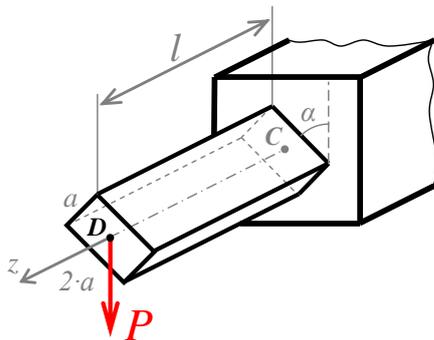


I-02 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: Консоль прямоугольного поперечного сечения повёрнута вокруг оси на угол $\alpha=45^\circ$, нагружена поперечной силой P на конце.
 E – модуль упругости материала консоли;

Найти: 1) Главные осевые моменты инерции поперечного сечения I_X и I_Y ;

- 2) Внутренние изгибающие моменты M_X и M_Y в основании бруса;
- 3) Эпюру распределения нормальных напряжений в основании бруса;
- 4) Перемещение точки D .

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

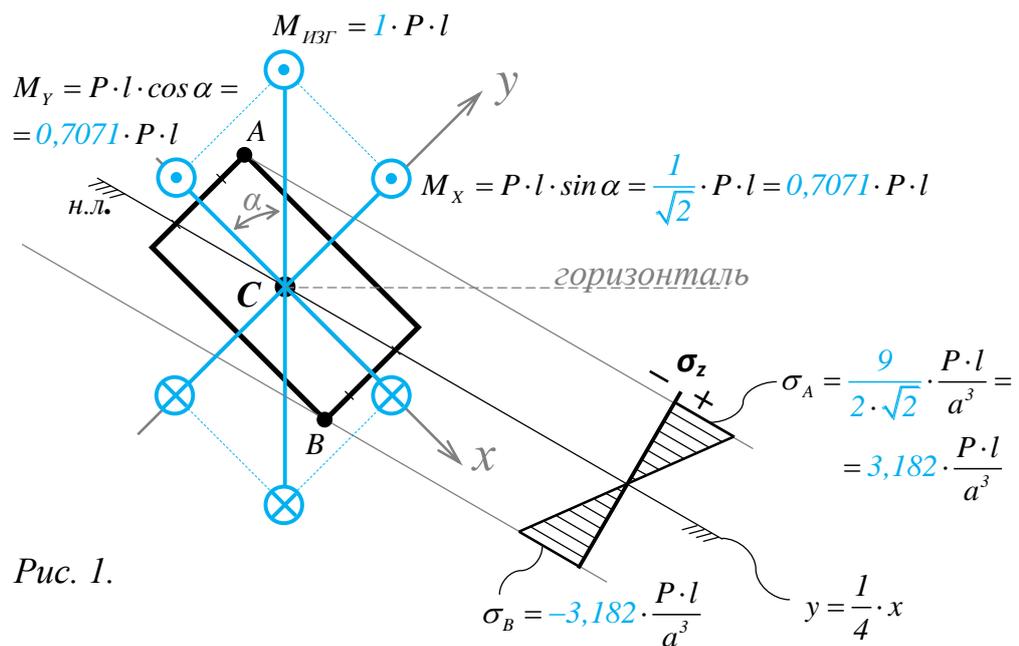


Рис. 1.

Главные моменты инерции : $I_x = \frac{1}{6} \cdot a^4 = 0,1667 \cdot a^4$; $I_y = \frac{4}{6} \cdot a^4 = 0,6667 \cdot a^4$.

Перемещение точки D :

$$\left. \begin{aligned} \delta_x &= \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{P \cdot l^3}{E \cdot I_y} = 0,3536 \cdot \frac{P \cdot l^3}{E \cdot a^4} \\ \delta_y &= -\sqrt{2} \cdot \frac{P \cdot l^3}{E \cdot I_x} = -1,414 \cdot \frac{P \cdot l^3}{E \cdot a^4} \end{aligned} \right\} \delta_D = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} = 1,458 \cdot \frac{P \cdot l^3}{E \cdot a^4} .$$

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

Предварительные настройки:

Для решения задачи используется ANSYS Multiphysics 14.0:

ANSYS Command Prompt (C_P)

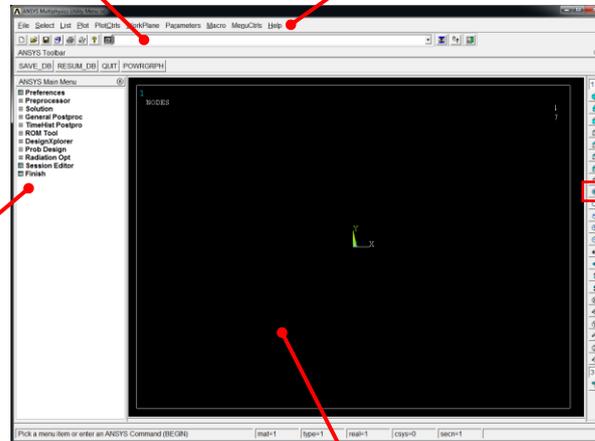
Utility Menu (U_M)

Main Menu
(M_M)

Рабочее поле

Кнопка

Fit

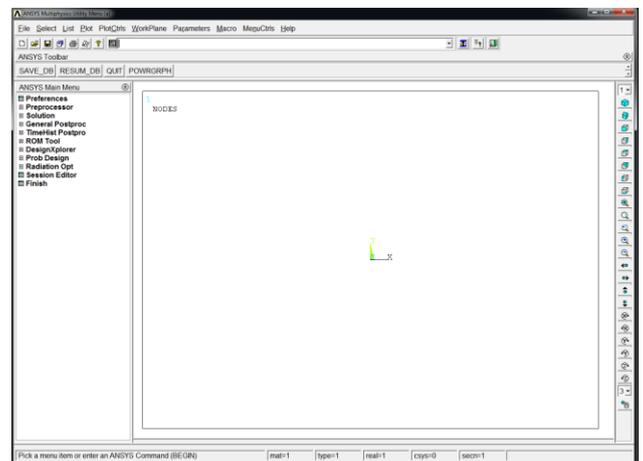


С меню M_M и U_M работают мышью, выбирая нужные опции.

В окно C_P вручную вводят текстовые команды, после чего следует нажать на клавиатуре **Enter**.

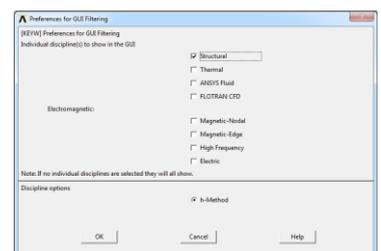
Чёрное рабочее поле не всегда приятно для глаза. Кроме того, оно неудобно для печати рисунков. Меняем чёрный цвет фона на белый следующими действиями:

U_M > PlotCtrls > Style > Colors
> Reverse Video



Убрать пункты меню, относящиеся к расплавам, магнитам и так далее, оставить только относящиеся к прочностным расчётам:

M_M > Preferences > Отметить "Structural" > OK



При построениях полезно видеть номера точек и линий твердотельной модели, узлов модели конечноэлементной:

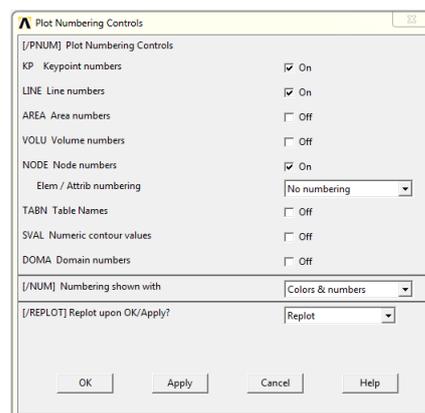
U_M > PlotCtrls > Numbering >

Отметить KP, LINE, NODE

Установить Elem на "No numbering"

Установить [/NUM] на "Colors & numbers"

> OK



Будем работать с локальными системами координат. Прорисовывать их:

U_M > PlotCtrls > Symbols >

Boundary condition symbol устанавливаем

в положение "All Applied BCs"

Surface Load Symbols устанавливаем

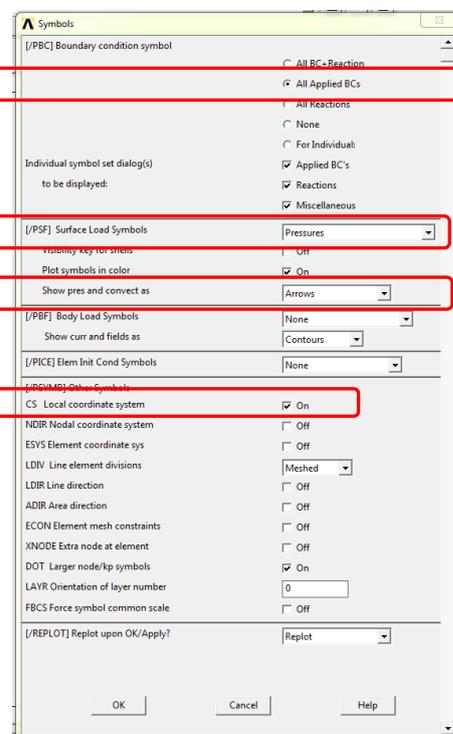
в положение "Pressure"

