

## I-07 (ANSYS)

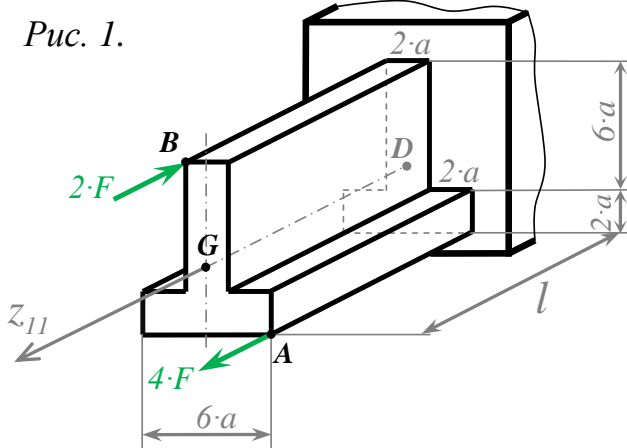
### Формулировка задачи:

Дано: Консольный стержень внецентренно нагружен двумя осевыми силами.

$E$  – модуль упругости материала/

Найти:

- 1) Главные осевые моменты инерции поперечного сечения  $I_X$  и  $I_Y$ ;
- 2) Внутренние изгибающие моменты  $M_X$  и  $M_Y$  в сечениях бруса;
- 3) Эпюру распределения нормальных напряжений  $\sigma$  в сечениях бруса.



Аналитический расчёт (см. [I-07](#)) даёт следующие решения:

$x, y$  - оси произвольной системы координат;

$x_{11}, y_{11}$  - главные центральные оси поперечного сечения;

$$I_{x_{11}} = 136 \cdot a^4 ;$$

$$I_{y_{11}} = 40 \cdot a^4 .$$

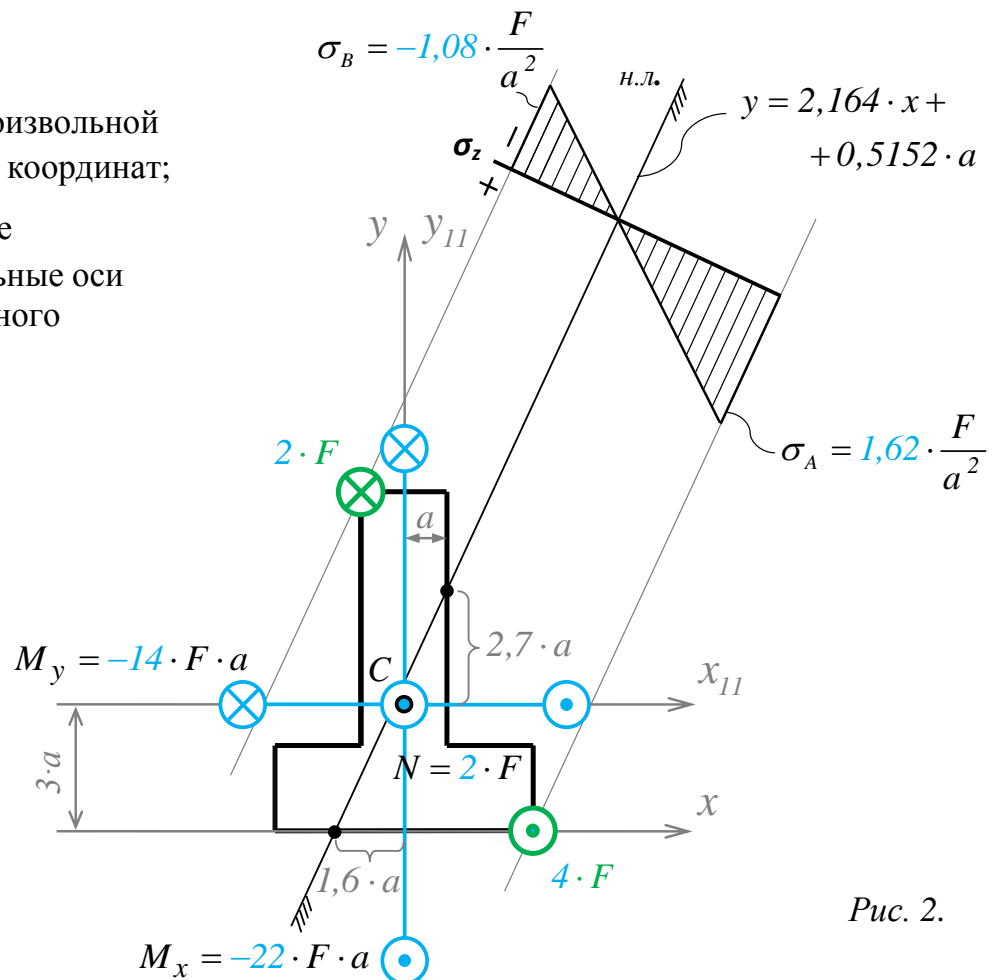
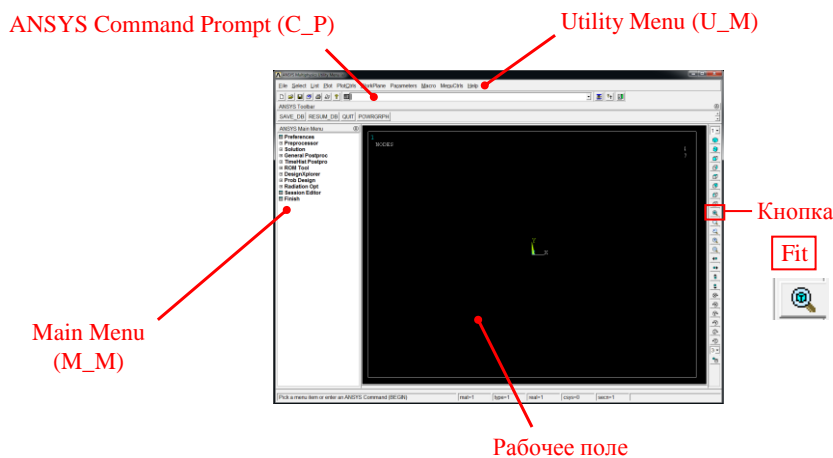


