сечения:</i></p> <p>Прямоугольники, аппроксимирующие червертушку:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Areas &gt; Rectangle &gt; By Dimensions  X1, X2 пишем в окошках a и a+b  Y1, Y2 пишем в окошках h/2 и h/2-t  &gt; Apply &gt;  X1, X2 пишем в окошках a и a+s  Y1, Y2 пишем в окошках h/2 и 0  &gt; OK</p> <p>Отражение четвертушки в половинку:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Reflect &gt; Areas &gt; Pick All &gt;  В переключателе [ARSYM] выбрать вариант «X-Z plane Y»  &gt; OK</p> <p>Отражение половинки в полную фигуру:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Reflect &gt; Areas &gt; Pick All &gt;  В переключателе [ARSYM] выбрать вариант «Y-Z plane X»  &gt; OK</p> <p>К поверхностям применяется логическая операция наложения:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Operate &gt; Booleans &gt; Overlap &gt; Areas &gt; Pick All</p> <p>Накладывающиеся части нескольких поверхностей становятся одной поверхностью; соприкасающиеся поверхности склеиваются.</p>	

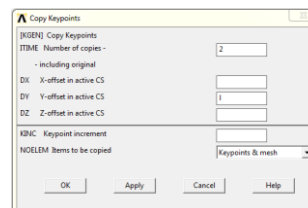
№	Действие	Результат																																																																																																				
6	<p>Геометрические характеристики начерченной поверхности:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Operate &gt; Calc Geom Items &gt; Of Areas &gt;</p> <p>Переключатель Selection устанавливаем как "Normal" &gt; ОК</p> <p>Получаем: <math>x_c = 0</math>; <math>y_c = 0</math>; <math>z_c = 0</math> - координаты центра тяжести;</p> <p><math>THXY = 0</math>; <math>THYZ = 0</math>; <math>THZX = 0</math> - углы перехода от глобальной декартовой системы координат к системе координат главных центральных осей;</p> <p>Центр тяжести находится в начале координат, все углы перехода равны нулю. Значит оси глобальной декартовой системы координат и есть главные центральные оси нарисованной фигуры. Вводить дополнительную декартову систему координат, совпадающую с глобальной, не имеет смысла.</p> <p>Сверяемся:</p> <p><math>I_x = I_{XX} = 0,3449 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4</math> (расхождение с рис.1. составляет 1,5%);</p> <p><math>I_y = I_{YY} = 0,1384 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4</math> (расхождение с рис.1. составляет 2,5%).</p>	 <p>ASUM Command</p> <p>File</p> <p>PRINT GEOMETRY ITEMS ASSOCIATED WITH THE CURRENTLY SELECTED AREAS</p> <p>*** NOTE *** CP = 19.485 TIME= 14:49:11 Density not associated with all selected areas. Geometry items are based on a unit density.</p> <p>TOTAL NUMBER OF AREAS SELECTED = 12 (OUT OF 12 DEFINED)</p> <p>TOTAL SURFACE AREA OF ALL SELECTED AREAS = 0.21616E-02</p> <p>TOTAL VOLUME OF ALL SELECTED AREAS = 0.21616E-02</p> <p>CENTER OF MASS: XC= 0.11993E-16 YC= 0.12671E-16 ZC= 0.0000</p> <p>*** MOMENTS OF INERTIA *** (BASED ON A UNIT DENSITY AND A UNIT THICKNESS)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>ABOUT ORIGIN</th> <th>ABOUT CENTER OF MASS</th> <th>PRINCIPAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IXX =</td> <td>0.34489E-05</td> <td>0.34489E-05</td> <td>0.34489E-05</td> </tr> <tr> <td>IYY =</td> <td>0.13843E-05</td> <td>0.13843E-05</td> <td>0.13843E-05</td> </tr> <tr> <td>IZZ =</td> <td>0.48332E-05</td> <td>0.48332E-05</td> <td>0.48332E-05</td> </tr> <tr> <td>IXY =</td> <td>-0.17584E-21</td> <td>-0.17584E-21</td> <td>0.00000E+00</td> </tr> <tr> <td>IYZ =</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>IZX =</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> </tr> </tbody> </table> <p>PRINCIPAL ORIENTATION VECTORS (X,Y,Z): 1.000 0.000 0.000 0.000 1.000 0.000 0.000 0.000 1.000</p> <p>(THXY= 0.000 THYZ= 0.000 THZX= 0.000)</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>AREA NUM</th> <th>AREA</th> <th>T</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>18</td> <td>1.48</td> <td>2.590</td> <td>41.77</td> <td>1.34</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>15</td> <td>1.200</td> <td>0.05</td> <td>A9</td> <td>L2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>17</td> <td>1.47</td> <td>3.50</td> <td>1.35</td> <td>1.33</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>19</td> <td>1.552</td> <td>1.552</td> <td>1.552</td> <td>1.552</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>21</td> <td>1.554</td> <td>1.554</td> <td>1.554</td> <td>1.554</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>19</td> <td>1.503</td> <td>1.503</td> <td>1.503</td> <td>1.503</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>15</td> <td>1.58</td> <td>1.58</td> <td>1.58</td> <td>1.58</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>17</td> <td>1.43</td> <td>1.43</td> <td>1.43</td> <td>1.43</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>13</td> <td>1.44</td> <td>1.44</td> <td>1.44</td> <td>1.44</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>14</td> <td>1.44</td> <td>1.44</td> <td>1.44</td> <td>1.44</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>14</td> <td>1.44</td> <td>1.44</td> <td>1.44</td> <td>1.44</td> </tr> </tbody> </table>		ABOUT ORIGIN	ABOUT CENTER OF MASS	PRINCIPAL	IXX =	0.34489E-05	0.34489E-05	0.34489E-05	IYY =	0.13843E-05	0.13843E-05	0.13843E-05	IZZ =	0.48332E-05	0.48332E-05	0.48332E-05	IXY =	-0.17584E-21	-0.17584E-21	0.00000E+00	IYZ =	0.0000	0.0000	0.0000	IZX =	0.0000	0.0000	0.0000	AREA NUM	AREA	T	X	Y	Z	1	18	1.48	2.590	41.77	1.34	2	15	1.200	0.05	A9	L2	3	17	1.47	3.50	1.35	1.33	4	19	1.552	1.552	1.552	1.552	5	21	1.554	1.554	1.554	1.554	6	19	1.503	1.503	1.503	1.503	7	15	1.58	1.58	1.58	1.58	8	17	1.43	1.43	1.43	1.43	9	13	1.44	1.44	1.44	1.44	10	14	1.44	1.44	1.44	1.44	11	14	1.44	1.44	1.44	1.44
	ABOUT ORIGIN	ABOUT CENTER OF MASS	PRINCIPAL																																																																																																			
IXX =	0.34489E-05	0.34489E-05	0.34489E-05																																																																																																			
IYY =	0.13843E-05	0.13843E-05	0.13843E-05																																																																																																			
IZZ =	0.48332E-05	0.48332E-05	0.48332E-05																																																																																																			
IXY =	-0.17584E-21	-0.17584E-21	0.00000E+00																																																																																																			
IYZ =	0.0000	0.0000	0.0000																																																																																																			
IZX =	0.0000	0.0000	0.0000																																																																																																			
AREA NUM	AREA	T	X	Y	Z																																																																																																	
1	18	1.48	2.590	41.77	1.34																																																																																																	
2	15	1.200	0.05	A9	L2																																																																																																	
3	17	1.47	3.50	1.35	1.33																																																																																																	
4	19	1.552	1.552	1.552	1.552																																																																																																	
5	21	1.554	1.554	1.554	1.554																																																																																																	
6	19	1.503	1.503	1.503	1.503																																																																																																	
7	15	1.58	1.58	1.58	1.58																																																																																																	
8	17	1.43	1.43	1.43	1.43																																																																																																	
9	13	1.44	1.44	1.44	1.44																																																																																																	
10	14	1.44	1.44	1.44	1.44																																																																																																	
11	14	1.44	1.44	1.44	1.44																																																																																																	