Show pres and convect ass устанавливаем

в положение "Arrows"

CS устанавливаем в положение "on"

> OK



Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >

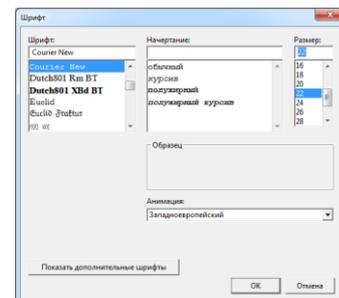
Установить «Размер» на «22»

> OK

U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >

Установить «Размер» на «22»

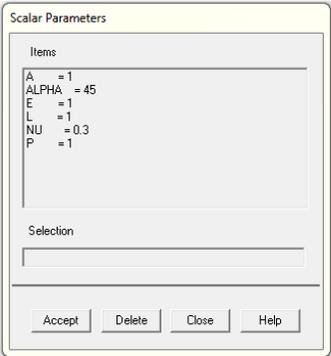
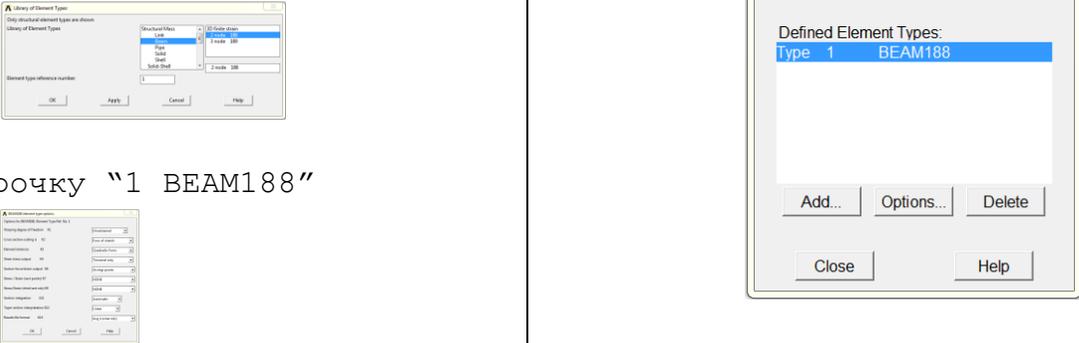
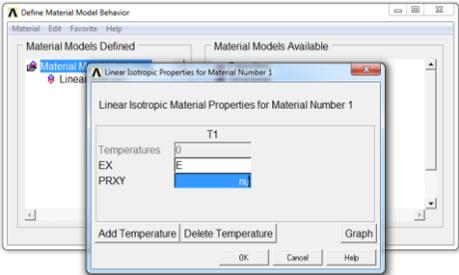
> OK

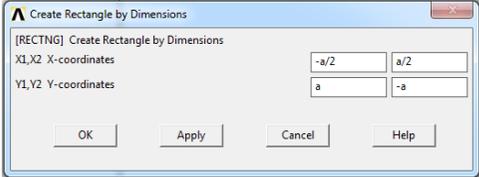
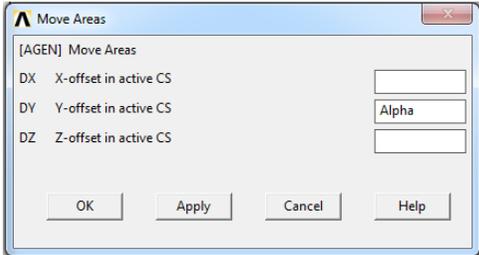
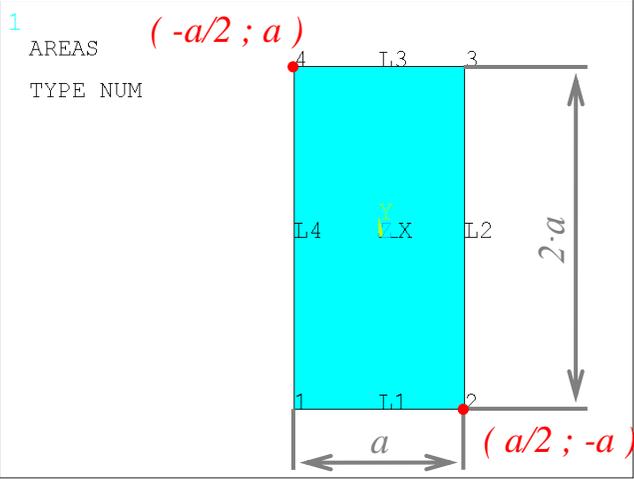
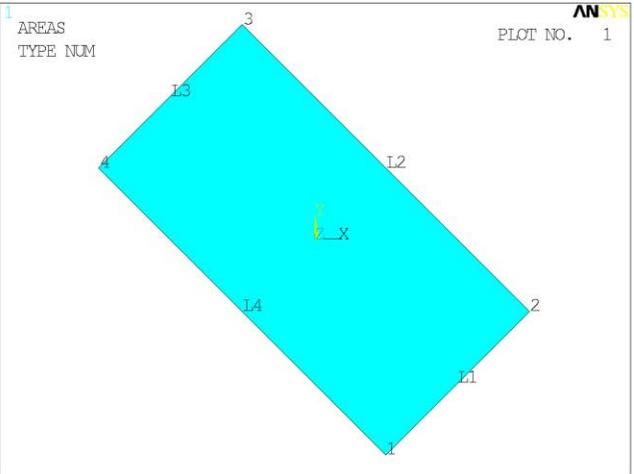


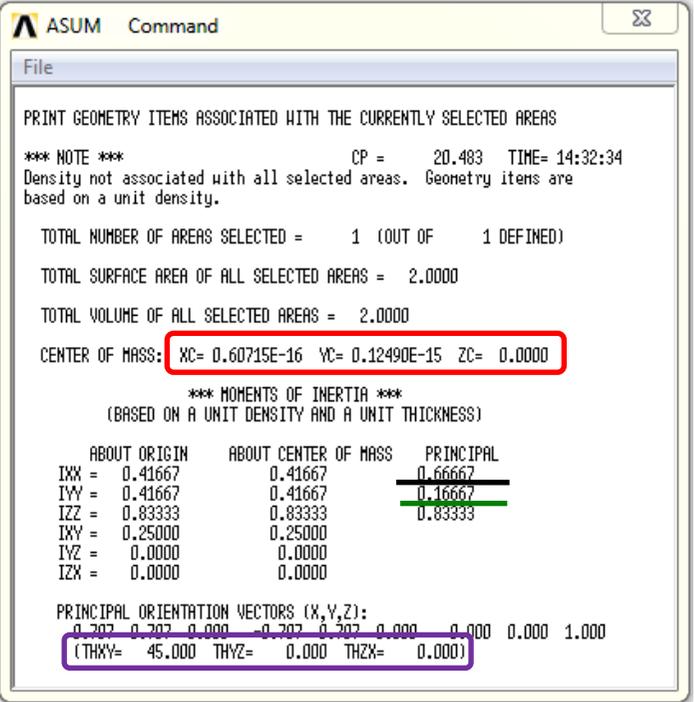
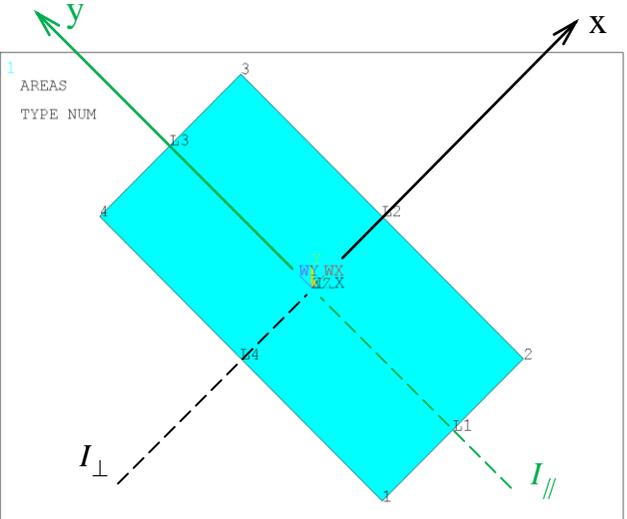
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