Рис. 2.

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multyphysics получить эти же результаты 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 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 твердотельной модели:

```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить KP, LINE, AREA
> OK
```

Будем работать с локальными системами координат. Прорисовывать их:

```
U_M > PlotCtrls > Symbols >
CS устанавливаем в положение "on"
> OK
```

Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

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

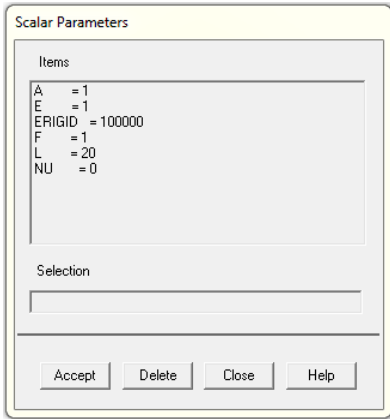
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

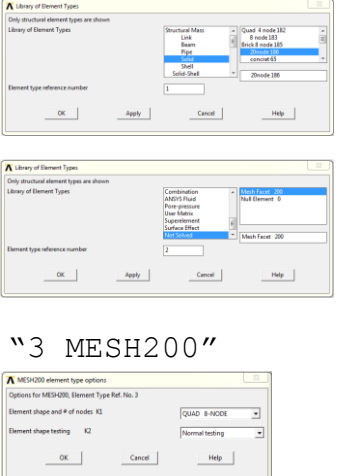
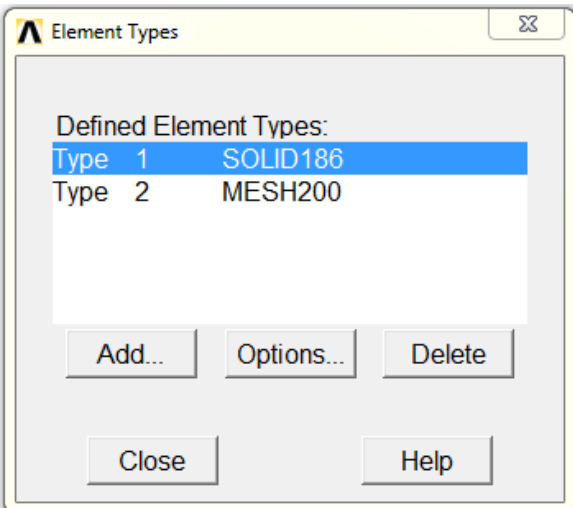
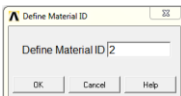
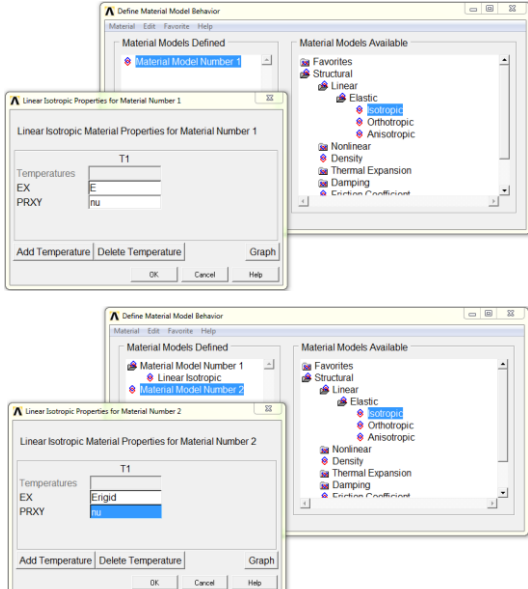
Решение задачи:

Приравняв  $F$  и  $a$  к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

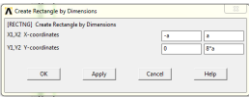
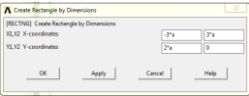