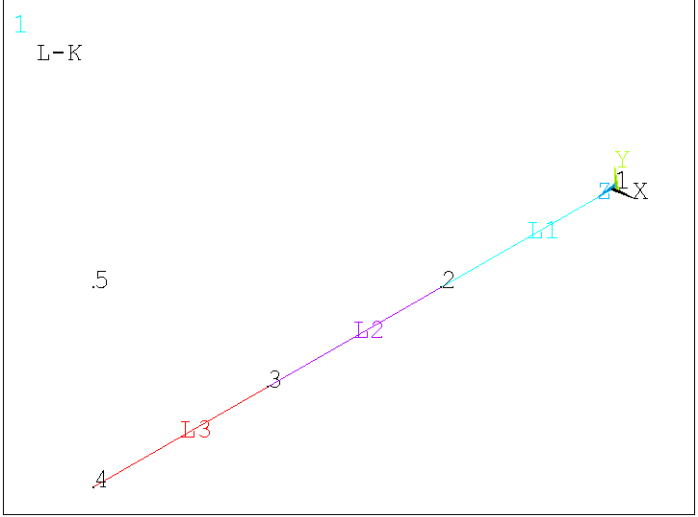
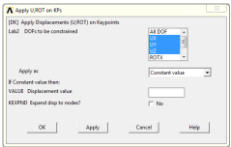
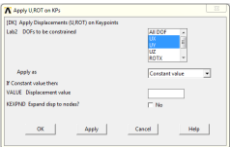
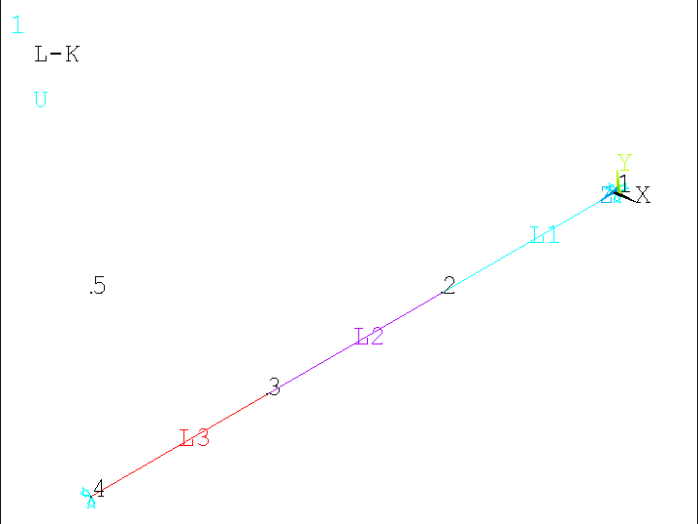
№	Действие	Результат
7	<p><i>Размер стороны элемента для разбиения:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Size Cntrls &gt; ManualSize &gt; Global &gt; Size</p> <p>Размер Size пишем большой, например 0.05</p> <p>&gt; ОК</p>	
8	<p><i>Разбиваем фигуру на элементы и сохраняем разбиение на диске:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Sections &gt; Beam &gt; Custom Sections &gt; &gt; Write From Areas &gt; Pick all &gt; ОК &gt;</p> <p>В появившемся окне "Write Section Library File" в поле FILE напишите имя файла типа ".SECT", в котором будет храниться разбиение построенной фигуры, например S1</p> <p>&gt; ОК</p>	
9	<p><i>Считываем разбиение с диска, как поперечное сечение №1:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Sections &gt; Beam &gt; Custom Sections &gt; &gt; Read Sect Mesh &gt;</p> <p>[SECTYPE] пишем 1</p> <p>Section Name пишем название сечения, например Channels</p> <p>[SECREAD] пишем название сохранённого файла S1</p> <p>&gt; ОК</p> <p>Окно Warning, предупреждающее о некорректном расчёте положения центра сдвига и жёсткости при короблении, закройте.</p>	

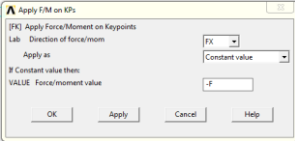
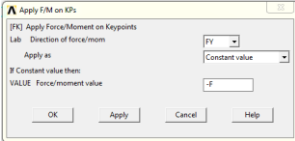
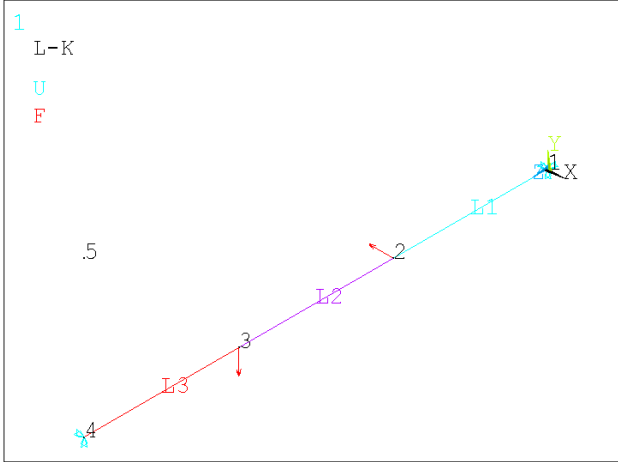
№	Действие	Результат
10	<p><i>Прорисовываем сечение Channels:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Sections &gt; Beam &gt; Plot Section  [Secplot] установить "1 Channels"  Show section mesh? установить "Yes"  &gt; ОК</p>  <p>Здесь геометрические характеристики сечения мы видим относительно горизонтальной и вертикальной центральной осей.</p>	 <p>SECTION ID 1 DATA SUMMARY</p> <p>Section Name = Channels</p> <p>Area = .002162</p> <p>Iyy = .345E-05</p> <p>Iyz = 0</p> <p>Izz = .138E-05</p> <p>Warping Constant = 0</p> <p>Torsion Constant = .921E-06</p> <p>Centroid Y = .118E-17</p> <p>Centroid Z = -.201E-17</p> <p>Shear Center Y = .118E-17</p> <p>Shear Center Z = -.201E-17</p> <p>Shear Corr. YY = .643254</p> <p>Shear Corr. YZ = .598932</p> <p>Shear Corr. ZZ</p>
11	<p><i>Сдвиговую жёсткость поперечного сечения Channels устанавливаем очень высокую для того, чтобы сдвиговые деформации не вносили вклад в перемещения:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Sections &gt; Beam &gt; Sect Control &gt;  Section ID выбираем "1 Channels"  TXZ пишем 1e6  TXY пишем 1e6  &gt; ОК</p>	
12	<p><i>Сечение задано, поверхность, по которой оно задавалось удаляем; больше эта поверхность не понадобится:</i></p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Area  M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Delete &gt; Area and Below &gt;  &gt; Pick All</p>	