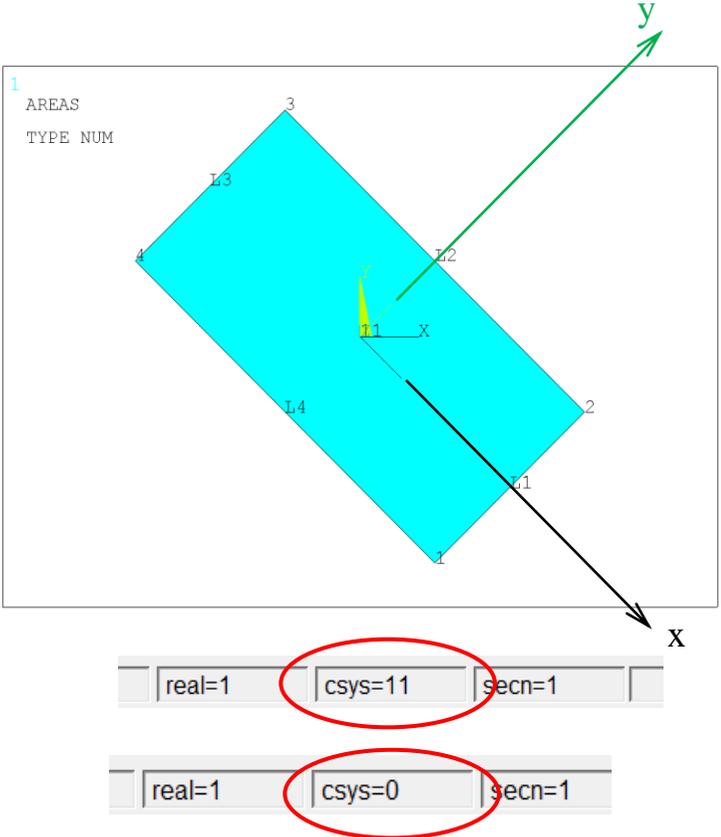
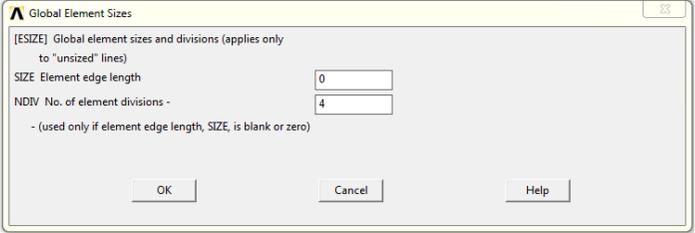
<http://www.tychina.pro/библиотека-задач-1/>

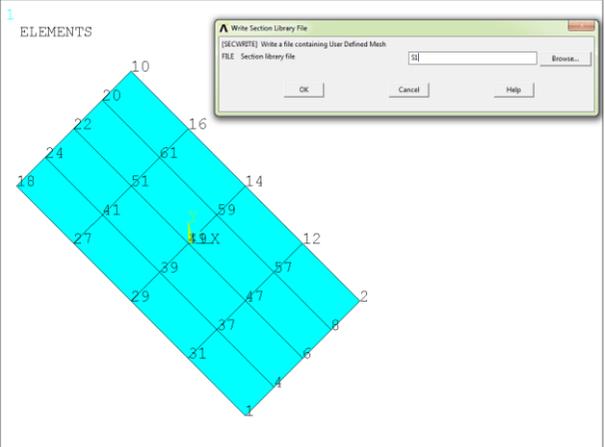
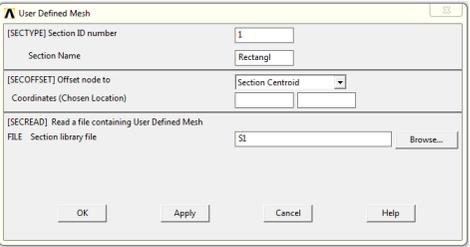
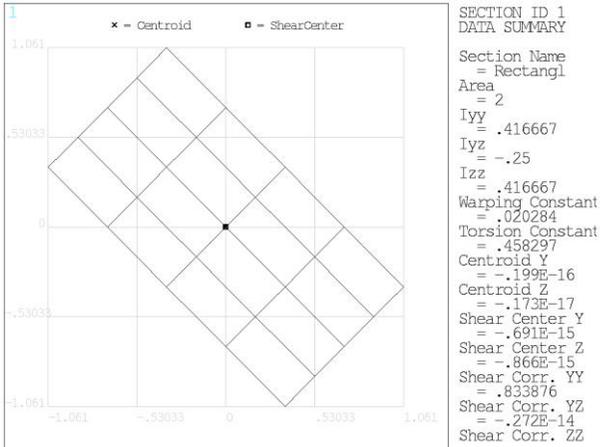
Решение задачи: Приравняв E , a , P и l к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом

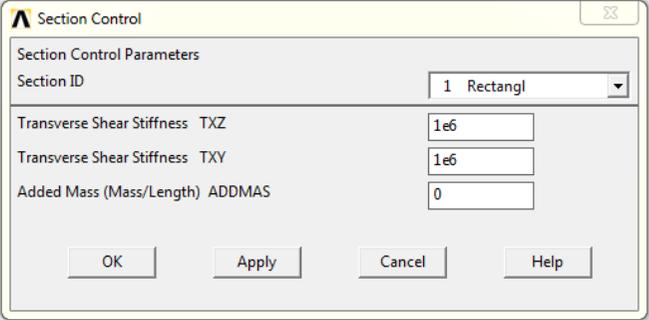
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters > a=1 > Accept > Alpha=45 > Accept > E=1 > Accept > l=1 > Accept > nu=0.3 > Accept > P=1 > Accept > > Close</p>	
2	<p><i>Первая строка в таблице конечных элементов – трёхмерный балочный BEAM188:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Add Element reference number пишем 1 В левом окошке выбираем "Beam" В правом окошке "2 node 188" > OK > В окошке Element types отметить строку "1 BEAM188" > Options > КЗ установить "Quadratic Form" > OK > > Close</p>	
3	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic > EX пишем "E", PRXY пишем "nu" > OK Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	

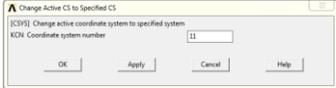
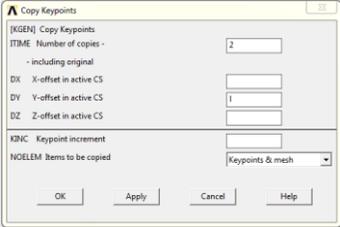
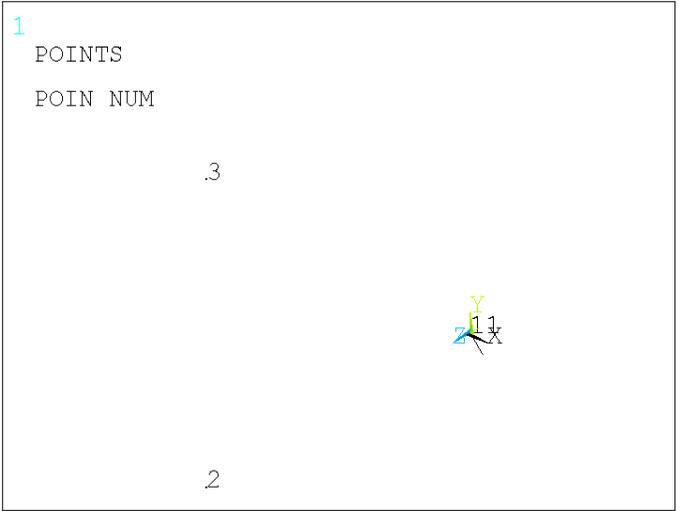
№	Действие	Результат
Поперечное сечение		
4	<p><i>Поверхность поперечного сечения:</i></p> <p>Поверхность – прямоугольник $a \times 2a$, заданный координатами своих верхней левой и нижней правой угловых точек:</p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Areas > > Rectangle > By Dimensions X1, X2 пишем в окошках $-a/2$ и $a/2$ Y1, Y2 пишем в окошках a и $-a$ > OK</p>  <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p> <p>Активной назначаем цилиндрическую систему координат:</p> <p>U_M > WorkPlane > Change Active CS to > Global Cylindrical</p> <p>Поворачиваем поверность вокруг полюса (начало координат) на угол α :</p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Move/Modify > Areas > Areas > > Pick All > В поле DY пишем Alpha > OK</p>  <p>Возвращаемся к глобальной декартовой системе координат:</p> <p>U_M > WorkPlane > Change Active CS to > Global Cartesian</p>	 <p>real=1 csys=1 secn=1</p>  <p>real=1 csys=0 secn=1</p>