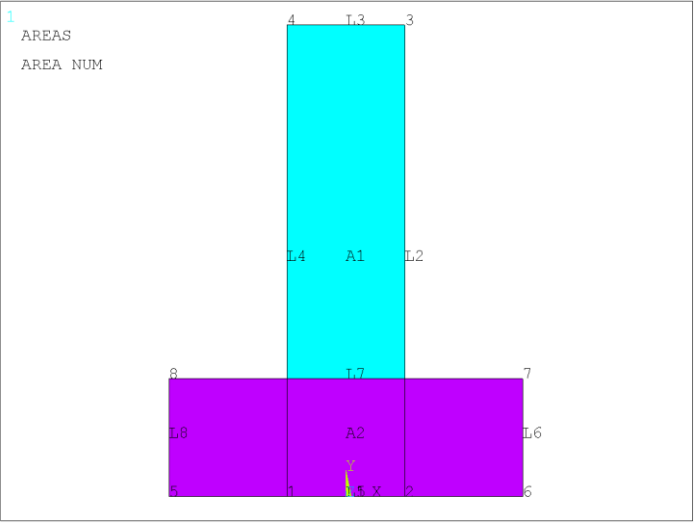
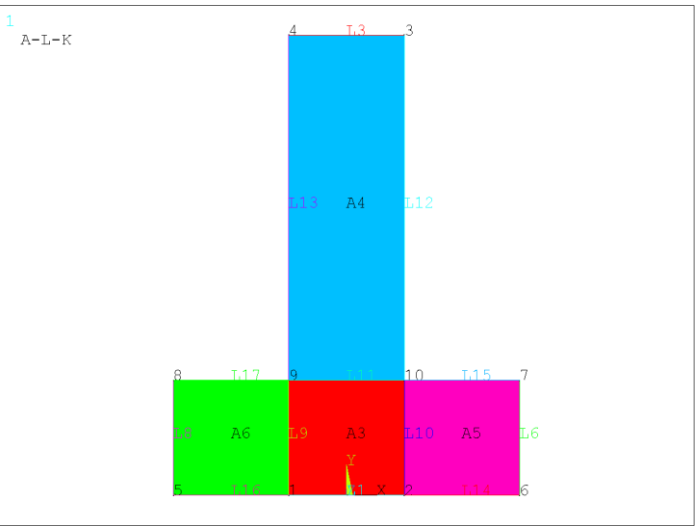
Длина стержня  $l$  на результат не влияет; из эстетических соображений зададим её, как  $20a$ . Задача статически определима, то есть, модуль упругости первого рода  $E$  материала стержня на результат так же не влияет; зададим его единицей, а коэффициент Пуассона  $\nu$  во избежание наличия поперечных деформаций приравняем к нулю (как у пробки).

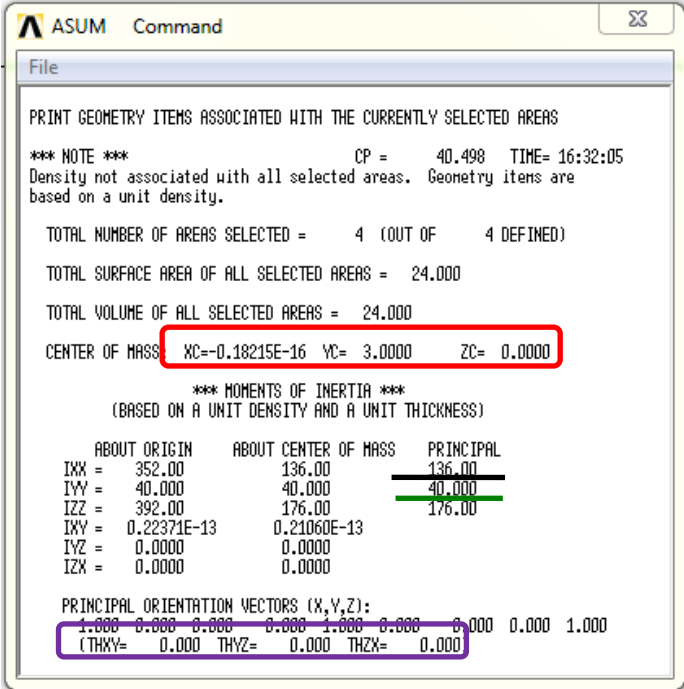
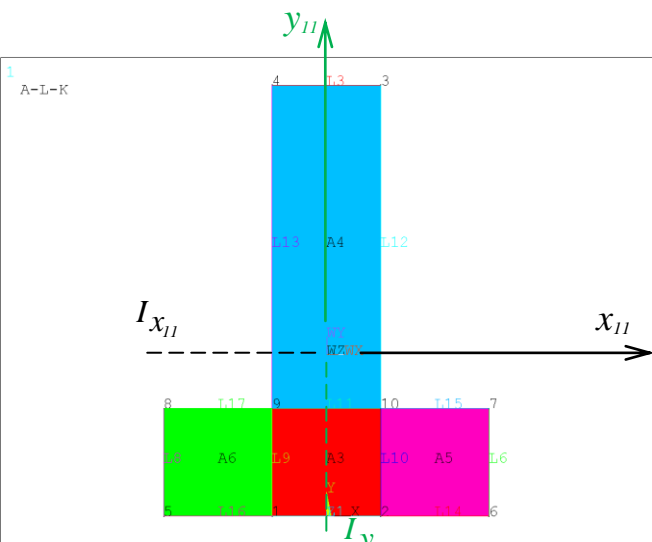
Для создания плоского поперечного сечения понадобятся элементы из жёсткого материала. Для него модуль упругости первого рода **Erigid** выберем на несколько порядков больше, чем  $E$ .