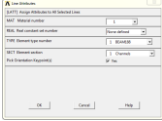
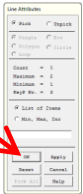
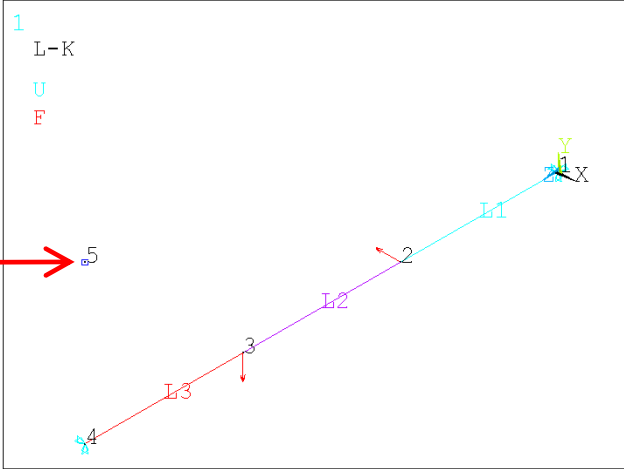
№	Действие	Результат
<b>Балка, твердотельное моделирование</b>		
<b>13</b>	<p><i>Ключевые точки D→1, C→2, B→3, A→4 и точка 5 в вертикальной плоскости для ориентации поперечного сечения:</i></p> <p> - изометрия;  - автоформат (меню справа).</p> <p>Точки, лежащие на оси стержня проставляем в этой системе координат:</p> <pre>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 0,0,l &gt; Apply &gt; NPT пишем 3 X,Y,Z пишем 0,0,2*l &gt; Apply &gt; NPT пишем 4 X,Y,Z пишем 0,0,3*l &gt; OK</pre> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Возвращаемся к глобальной декартовой системе координат: U_M&gt; WorkPlane &gt; Change Active CS to &gt; Global Cartesian</p> <p>Копируем вверх по вертикали одну из точек оси (например точку №4):</p> <pre>M_M &gt; Modeling &gt; Copy &gt; Keypoints</pre> <p>Кликаем на ключевую точку 4 &gt; OK &gt;</p> <p>В окошке DY пишем величину вертикального смещения, например l &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	



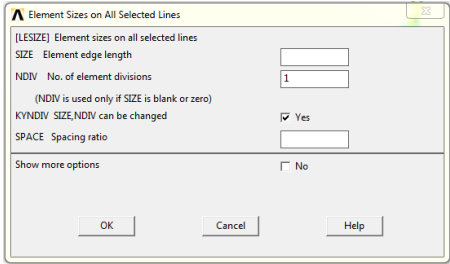
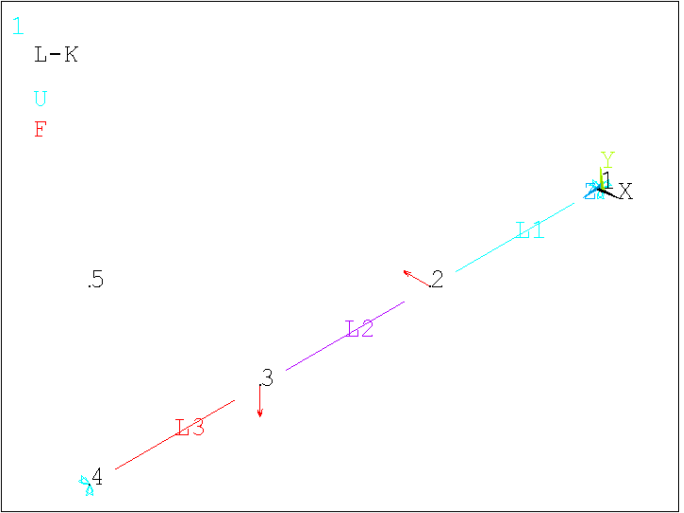
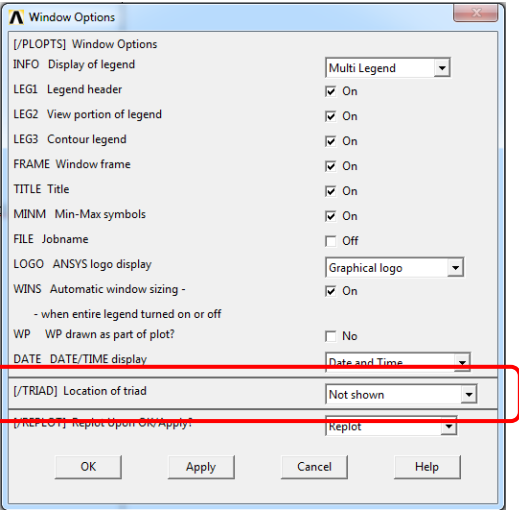
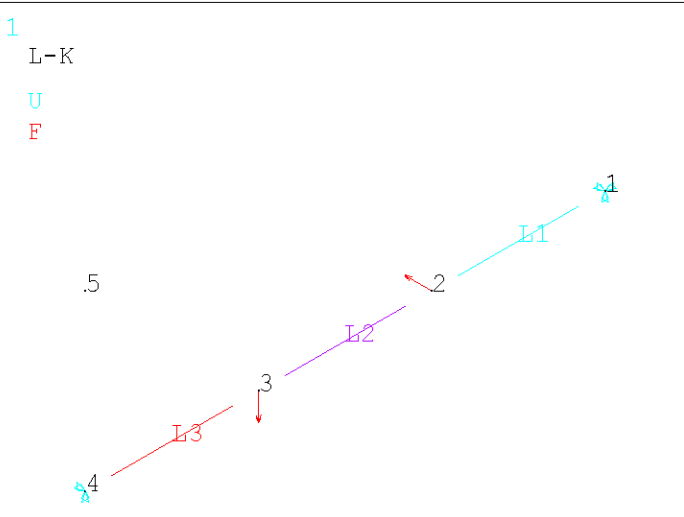