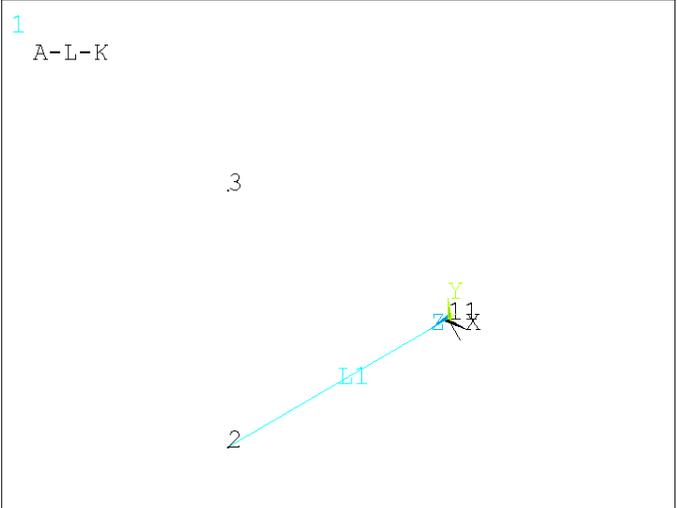
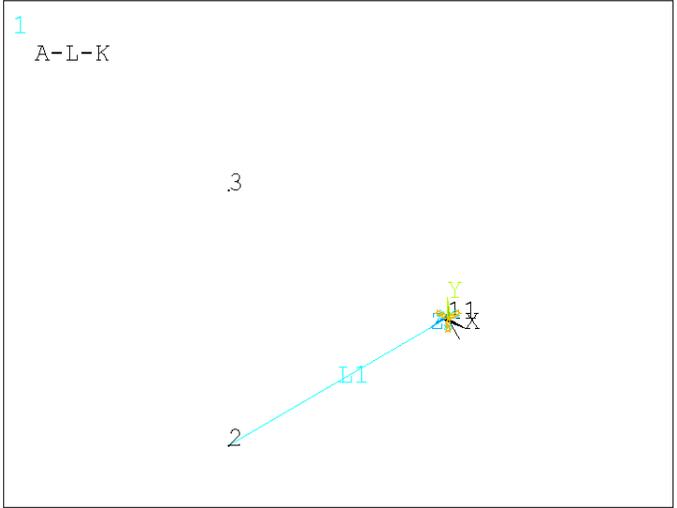
№	Действие	Результат																												
5	<p><i>Геометрические характеристики начерченной поверхности:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Operate > Calc Geom Items > Of Areas ></p> <p>Переключатель Selection устанавливаем как "Normal" > ОК</p> <p>Получаем: $x_c = 0; y_c = 0; z_c = 0$ - координаты центра тяжести;</p> <p>$THXY = 45; THYZ = 0; THZX = 0$ - углы перехода от глобальной декартовой системы координат к системе координат главных центральных осей;</p> <p>Для того, чтобы увидеть главные центральные оси, позиционируем по ним систему координат рабочей плоскости:</p> <p>U_M > WorkPlane > Display Working Plain</p> <p>U_M > WorkPlane > Offset WP by Increments ></p> <p>В окошке "X,Y,Z Offsets" пишем координаты центра 0,0,0</p> <p>В окошке "XY,YZ,ZX Angles" пишем угол перехода 45,0,0 > ОК</p> <p>Видим: положение центра тяжести поверхности и направления её главных центральных осей совпадают с указанными на <i>рис.1</i>. Наименования осей иные, но это не принципиально. Просто рассмотрим пропечатанные моменты инерции, как момент относительно оси параллельной ($//$) и момент относительно оси перпендикулярной (\perp) длинной стороне фигуры:</p> <p>$I_{\perp} = I_{XX} = 0,6667$</p> <p>$I_{//} = I_{YY} = 0,1667$</p> <p>Эти результаты совпадают с приведенными на <i>рис.1</i>. (числа, выделенные синим цветом) с моментами I_x и I_y соответственно.</p>	 <p>ASUM Command</p> <p>File</p> <p>PRINT GEOMETRY ITEMS ASSOCIATED WITH THE CURRENTLY SELECTED AREAS</p> <p>*** NOTE *** CP = 20.483 TIME= 14:32:34 Density not associated with all selected areas. Geometry items are based on a unit density.</p> <p>TOTAL NUMBER OF AREAS SELECTED = 1 (OUT OF 1 DEFINED)</p> <p>TOTAL SURFACE AREA OF ALL SELECTED AREAS = 2.0000</p> <p>TOTAL VOLUME OF ALL SELECTED AREAS = 2.0000</p> <p>CENTER OF MASS: XC= 0.60715E-16 YC= 0.12490E-15 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>I_{XX}</td> <td>0.41667</td> <td>0.41667</td> <td>0.66667</td> </tr> <tr> <td>I_{YY}</td> <td>0.41667</td> <td>0.41667</td> <td>0.16667</td> </tr> <tr> <td>I_{ZZ}</td> <td>0.83333</td> <td>0.83333</td> <td>0.83333</td> </tr> <tr> <td>I_{XY}</td> <td>0.25000</td> <td>0.25000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I_{YZ}</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>I_{ZX}</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>PRINCIPAL ORIENTATION VECTORS (X,Y,Z): 0.707 0.707 0.000 -0.707 0.707 0.000 0.000 0.000 1.000 (THXY= 45.000 THYZ= 0.000 THZX= 0.000)</p>  <p>1 AREAS TYPE NUM</p> <p>The diagram shows a cyan parallelogram with vertices labeled 1, 2, 3, 4. A coordinate system with X and Y axes is shown. Two principal axes are indicated: a dashed line labeled I_{\perp} and a solid line labeled $I_{//}$. The origin of the principal axes is marked with 'CM' and 'X', 'Y', 'Z' labels.</p>		ABOUT ORIGIN	ABOUT CENTER OF MASS	PRINCIPAL	I _{XX}	0.41667	0.41667	0.66667	I _{YY}	0.41667	0.41667	0.16667	I _{ZZ}	0.83333	0.83333	0.83333	I _{XY}	0.25000	0.25000		I _{YZ}	0.0000	0.0000		I _{ZX}	0.0000	0.0000	
	ABOUT ORIGIN	ABOUT CENTER OF MASS	PRINCIPAL																											
I _{XX}	0.41667	0.41667	0.66667																											
I _{YY}	0.41667	0.41667	0.16667																											
I _{ZZ}	0.83333	0.83333	0.83333																											
I _{XY}	0.25000	0.25000																												
I _{YZ}	0.0000	0.0000																												
I _{ZX}	0.0000	0.0000																												

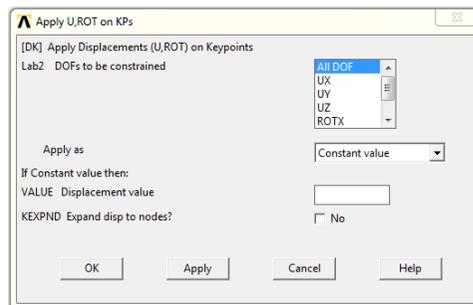
№	Действие	Результат
6	<p><i>Главные центральные оси поперечных сечений (система координат №11):</i></p> <p>Перед тем, как создавать систему координат, переименуем оси в соответствии с <i>рис.1</i>. Поворачиваем рабочую плоскость так, чтобы X и Y поменялись местами:</p> <p>U_M > WorkPlane > Offset WP by Increments > Три раза нажимаем кнопку  > ОК</p> <p>Декартову систему координат №11 (главные центральные оси поперечных сечений стержня) создаём по системе координат рабочей плоскости:</p> <p>U_M> WorkPlane> Local Coordinate Systems> > Create Local CS> At WP Origin></p> <p>KCN пишем 11</p> <p>KCS устанавливаем Cartesian (декартова) > ОК</p> <p>Гасим оси координат рабочей плоскости:</p> <p>U_M > WorkPlane > DisplayWorking Plane</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Возвращаемся к глобальной декартовой системе координат:</p> <p>U_M> WorkPlane > Change Active CS to > Global Cartesian</p>	
7	<p><i>Размер стороны элемента для разбиения:</i></p> <p>ANSYS разбивает площадь сечения на плоские четырёхсторонние неисполняемые конечные элементы. Для каждого такого элемента отработаны формулы поиска площади, центра тяжести и т.д. Опирируя этими величинами, программа ищет геометрические характеристики всего сечения.</p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Global > Size</p> <p>NDIV пишем, например 4 (вдоль каждой линии будет 4 элемента) > ОК</p>	