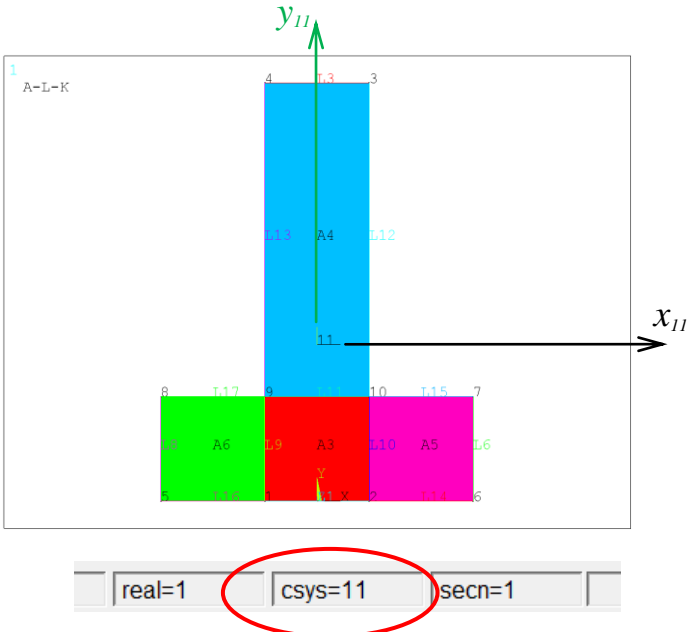
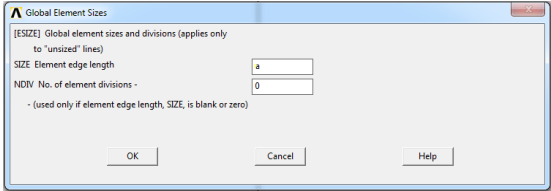
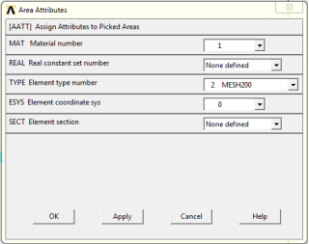
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <pre> U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt; F=1           &gt; Accept &gt; a=1           &gt; Accept &gt; l=20*a       &gt; Accept &gt; E=1           &gt; Accept &gt; Erigid=1e5   &gt; Accept &gt; nu=0         &gt; Accept &gt; &gt; Close           </pre>	

№	Действие	Результат
2	<p><i>Таблица конечных элементов – объёмный и плоский неисполняемый:</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 "Solid"            В правом окошке "20node 186"            &gt; Apply &gt;            Element reference number пишем 2            В левом окошке выбираем "Not Solved"            В правом окошке Mesh Facet 200"            &gt; OK &gt;            В окошке Element types отметить строчку "3 MESH200"            &gt; Options &gt;            K1 установить "QUAD 8-NODE"            &gt; OK &gt;            &gt; Close</p> 	
3	<p><i>Таблица материалов: (№1 – податливый материал; №2 – жёсткий материал)</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; OK &gt;            &gt; Material &gt; New Model...            Define Material ID пишем 2            &gt; OK &gt;            Structural &gt; Linear &gt; Elastic &gt; Isotropic &gt;            EX пишем Erigid            PRXY пишем nu            &gt; OK            Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p> 	

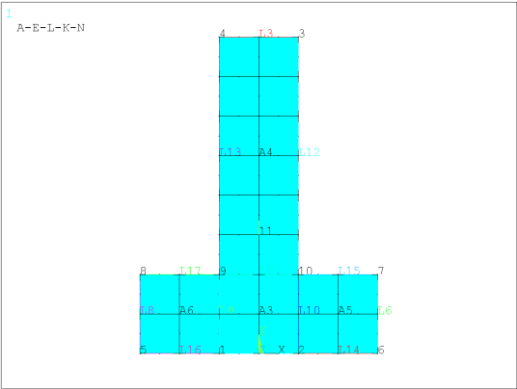


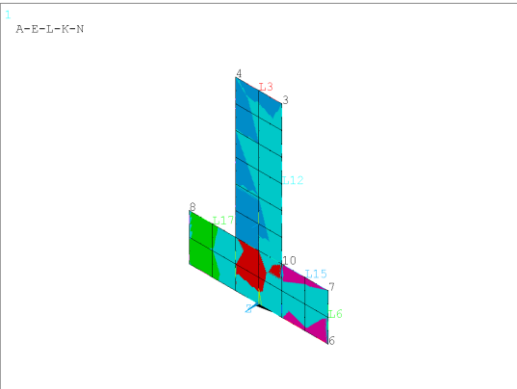
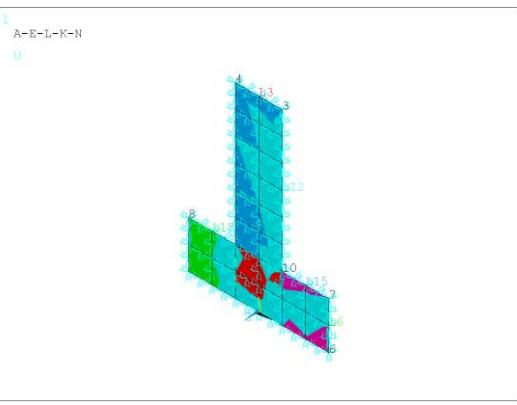
№	Действие	Результат
<b>Поперечное сечение</b>		
<b>4</b>	<p><i>Координаты точек поперечного сечения:</i></p> <p>Построить поверхность, размерами и формой повторяющую заданное поперечное сечение, можно различными способами. Проще всего построить два прямоугольника и произвести логическую операцию их наложения, чтобы поверхности не располагались в несколько слоёв.</p> <p>Для того, чтобы построить прямоугольник нужно знать координаты двух его противоположных углов в декартовой системе координат XYZ.</p> <p>Как именно по отношению к началу координат будет располагаться поверхность, не важно. Например, так, как показано на <i>рис.1</i>. Тогда координаты углов прямоугольников будут следующими:</p>	<p><i>Рис. 2.</i></p>