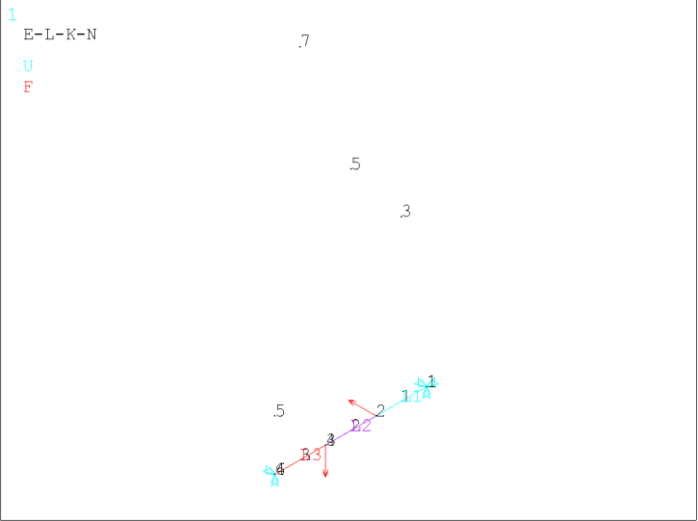
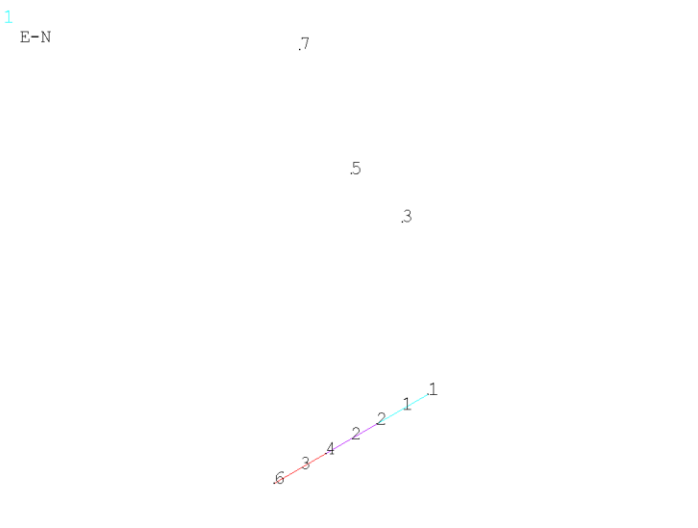
№	Действие	Результат
14	<p><i>Три участка – три линии; протягиваем их по направлению оси z:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Lines &gt; Lines &gt; Straight Line &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки:  1 и 2  2 и 3  3 и 4  &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:  U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
15	<p><i>Опоры:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &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 "UX", "UY" и "UZ"</p> <p>&gt; Apply &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 4 ключевую точку  &gt; OK &gt;</p> <p>Lab2 установить "UX" и "UY"</p> <p>&gt; OK</p> <div data-bbox="1061 979 1290 1126" style="display: inline-block; vertical-align: middle;">  </div> <div data-bbox="1061 1158 1290 1305" style="display: inline-block; vertical-align: middle;">  </div> <p>Прорисовываем всё, что есть:  U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

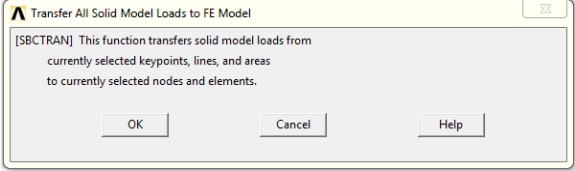
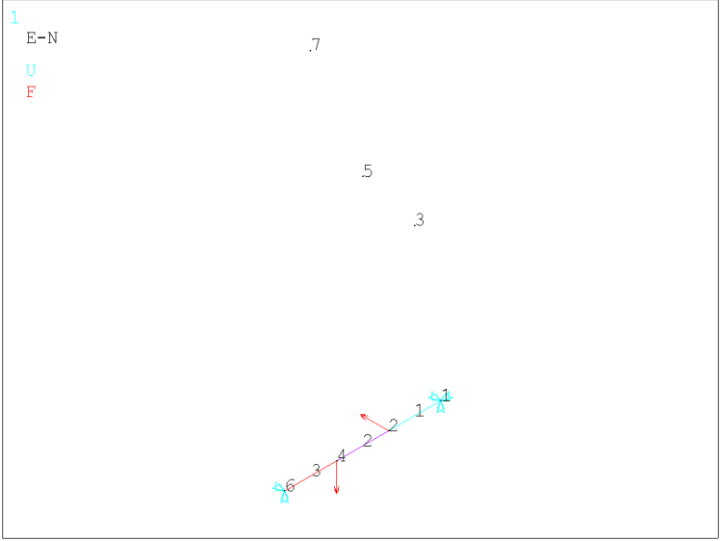
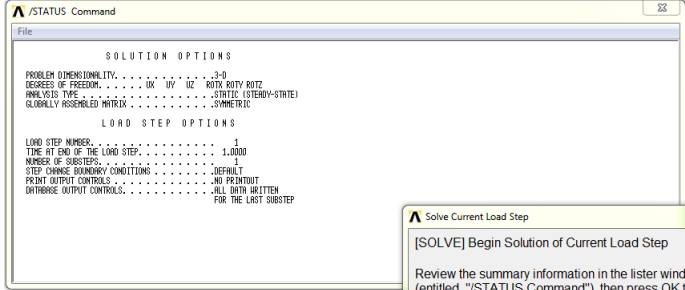
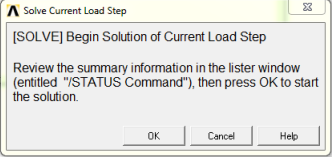
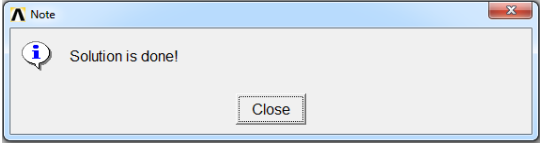
№	Действие	Результат
16	<p><i>Внешние сосредоточенные силы:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Force/Moment &gt; On Keypoints &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши кликнуть на 2 ключевую точку &gt; OK &gt;</p> <p>Lab установить "FX" VALUE установить "-F"</p>  <p>&gt; Apply &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши кликнуть на 3 ключевую точку &gt; OK &gt;</p> <p>Lab установить "FY" VALUE установить "-F"</p>  <p>&gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