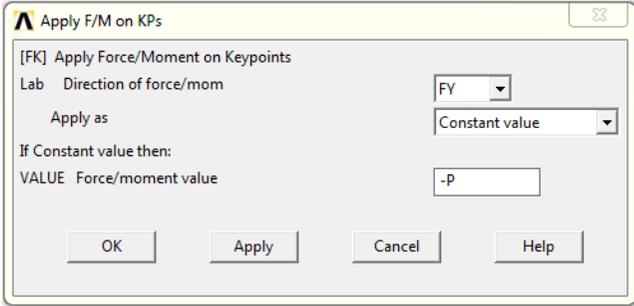
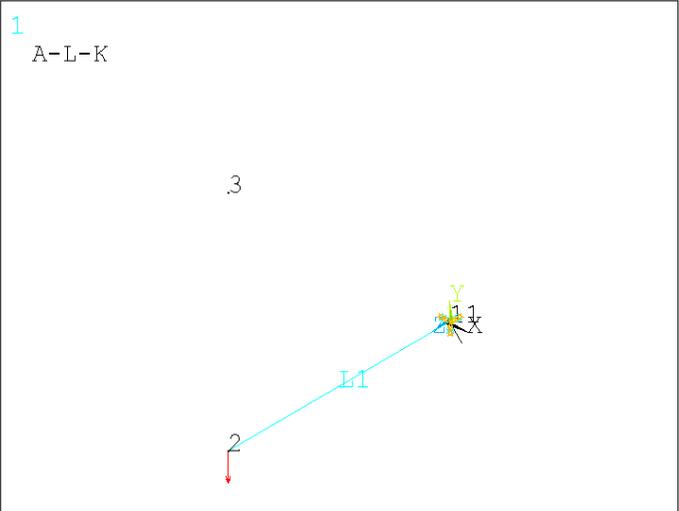
№	Действие	Результат																														
8	<p><i>Разбиваем фигуру на элементы и сохраняем разбиение на диске:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Sections > Beam > Custom Sections > > Write From Areas > > Write From Areas ></p> <p>Окно "Note" закройте</p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на построенную фигуру</p> <p>> OK</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>> OK</p>																															
9	<p><i>Считываем разбиение с диска, как поперечное сечение №1:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Sections > Beam > Custom Sections > > Read Sect Mesh ></p> <p>[SECTYPE] пишем 1</p> <p>Section Name пишем название сечения, например Rectangl</p> <p>[SECREAD] пишем название сохранённого файла S1</p> <p>> OK</p>																															
10	<p><i>Прорисовываем сечение Rectangl:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Sections > Beam > Plot Section</p> <p>[Secplot] установить "1 Rectangl"</p> <p>Show section mesh? установить "Yes"</p> <p>> OK</p> <p>Здесь геометрические характеристики сечения мы видим относительно горизонтальной и вертикальной центральной осей.</p>	 <table border="1" data-bbox="1892 1045 2049 1492"> <thead> <tr> <th colspan="2">SECTION ID 1 DATA SUMMARY</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Section Name</td> <td>= Rectangl</td> </tr> <tr> <td>Area</td> <td>= 2</td> </tr> <tr> <td>Iyy</td> <td>= .416667</td> </tr> <tr> <td>Iyz</td> <td>= -.25</td> </tr> <tr> <td>Izz</td> <td>= .416667</td> </tr> <tr> <td>Warping Constant</td> <td>= .020284</td> </tr> <tr> <td>Torsion Constant</td> <td>= .458297</td> </tr> <tr> <td>Centroid Y</td> <td>= -.199E-16</td> </tr> <tr> <td>Centroid Z</td> <td>= -.173E-17</td> </tr> <tr> <td>Shear Center Y</td> <td>= -.691E-15</td> </tr> <tr> <td>Shear Center Z</td> <td>= -.866E-15</td> </tr> <tr> <td>Shear Corr. YY</td> <td>= .833876</td> </tr> <tr> <td>Shear Corr. YZ</td> <td>= -.272E-14</td> </tr> <tr> <td>Shear Corr. ZZ</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	SECTION ID 1 DATA SUMMARY		Section Name	= Rectangl	Area	= 2	Iyy	= .416667	Iyz	= -.25	Izz	= .416667	Warping Constant	= .020284	Torsion Constant	= .458297	Centroid Y	= -.199E-16	Centroid Z	= -.173E-17	Shear Center Y	= -.691E-15	Shear Center Z	= -.866E-15	Shear Corr. YY	= .833876	Shear Corr. YZ	= -.272E-14	Shear Corr. ZZ	
SECTION ID 1 DATA SUMMARY																																
Section Name	= Rectangl																															
Area	= 2																															
Iyy	= .416667																															
Iyz	= -.25																															
Izz	= .416667																															
Warping Constant	= .020284																															
Torsion Constant	= .458297																															
Centroid Y	= -.199E-16																															
Centroid Z	= -.173E-17																															
Shear Center Y	= -.691E-15																															
Shear Center Z	= -.866E-15																															
Shear Corr. YY	= .833876																															
Shear Corr. YZ	= -.272E-14																															
Shear Corr. ZZ																																

№	Действие	Результат
11	<p><i>Сдвиговую жёсткость поперечного сечения Rectangl устанавливаем очень высокую для того, чтобы сдвиговые деформации не вносили вклад в перемещения:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Sections > Beam > Sect Control > Section ID выбираем "1 Rectangl" TXZ пишем 1e6 TXY пишем 1e6 > OK</p>	
12	<p><i>Сечение задано, поверхность, по которой оно задавалось удаляем; больше эта поверхность не понадобится:</i></p> <p>U_M > Plot > Area M_M > Preprocessor > Modeling > Delete > Area and Below > > Pick All</p>	

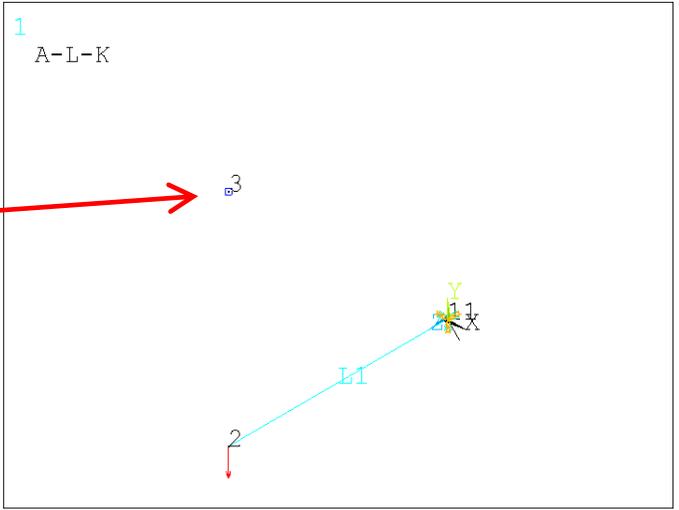
№	Действие	Результат
Балка, твердотельное моделирование		
13	<p>Ключевые точки $C \rightarrow 1$, $D \rightarrow 2$, и точка 3 в вертикальной плоскости для ориентации поперечного сечения:</p> <p>Активной устанавливаем систему координат №11 главных центральных осей: U_M > WorkPlane > Change Active CS to > Specified Coord Sys В окошке KCN пишем 11 > OK</p>  <p> - изометрия;  - автоформат.</p> <p>Точки, лежащие на оси стержня проставляем в этой системе координат: 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 0, 0, l > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Возвращаемся к глобальной декартовой системе координат: U_M > WorkPlane > Change Active CS to > Global Cartesian</p> <p>Копируем вверх по вертикали одну из точек оси (например точку №2): M_M > Modeling > Copy > Keypoints Кликаем на ключевую точку 2 > OK ></p> <p>В окошке DY пишем величину вертикального смещения, например l > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	 

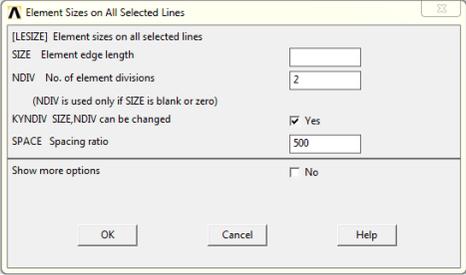
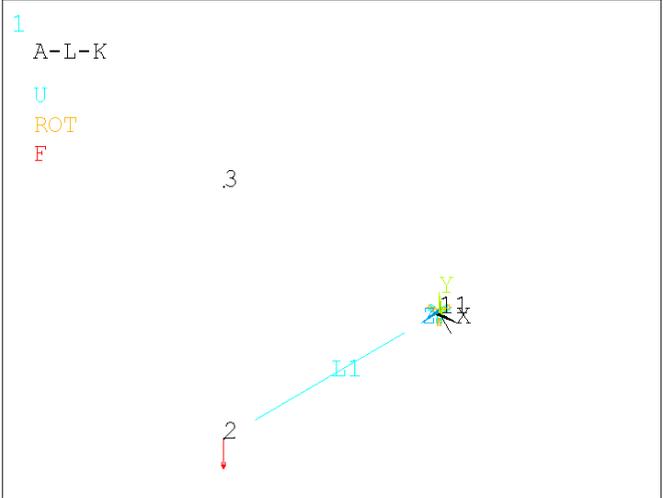
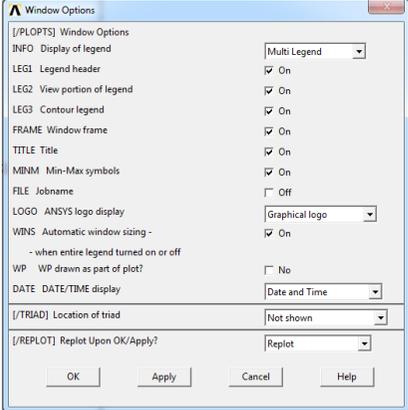
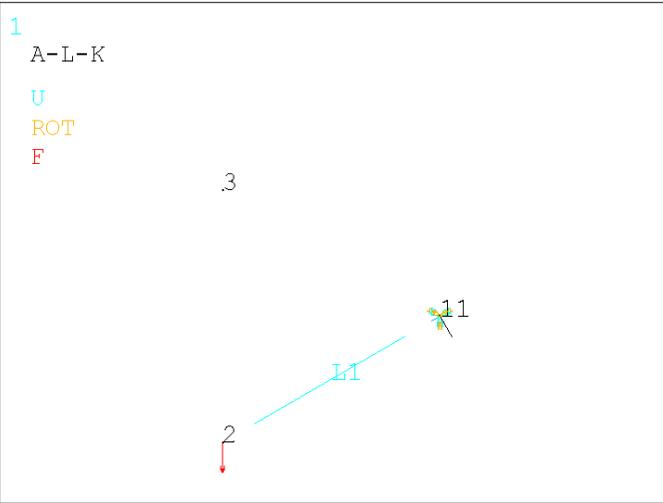
№	Действие	Результат
14	<p><i>Один участок – одна линия:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line ></p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки: 1 и 2 > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
15	<p><i>Заделка:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 1 ключевую точку > OK ></p> <p>Lab2 установить "All DOF" > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