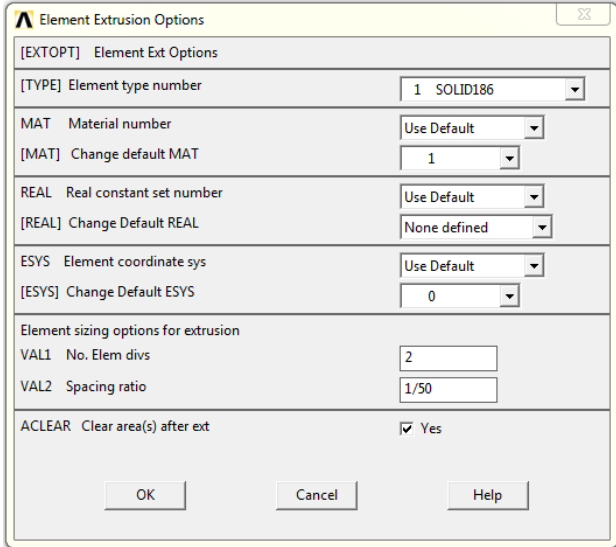
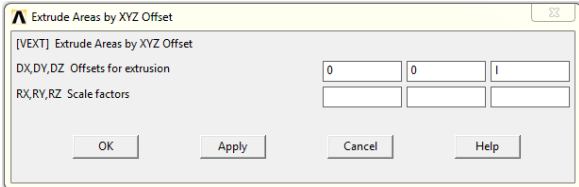
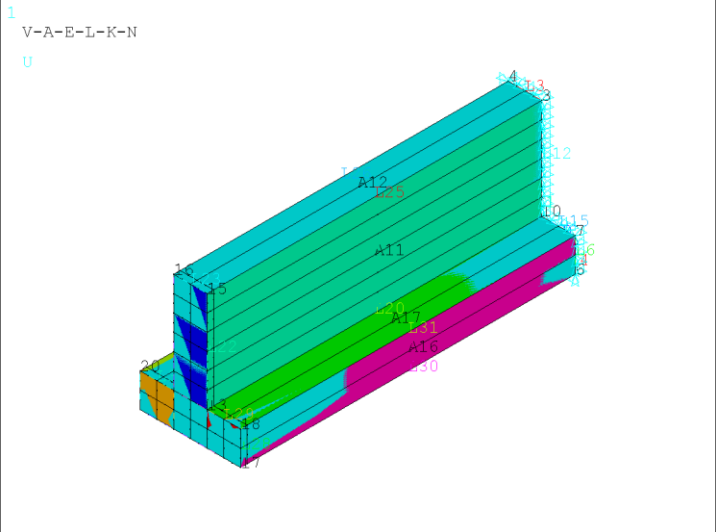
№	Действие	Результат
5	<p><i>Поверхности поперечного сечения:</i></p> <p><b>Прямоугольники:</b></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Areas &gt; Rectangle &gt; By Dimensions</p> <p>X1, X2 пишем в окошках -a и a</p> <p>Y1, Y2 пишем в окошках 0 и 8*a</p> <p>&gt; Apply &gt;</p> <p>X1, X2 пишем в окошках -3*a и 3*a</p> <p>Y1, Y2 пишем в окошках 2*a и 0</p> <p>&gt; OK</p>   <p> - автоформат (меню справа).</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>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Накладывающиеся части нескольких поверхностей становятся одной поверхностью; соприкасающиеся поверхности склеиваются.</p>	 <p>1 AREAS AREA NUM</p>  <p>1 A-L-K</p>