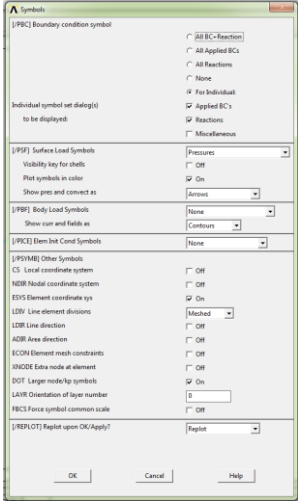
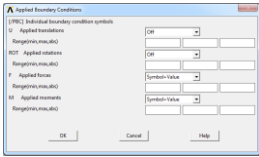
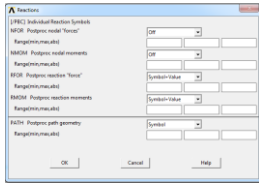
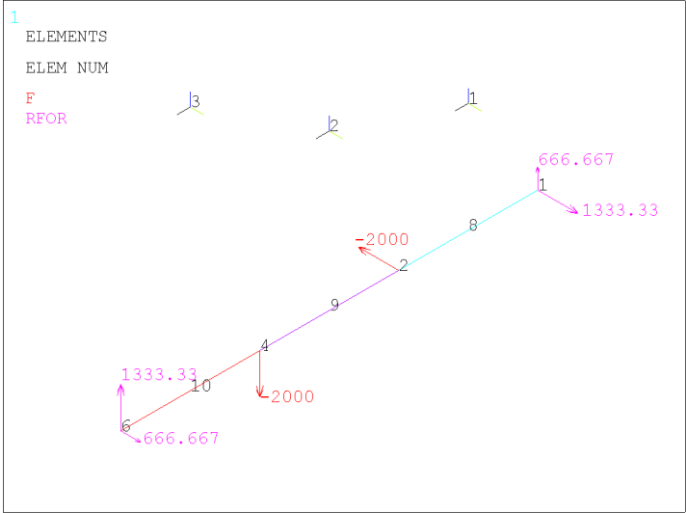

### Конечноэлементная модель

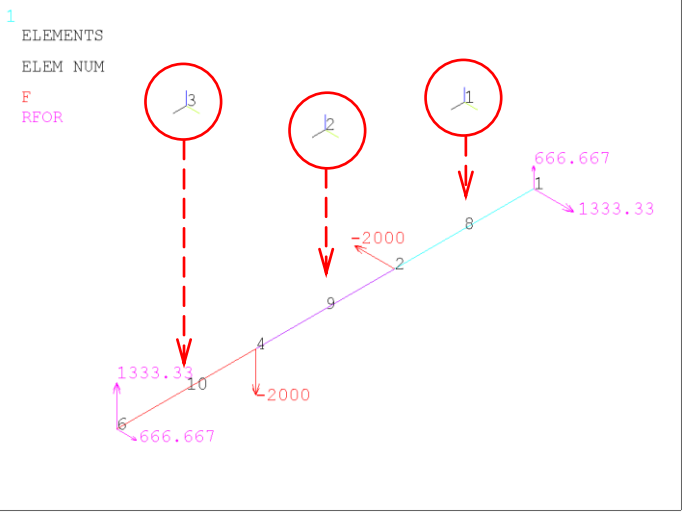
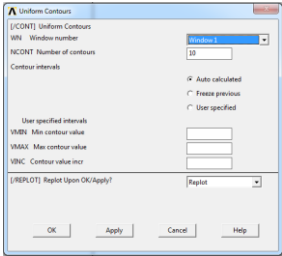
17	<p><i>Указываем материал, тип элементов и номер поперечного сечения:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh Attributes &gt; All Lines &gt;</p> <p>MAT установить "1"</p> <p>TYPE установить "1 BEAM188"</p> <p>SECT установить "1 Channels"</p> <p>Pick Orientation Keypoint(s) установить "Yes"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>Кликаем мышкой на точку 5</p> <p>&gt; OK</p>  	
----	--	---

№	Действие	Результат
18	<p><i>Размер элементов:</i></p> <p>По одному балочному конечному элементу на каждый участок:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Size Cntrls &gt; ManualSize &gt; Lines &gt; All Lines &gt; NDIV пишем 1 &gt; OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>При необходимости корректируйте масштаб:  или .</p> 	
19	<p><i>Скрываем оси глобальной декартовой системы координат:</i></p> <p>U_M&gt; PlotCtrls&gt; Window Controls&gt; Window Options&gt; [/Triad] установить "Not Shown" &gt; OK</p> 	

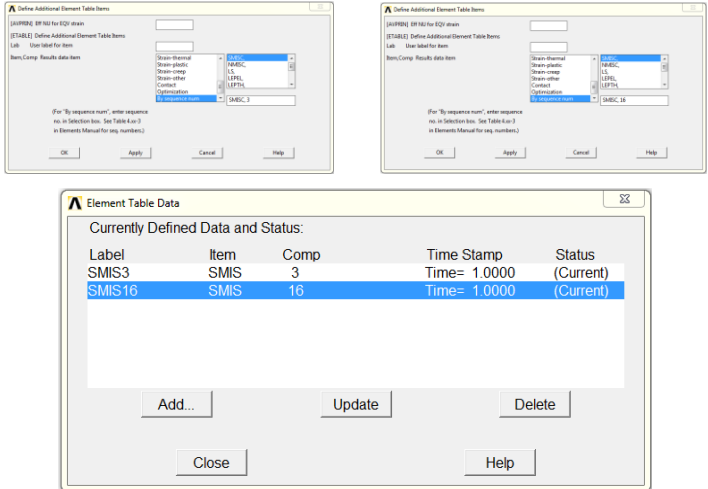




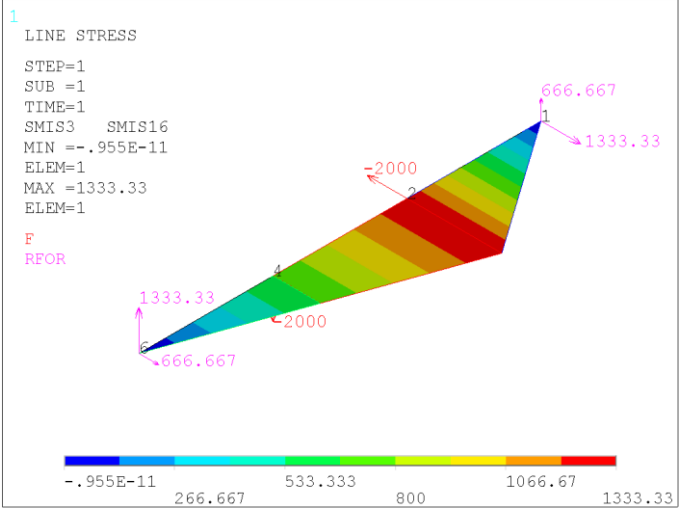
20	<p><i>Рабиваем линию на элементы:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh &gt; Lines &gt; Pick All</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>  - автоформат. <p>Видим сразу две модели – твердотельную и конечноэлементную.</p>	
21	<p><i>Указываем, что именно 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;  &gt; OK &gt;</p> <p>Появляется второе окно Multi-Plotting &gt;  Ставим отметки только напротив Nodes и Elements &gt;  &gt; OK</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Теперь видим только конечноэлементную модель: чёрные точки с номерами – узлы модели (1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7), цветные линии – балочные конечные элементы, рядом с их центрами тяжести видим номера этих элементов(1, 2 и 3).</p>	