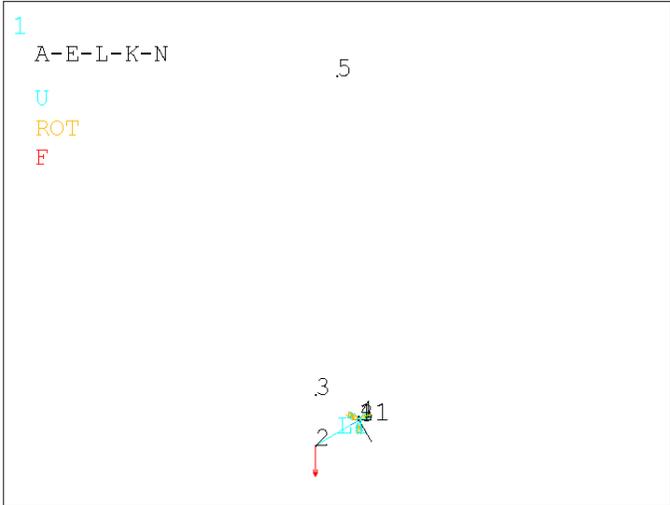
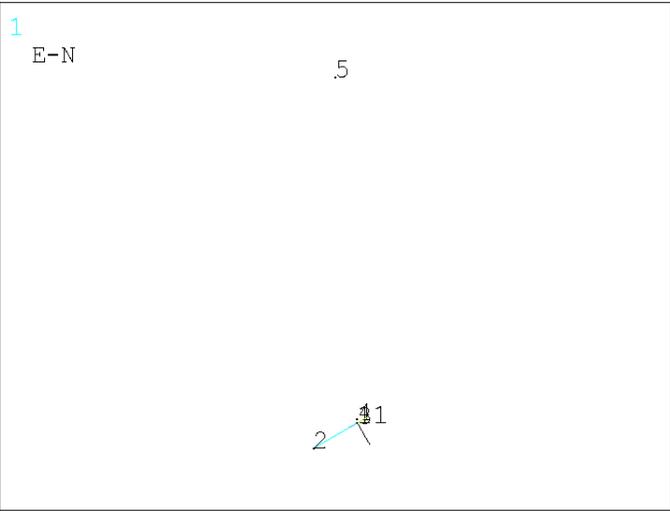


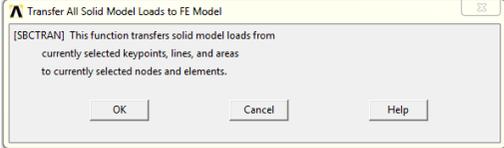
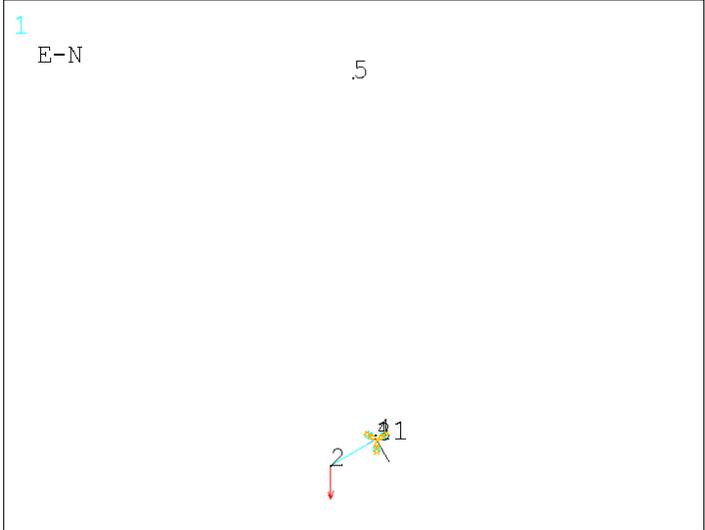
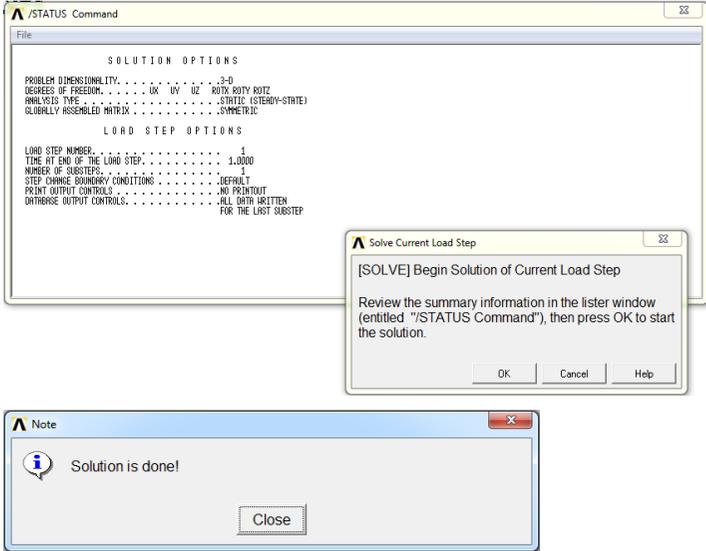
№	Действие	Результат
16	<p><i>Внешняя сосредоточенная сила:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints > Left mouse button click on 2 keypoint > OK > Lab установить "FY" VALUE установить "-P" > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> 	

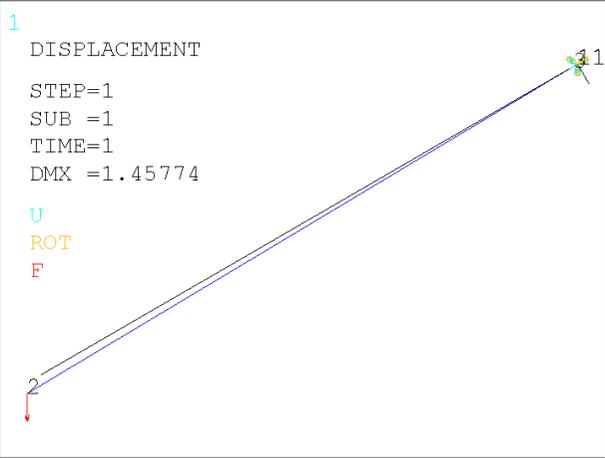
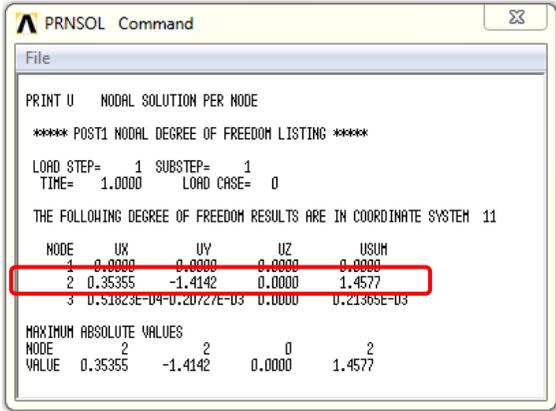
Конечноэлементная модель

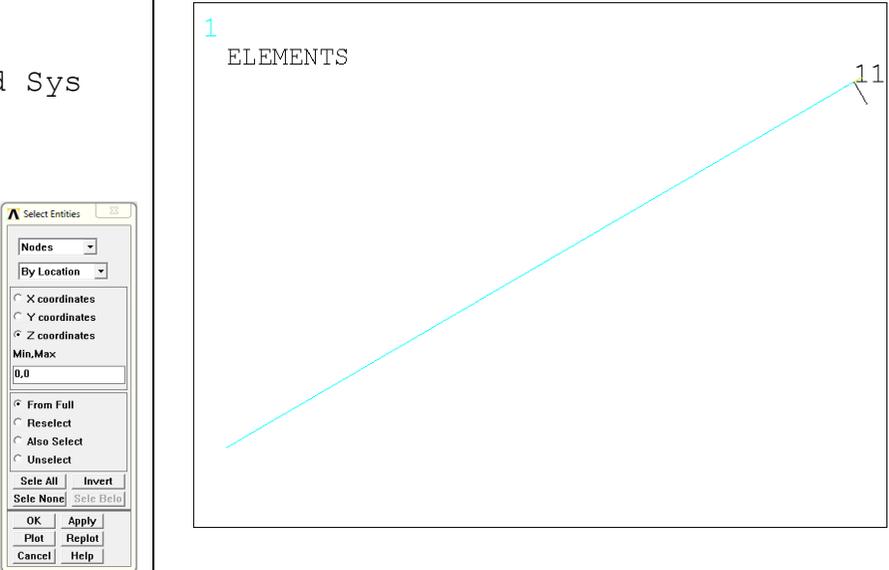
17	<p><i>Указываем материал, тип элементов и номер поперечного сечения:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Lines > MAT установить "1" TYPE установить "1 BEAM188" SECT установить "1 Rectangl" Pick Orientation Keypoint(s) установить "Yes" > OK > Кликаем мышкой на точку 3 > OK</p>  	
----	--	--