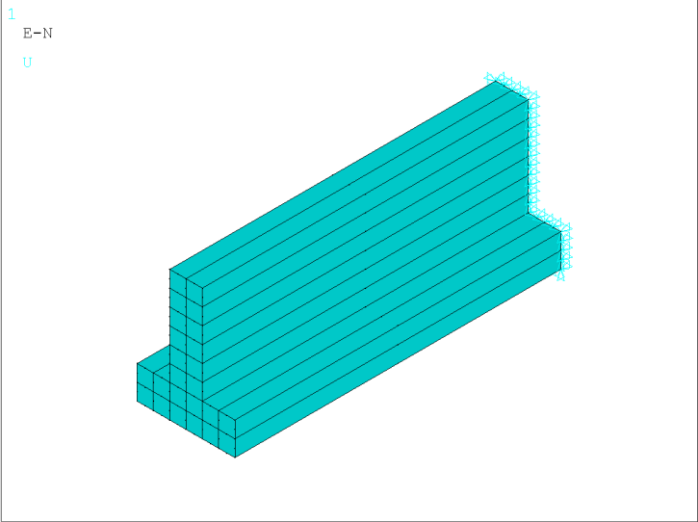
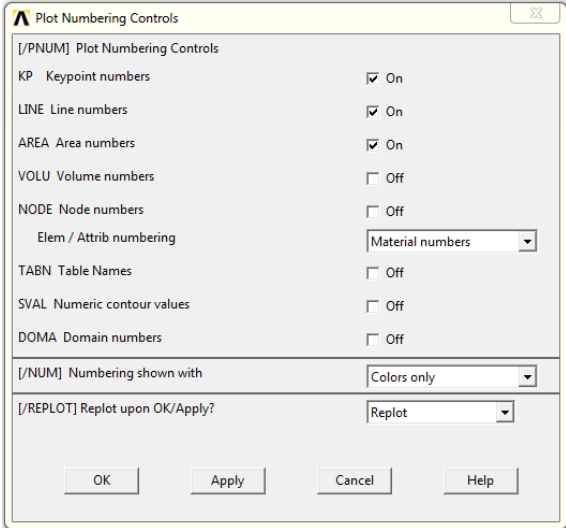
№	Действие	Результат																												
6	<p><i>Геометрические характеристики начерченной поверхности:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Operate &gt; Calc Geom Items &gt; Of Areas &gt;</p> <p>Переключатель Selection устанавливаем как "Normal" &gt; OK</p> <p>Получаем: <math>x_c = 0; y_c = 3; z_c = 0</math> - координаты центра тяжести;</p> <p><math>THXY = 0; THYZ = 0; THZX = 0</math> - 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 &gt; WorkPlane &gt; Display Working Plain</p> <p>U_M &gt; WorkPlane &gt; Offset WP by Increments &gt;</p> <p>В окошке "X,Y,Z Offsets" пишем координаты центра 0,3,0</p> <p>В окошке "XY,YZ,ZX Angles" пишем угол перехода 0,0,0 &gt; OK</p> <p>Видим: положение центра тяжести фигуры и направления её главных центральных осей совпадают с указанными на <i>рис.1</i>. Главные моменты инерции фигуры:</p> <p><math>I_{x_{II}} = I_{XX} = 136</math></p> <p><math>I_{y_{II}} = I_{YY} = 40</math></p> <p>Эти результаты совпадают с приведенными на <i>рис.1</i>. (числа, выделенные синим цветом).</p>	 <p>PRINT GEOMETRY ITEMS ASSOCIATED WITH THE CURRENTLY SELECTED AREAS</p> <p>*** NOTE *** CP = 40.498 TIME= 16:32:05 Density not associated with all selected areas. Geometry items are based on a unit density.</p> <p>TOTAL NUMBER OF AREAS SELECTED = 4 (OUT OF 4 DEFINED)</p> <p>TOTAL SURFACE AREA OF ALL SELECTED AREAS = 24.000</p> <p>TOTAL VOLUME OF ALL SELECTED AREAS = 24.000</p> <p>CENTER OF MASS XC=-0.18215E-16 YC= 3.0000 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>352.00</td> <td>136.00</td> <td>136.00</td> </tr> <tr> <td>IYY =</td> <td>40.000</td> <td>40.000</td> <td>40.000</td> </tr> <tr> <td>IZZ =</td> <td>392.00</td> <td>176.00</td> <td>176.00</td> </tr> <tr> <td>IXY =</td> <td>0.22371E-13</td> <td>0.21060E-13</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IYZ =</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IZX =</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>PRINCIPAL ORIENTATION VECTORS (X,Y,Z):</p> <p>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>  <p>The diagram shows a cross-section with a vertical blue rectangle (top) and a horizontal multi-colored rectangle (bottom). The vertical axis is labeled <math>y_{II}</math> and the horizontal axis is <math>x_{II}</math>. The vertical axis is shifted to the right of the vertical centerline. The horizontal axis is shifted downwards from the horizontal centerline. The moments of inertia <math>I_{x_{II}}</math> and <math>I_{y_{II}}</math> are indicated near the axes.</p>		ABOUT ORIGIN	ABOUT CENTER OF MASS	PRINCIPAL	IXX =	352.00	136.00	136.00	IYY =	40.000	40.000	40.000	IZZ =	392.00	176.00	176.00	IXY =	0.22371E-13	0.21060E-13		IYZ =	0.0000	0.0000		IZX =	0.0000	0.0000	
	ABOUT ORIGIN	ABOUT CENTER OF MASS	PRINCIPAL																											
IXX =	352.00	136.00	136.00																											
IYY =	40.000	40.000	40.000																											
IZZ =	392.00	176.00	176.00																											
IXY =	0.22371E-13	0.21060E-13																												
IYZ =	0.0000	0.0000																												
IZX =	0.0000	0.0000																												