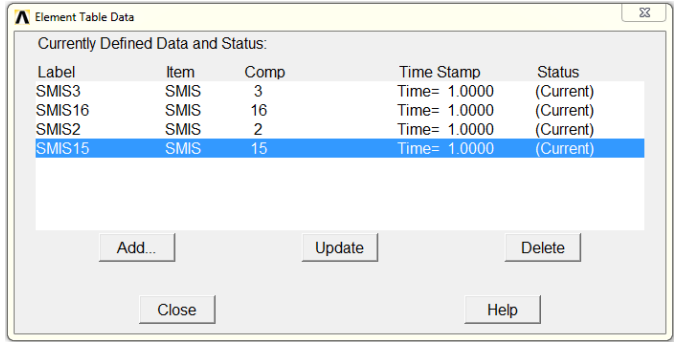








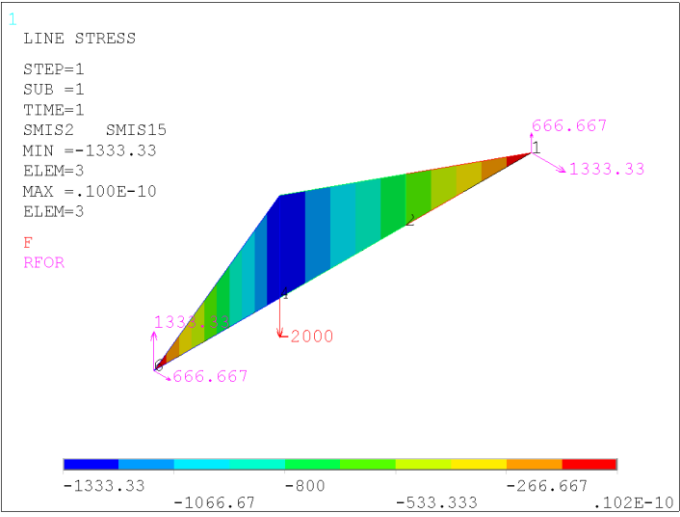
№	Действие	Результат
22	<p>Переносим на конечноэлементную модель нагрузки и закрепления с модели твердотельной:</p> <p>M_M &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Operate &gt; Transfer to FE &gt; All Solid Lds &gt; OK</p>  <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
<b>Расчёт</b>		
23	<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>	  

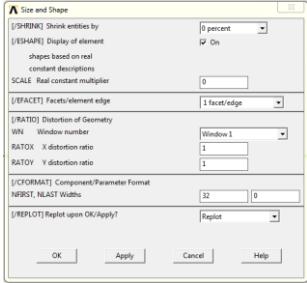
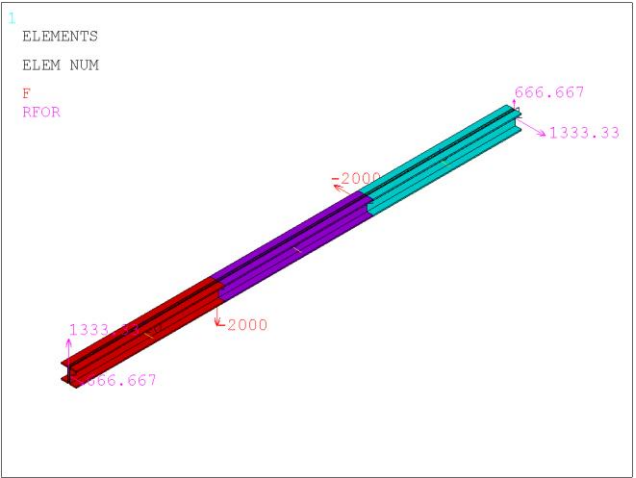
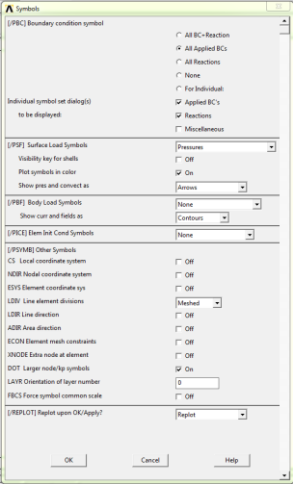
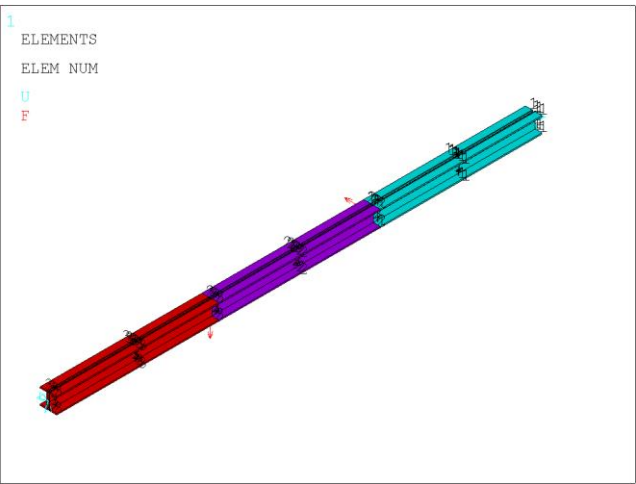
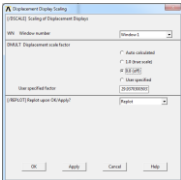
№	Действие	Результат
<b>Просмотр результатов:</b>		
<b>24</b>	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt; [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous"</p> <p>Surface Load Symbols устанавливаем Pressures</p> <p>Show pres and convect as устанавливаем Arrows</p> <p>ESYS устанавливаем в положение "on"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>В окне "Applied Boundary Conditions"</p> <p>U установить "Off"</p> <p>Rot установить "Off"</p> <p>F установить "Symbol+Value"</p> <p>M установить "Symbol+Value"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>В окне "Reactions"</p> <p>NFOR установить "Off"</p> <p>NMOM установить "Off"</p> <p>RFOR установить "Symbol+Value"</p> <p>RMOM установить "Symbol+Value"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Elements</p> <p>В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Красным цветом начерчены внешние силы;</li> <li>- Малиновым цветом начерчены реактивные силы</li> </ul> <p>Реакции в заделках совпадают с результатами аналитического расчёта, показанными на <i>рис. 1</i>. Минус означает направление вектора против глобальной декартовой оси.</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;"><i>Рис. 2.</i></p> <p style="text-align: center;">Для коррекции изображения используйте кнопки на панели справа от рабочего поля:</p> <div style="text-align: center;">  </div>