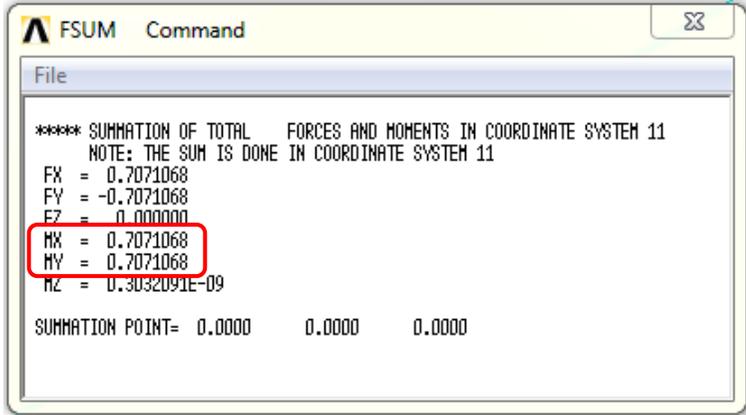
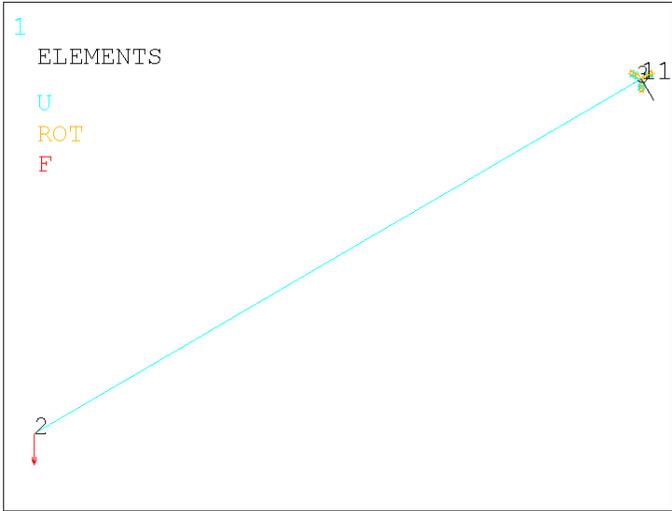
№	Действие	Результат
18	<p><i>Размер элементов:</i></p> <p>Два элемента на весь стержень, второй элемент будет длиннее первого в 500 раз:</p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrl > ManualSize > Lines > All Lines > NDIV пишем 2 SPACE пишем 500 > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>  <p>При необходимости корректируйте масштаб:  или .</p>	
19	<p><i>Скрываем оси глобальной декартовой системы координат:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Window Controls > Window Options > [/Triad] установить "Not Shown"</p> <p>> OK</p> 	

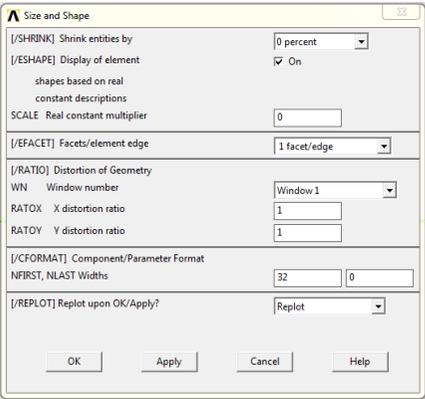
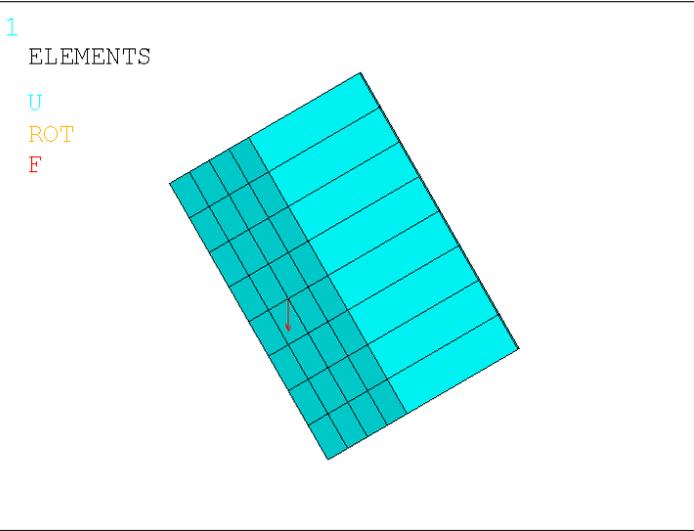
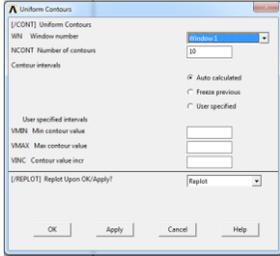
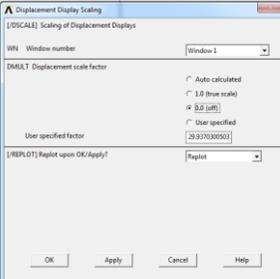
<p>20</p>	<p><i>Рабиваем линию на элементы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Pick All</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Видим сразу две модели – твердотельную и конечноэлементную.</p>	 <p>1 A-E-L-K-N 5 U ROT F</p> <p>3 1 2</p>
<p>21</p>	<p><i>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Multi-Plot Controls > Появляется первое окно Multi-Plotting > > ОК ></p> <p>Появляется второе окно Multi-Plotting > Ставим отметки только напротив Nodes и Elements > ОК</p>  <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Теперь видим только конечноэлементную модель: чёрные точки с номерами – узлы модели, бирюзовые линии – балочные конечные элементы.</p> <p>Обращаем внимание: на конце стержня (в точке C, <i>рис.1.</i>) располагается узел №2. Именно его перемещения после расчёта нам нужно найти.</p>	 <p>1 E-N 5</p> <p>2 1</p>

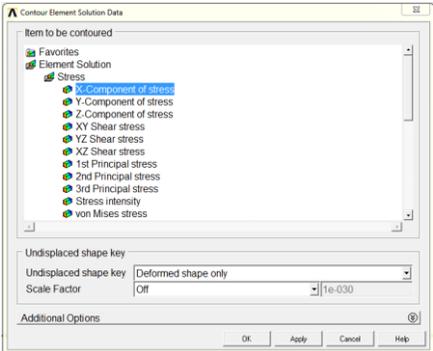
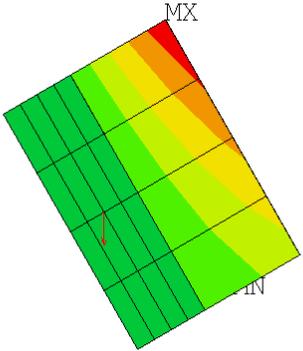
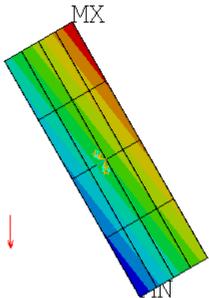
№	Действие	Результат
22	<p><i>Переносим на конечноэлементную модель нагрузки и закрепления с модели твердотельной:</i></p> <p>M_M > Loads > Define Loads > Operate > Transfer to FE > All Solid Lds > OK</p>  <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
Расчёт		
23	<p><i>Запускаем расчёт: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