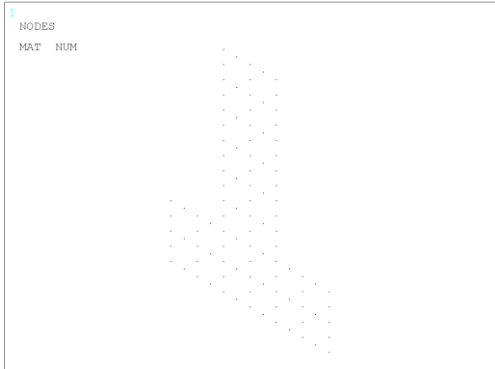
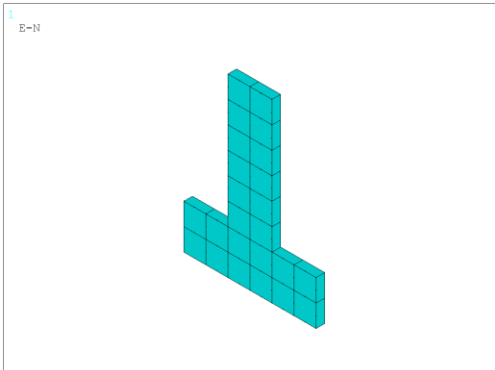
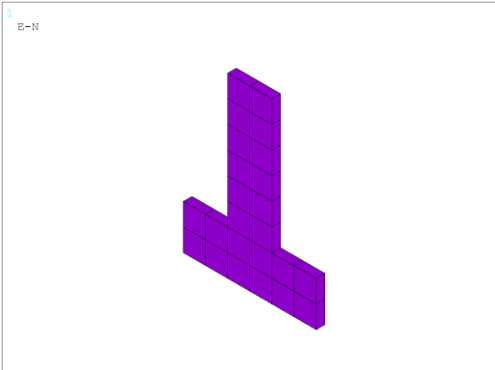
№	Действие	Результат
7	<p><i>Главные центральные оси поперечных сечений (система координат №11):</i></p> <p>Декартову систему координат №11 (главные центральные оси поперечных сечений стержня) создаём по системе координат рабочей плоскости:</p> <pre>U_M &gt; WorkPlane &gt; Local Coordinate Systems &gt; &gt; Create Local CS &gt; At WP Origin &gt;</pre> <p>KCN пишем 11</p> <p>KCS устанавливаем Cartesian (декартова)</p> <p>&gt; ОК</p> <p>Гасим оси координат рабочей плоскости:</p> <pre>U_M &gt; WorkPlane &gt; DisplayWorking Plane</pre> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <pre>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</pre>	<p><b>Результат</b></p> 
<p><b>Балка, твердотельное моделирование совмещается с одновременным созданием конечноэлементной модели</b></p>		
8	<p><i>Размер стороны элемента для разбиения:</i></p> <pre>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Size Cntrl &gt; ManualSize &gt; Global &gt; Size</pre> <p>Size пишем, например а</p> <p>&gt; ОК</p>	
9	<p><i>Указываем материал, тип элементов и номер поперечного сечения:</i></p> <pre>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh Attributes &gt; All Areas &gt;</pre> <p>MAT установить "1"</p> <p>TYPE установить "2 MESH200"</p> <p>&gt; ОК</p>	


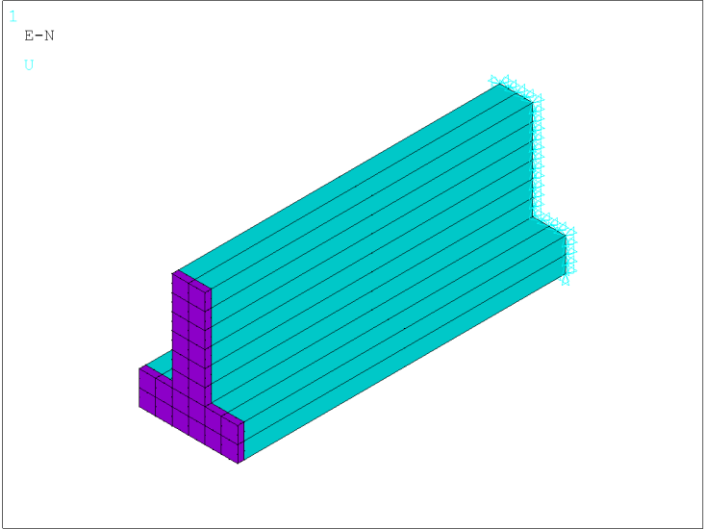
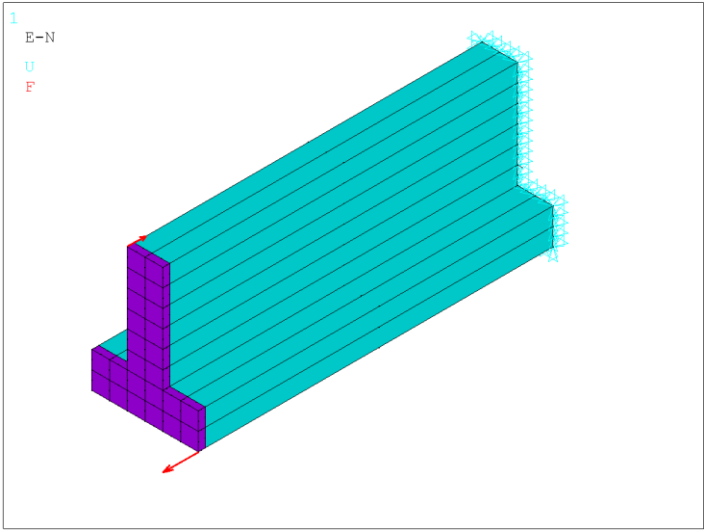