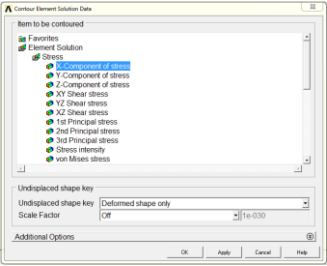
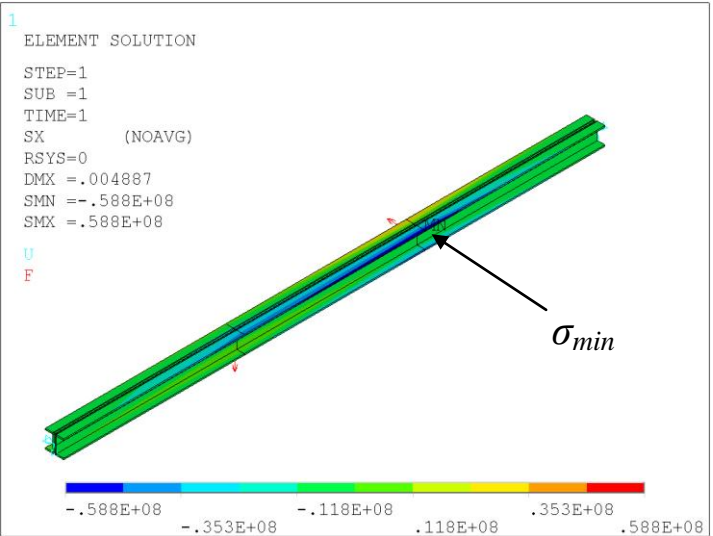

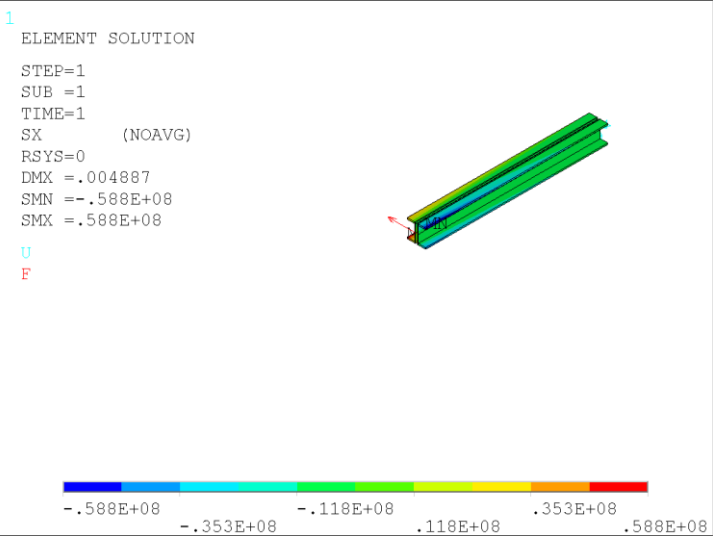
№	Действие	Результат
25	<p><i>Определяемся с индексами внутренних изгибающих моментов:</i></p> <p>Ещё раз смотрим на рабочее поле. Над балочными элементами показаны их ориентационные узлы, а на них - локальные системы координат. Запоминаем: ось z (синяя чёрточка) лежит в вертикальной плоскости, ось y (зелёная чёрточка) – в горизонтальной.</p> <p>Значит:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– горизонтальная эпюра внутреннего момента будет <math>M_z</math> (момент вокруг оси z);</li> <li>– вертикальная эпюра внутреннего момента будет <math>M_y</math> (момент вокруг оси y).</li> </ul> <p>Не совсем понятно, что означают цифры 8, 9 и 10 возле центров тяжести конечных элементов 1, 2 и 3. Вероятно, это «глюк» ANSYS-а.</p>	
26	<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>	



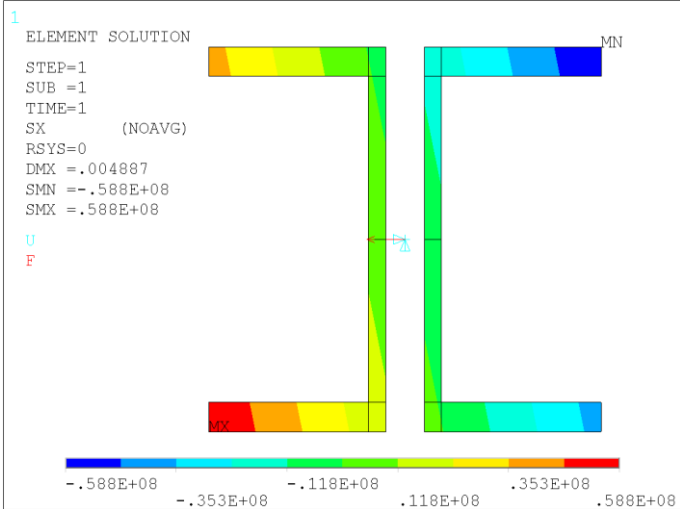
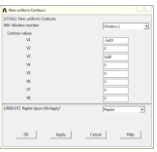
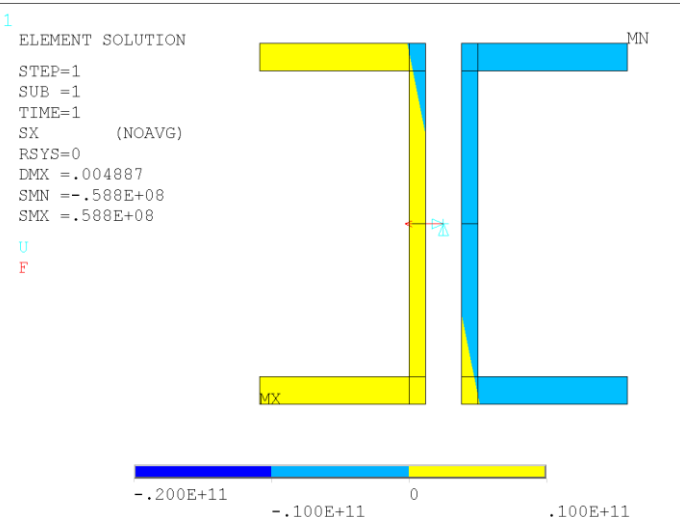