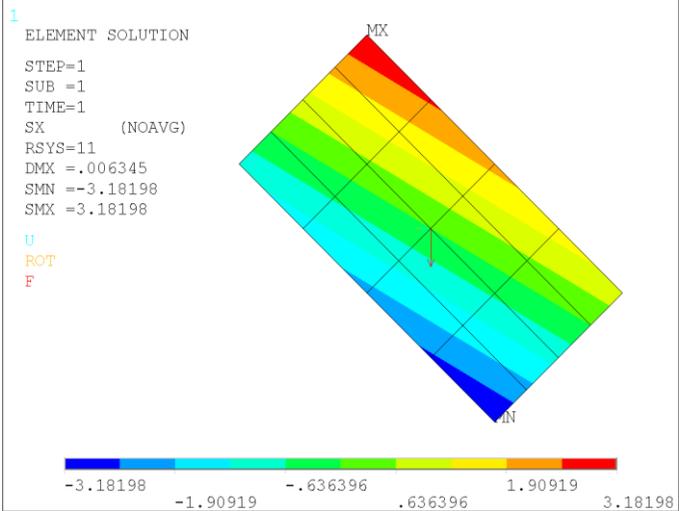
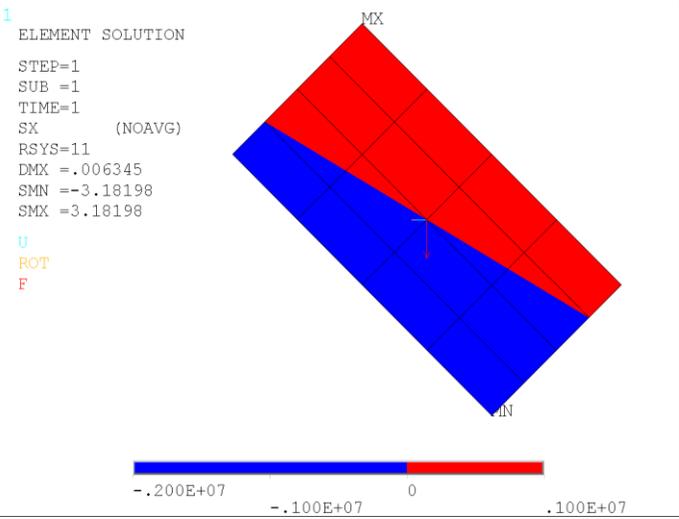
№	Действие	Результат
Просмотр результатов:		
24	<p><i>Форма упругой оси нагруженной балки:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > OK</p> <p>Некоторые символы пропадают. Восстановим их: U_M > PlotCtrls > Symbols > Boundary condition устанавливаем "All Applied BCs" > OK</p> <p>Форма стержня до нагружения (недеформированная) изображена сеткой чёрным цветом, форма после нагружения (деформированная) изображена сплошным синим цветом. Прогибается вниз и влево всё правильно.</p>	
25	<p><i>Результаты печатывают в системе координат №11 главных центральных осей:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Options for Outp > [RSYS] Results for Output установить "Local system" В окошке Local system reference no. указать 11 > OK</p>	
26	<p><i>Перемещение узла №2:</i></p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Displacement vector sum > OK</p> <p>Видим:</p> $\delta_x = 0,3536 ; \delta_y = 1,414 ; \delta_D = 1,458 .$ <p>Точное совпадение с результатами аналитического расчёта (рис. 1.) .</p>	 <pre> PRNSOL Command File PRINT U 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 COORDINATE SYSTEM 11 NODE UX UY UZ USUM ----- - 1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 2 0.35355 -1.4142 0.0000 1.4577 3 0.51823E-04 0.20727E-03 0.0000 0.21365E-03 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 2 2 0 2 VALUE 0.35355 -1.4142 0.0000 1.4577 </pre>

№	Действие	Результат
27	<p>Из всех узлов модели выделяем тот, который в заделке (то есть, имеет координату $z=0$):</p> <p>Прорисовываем элементы и их узлы: U_M > Plot > Elements</p> <p>Активной устанавливаем систему координат главных центральных осей: U_M > WorkPlane > Change Active CS to > Specified Coord Sys В окошке KCN пишем 11 > ОК</p> <p>Выделяем узел с координатой $z=0$: U_M > Select > Entities... > В Select Entities установить "Nodes" и "By Location" Верхний селектор установить на «Z coordinates» В окошке Min,Max пишем 0,0 Нижний селектор установить на «From Full» > ОК</p> <p>Прорисовываем, что получилось: U_M > Plot > Elements</p> <p>Видим балочные конечные элементы и один узел в заделке. Усилия, с которыми элементы действуют на узел и есть внутренние усилия в прикорневом сечении стержня, содержащем точку C (рис.1.).</p>	 <p>The image shows two parts: a dialog box and a plot window. The dialog box is titled 'Select Entities' and has 'Nodes' selected in the 'Nodes' dropdown. The 'By Location' dropdown is also selected. Under 'By Location', 'Z coordinates' is selected with a radio button. The 'Min,Max' field contains '0,0'. Under 'From Full', 'From Full' is selected with a radio button. There are buttons for 'Select All', 'Invert', 'Select None', and 'Select Defeat'. At the bottom are 'OK', 'Apply', 'Plot', 'Replot', 'Cancel', and 'Help' buttons. The plot window is titled '1 ELEMENTS' and shows a single beam element in red. Node 11 is highlighted at the fixed end of the beam.</p>

№	Действие	Результат
28	<p>Усилия, с которыми элементы действуют на выделенный узел:</p> <p>Узел, относительно которого будут вычисляться моменты: M_M > General Postproc > Nodal Calcs > Summation Pt > At Node Левой кнопкой мыши кликнуть на узел №1 в заделке > ОК</p> <p>Показать все шесть усилий (три силы, три момента): M_M > General Postproc > Nodal Calcs > Total Force Sum LAB установить "Active RSYS" ITEM установить "ALL" > ОК</p>  <p>Внутренние изгибающие моменты равны:</p> $M_x = 0,7071 ; M_y = 0,7071 .$ <p>Точное совпадение с результатами аналитического расчёта (рис. 1).</p> <p>Примечание: Иногда результаты получаются нулевые. Это сбой. Последовательно нажмите кнопки SAVE_DB и RESUM_DB и попробуйте ещё раз.</p>	 <pre> File ***** SUMMATION OF TOTAL FORCES AND MOMENTS IN COORDINATE SYSTEM 11 NOTE: THE SUM IS DONE IN COORDINATE SYSTEM 11 FX = 0.7071068 FY = -0.7071068 FZ = 0.0000000 MX = 0.7071068 MY = 0.7071068 MZ = 0.3032091E-09 SUMMATION POINT= 0.0000 0.0000 0.0000 </pre>
29	<p>Выделяем всё и прорисовываем конечные элементы:</p> <p>U_M > Select > Everything U_M > Plot > Elements Автоформат – кнопка  справа от рабочего поля.</p>	

№	Действие	Результат
30	<p><i>Прорисовываем конечные элементы полноразмерно:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Size and Shape > [/ESHAPE] установить галочку "On" > ОК</p> 	<p>1 ELEMENTS</p> <p>U ROT F</p> 
31	<p><i>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10 > ОК</p>	
32	<p><i>Напряжения будем смотреть на недеформированной форме:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Displacement Scaling > DMULT устанавливаем "0.0(off)" > ОК</p>	

№	Действие	Результат
33	<p><i>Осевые напряжения в выделенном элементе:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Element Solu> Element Solution> Stress> X-Component of stress > OK</p> 	<p>1 ELEMENT SOLUTION</p> <p>STEP=1 SUB =1 TIME=1 SX (NOAVG) RSYS=11 DMX =2.15784 SMN =-3.18198 SMX =3.18198</p> <p>U ROT F</p>  <p>-3.18198 -1.90919 -0.636396 0.636396 1.90919 3.18198</p>
34	<p><i>Выделяем конечный элемент – меньшую часть стержня у заделки:</i></p> <p>U_M > Select > Entities... > В Select Entities установить "Elements" и "By Num/Pick" Точку селектора установить на «From Full» > OK > Левой кнопкой мыши кликнуть на меньший из двух конечных элементов (который у заделки) > OK</p> <p>Прорисовываем, что получилось:</p> <p>U_M > Plot > Replot</p> 	<p>1 ELEMENT SOLUTION</p> <p>STEP=1 SUB =1 TIME=1 SX (NOAVG) RSYS=11 DMX =.006345 SMN =-3.18198 SMX =3.18198</p> <p>U ROT F</p>  <p>-3.18198 -1.90919 -0.636396 0.636396 1.90919 3.18198</p>

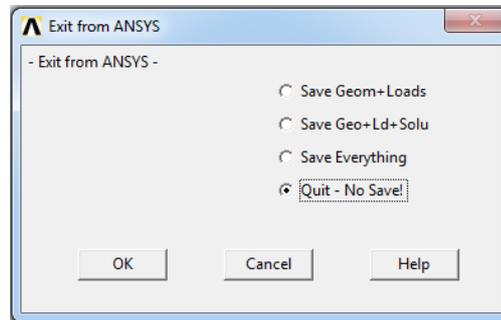
№	Действие	Результат
35	<p>Фронтальный вид:</p> <p> - вид спереди;  - автоформат.</p> <p>Наиболее опасные точки поперечного сечения отмечены надписями MN и MX</p> $\sigma_{min} = \sigma_B = -3,182 \quad ;$ $\sigma_{max} = \sigma_A = 3,182 \quad .$ <p>Точное совпадение с результатами аналитического расчёта (рис. 1). Местоположения точек A и B совпадают.</p>	
36	<p>Настройка нелинейной цветовой шкалы:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Non-niform Contours...</p> <p>V1 пишем -1e6</p> <p>V2 пишем 0</p> <p>V3 пишем 1e6</p> <p>> ОК</p>  <p>Растянутая зона поперечного сечения окрасится в красный цвет, сжатая в зелёный. Изменим палитру, окрасим зоны в крайние цвета спектра: сжатую - в “холодный” синий, растянутую – в “горячий” красный.</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Colors > Contour Colors... ></p> <p>Contour Number 2 устанавливаем “синий”</p> <p>Contour Number 3 устанавливаем “красный”</p> <p>> ОК</p> <p>Видим нейтральную линию (н.л.), отделяющую растянутые зоны друг от друга. Судя по сетке элементов, тангенс угла наклона нейтральной линии к оси X равен 1/4, что соответствует результатам аналитического расчёта ($y=1/4*x$, рис. 1).</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.