№	Действие	Результат															
27	<p>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента <math>M_z</math> (горизонтальная эпюра):</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Add &gt; "By sequence num", "SMISC,", "3" &gt; Apply &gt; "By sequence num", "SMISC,", "16" &gt; OK &gt; &gt; Close</p> <p>Смотрим таблицу результатов: M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Close</p>	 <table border="1" data-bbox="1473 437 2018 635"> <thead> <tr> <th>Label</th> <th>Item</th> <th>Comp</th> <th>Time Stamp</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SMIS3</td> <td>SMIS</td> <td>3</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS16</td> <td>SMIS</td> <td>16</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> </tbody> </table>	Label	Item	Comp	Time Stamp	Status	SMIS3	SMIS	3	Time= 1.0000	(Current)	SMIS16	SMIS	16	Time= 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status													
SMIS3	SMIS	3	Time= 1.0000	(Current)													
SMIS16	SMIS	16	Time= 1.0000	(Current)													
28	<p>Прорисовка эпюры внутреннего изгибающего момента <math>M_z</math>:</p> <p>Только элементы и их узлы (ориентационные узлы не показывать):</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Elements</p> <p>Вид сверху:  </p> <p>Эпюра в горизонтальной плоскости:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Contour Plot &gt; Line Elem Res &gt; LabI установить "SMIS3" LabJ установить "SMIS16" Fact пишем 1 &gt; OK</p> <p>Изометрия:  и несколько раз </p> <p>Получаем почти тот же результат, что и на рис. 1., разница – не более, чем десятые доли процента.</p>	 <pre data-bbox="1413 890 1547 1102"> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS3 SMIS16 MIN =-.955E-11 ELEM=1 MAX =1333.33 ELEM=1 F RFOR </pre>															

№	Действие	Результат
29	<p>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента <math>M_y</math> (вертикальная эпюра):</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Add &gt; "By sequence num", "SMISC,", "2"</p> <p>&gt; Apply &gt;</p> <p>"By sequence num", "SMISC,", "15"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>&gt; Close</p> <p>Смотрим таблицу результатов:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Close</p>	
30	<p>Прорисовка эпюры внутреннего изгибающего момента <math>M_y</math>:</p> <p>Элементы:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Elements</p> <p>Вид справа:  , </p> <p>Эпюра в горизонтальной плоскости:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Contour Plot</p> <p>&gt; Line Elem Res &gt;</p> <p>LabI установить "SMIS2"</p> <p>LabJ установить "SMIS15"</p> <p>Fact пишем 1</p> <p>&gt; OK</p> <p>Изометрия:  , далее отрегулируйте вид кнопками     </p> <p>Получаем почти тот же результат, что и на <i>рис. 1.</i> , разница – не более, чем десятые доли процента.</p>	

№	Действие	Результат
31	<p><i>Полноразмерная прорисовка конечных элементов:</i></p> <p>Элементы:  U_M &gt; Plot &gt; Elements</p> <p>Прорисовываем их полноразмерно:  U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Size and Shape &gt; [/ESHAPE] установить галочку "On"  &gt; OK</p> 	
32	<p><i>Скрываем оси систем координат конечных элементов:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt; [/PBC] устанавливаем All Applied BCs  ESYS устанавливаем в положение "off"  &gt; OK</p> 	
33	<p><i>Напряжения будем смотреть на недеформированной форме:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Displacement Scaling &gt; DMULT устанавливаем "0.0(off)"  &gt; OK</p>	

№	Действие	Результат
34	<p><i>Осевые напряжения:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Contour Plot &gt; Element Solu&gt; Element Solution&gt; Stress&gt; X-Component of stress &gt; OK</p>  <p>Видим минимальное напряжение (MN) там, где у нас опасное сечение. С другой стороны (мы её пока не видим) в этом сечении реализуется такое же по величине максимальное напряжение, это видно по верхней красной планке цветовой шкалы.</p>	 <pre> 1 ELEMENT SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 SX      (NOAVG) RSYS=0 DMX =.004887 SMN =-.588E+08 SMX =.588E+08 U F </pre>
35	<p><i>Открываем опасное поперечное сечение:</i></p> <p>Скрываем два ближних конечных элемента :</p> <p>U_M &gt; Select &gt; Entities... &gt; В Select Entities установить "Elements" и "By Num/Pick" Селектор установить на «Unselect» &gt; OK &gt;</p> <p>Мышкой кликнуть на левый и средний конечные элементы &gt; OK</p> <p>Выделить только узлы, принадлежащие оставшемуся конечному элементу :</p> <p>U_M &gt; Select &gt; Everything Below &gt; Selected Elements</p> <p>Рисуем что выделили:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Replot</p> 	 <pre> 1 ELEMENT SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 SX      (NOAVG) RSYS=0 DMX =.004887 SMN =-.588E+08 SMX =.588E+08 U F </pre>

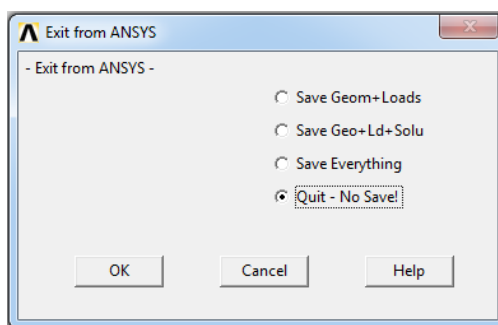
№	Действие	Результат
36	<p>Фронтальный вид:</p> <p> - вид спереди;  - автоформат.</p> <p>Наиболее опасные точки поперечного сечения отмечены надписями MN и MX</p> $\sigma_{max} = \sigma_1 = 58,8 \cdot 10^6 \text{ Па} = 58,8 \text{ МПа} ;$ $\sigma_{min} = \sigma_2 = -58,8 \cdot 10^6 \text{ Па} = -58,8 \cdot \text{МПа} .$ <p>Расхождение с результатами аналитического расчёта (рис. 1.) составляет 2%. Местоположения точек 1 и 2 совпадают.</p>	 <p>ELEMENT SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 SX (NOAVG) RSYS=0 DMX =.004887 SMN =-.588E+08 SMX =.588E+08</p> <p>U F</p>
37	<p>Настройка нелинейной цветовой шкалы:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Contours &gt; Non-niform Contours...</p> <p>V1 пишем -1e10</p> <p>V2 пишем 0</p> <p>V3 пишем 1e10</p> <p>&gt; ОК</p>  <p>Растянутая зона поперечного сечения окрасится в красный цвет, сжатая – в зелёный. Изменим палитру: голубой и жёлтый.</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Colors &gt; Contour Colors... &gt;</p> <p>Contour Number 2 устанавливаем "голубой"</p> <p>Contour Number 3 устанавливаем "жёлтый"</p> <p>&gt; ОК</p> <p>Видим нейтральную линию (н.л.), отделяющую растянутые зоны друг от друга. Линия проходит через центр тяжести сечения (там приложен вектор внешнего момента) и точку D сечения (рис. 1.).</p>	 <p>ELEMENT SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 SX (NOAVG) RSYS=0 DMX =.004887 SMN =-.588E+08 SMX =.588E+08</p> <p>U F</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”, “.stat” и “.SECT”.

Интерес представляют “.db” (файлы модели), “.rst” (файл результатов расчёта) и файл “.SECT” (поперечное сечение), остальные файлы промежуточные, их можно удалить.