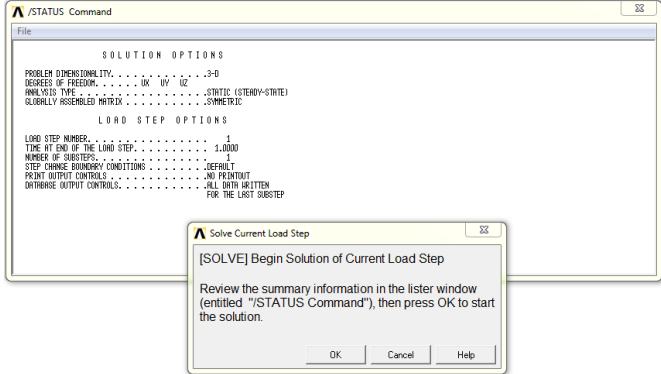
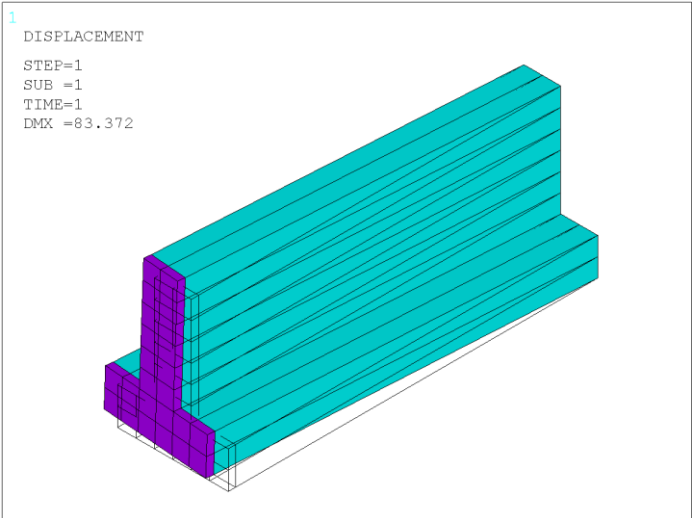
№	Действие	Результат
10	<p><i>Разбиваем фигуру на плоские неисполняемые элементы:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh &gt; Areas &gt; Mapped &gt; &gt; 3 or 4 sided &gt; Pick All &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
11	<p><i>Изометрия:</i></p> <p> - изометрия;  - автоформат (меню справа).</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
12	<p><i>Закрепления:</i></p> <p>Узлы, лежащие в заделке, уже созданы; закрепляем по всем степеням свободы:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Displacement &gt; On Nodes &gt; Pick All Lab2 установить "All DOF" &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Предупреждающее окно "Warning" (если будет) закройте Close.</p>	

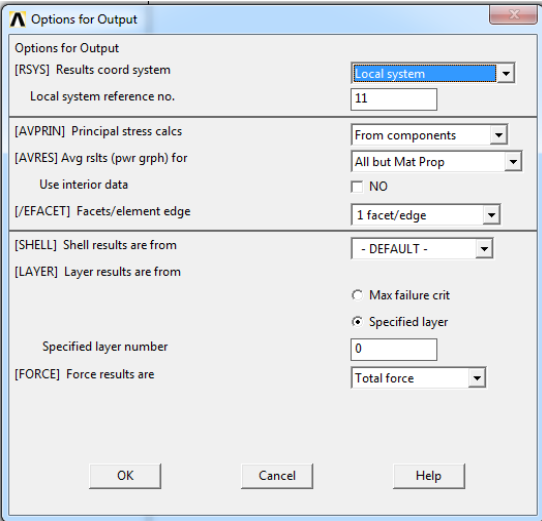
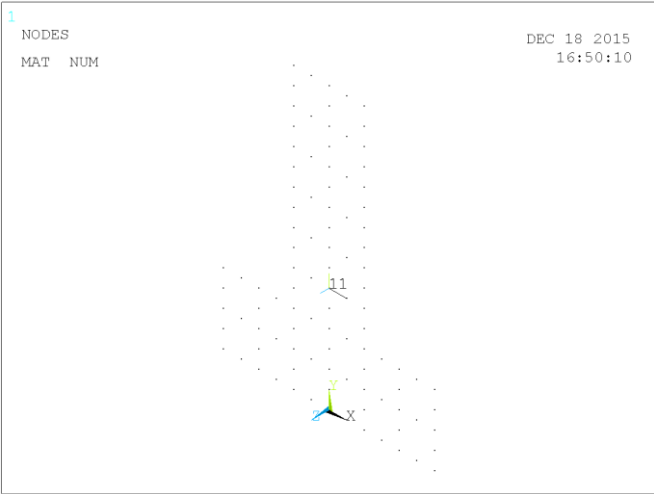
№	Действие	Результат
13	<p><i>Параметры выдавливания поверхности с плоской сеткой конечных элементов в объём с сеткой объёмных конечных элементов:</i></p> <pre>M_M&gt; Preprocessor&gt; Modeling&gt; Operate&gt; Extrude&gt; Elem Ext Opts&gt; [TYPE] установить "1 SOLID186" [MAT] установить "1" [VAL1] установить "2" [VAL2] установить "1/50" ACLEAR установить "Yes" &gt; ОК</pre> <p>Это значит: выдавливаемые элементы будут типа №1 (таблица элементов) из материала №1 (таблица материалов), на всю длину балки их будет 2, причём вторые в 50 раз короче первых, после выдавливания поверхности почистить от неисполняемых конечных элементов.</p>	
14	<p><i>Выдавливаем поперечное сечение в прямую балку:</i></p> <pre>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Operate&gt; Extrude &gt; Areas &gt; &gt; By XYZ Offset &gt; Pick All</pre> <p>Окошки DX,DY,DZ заполняем, как 0 0 1</p> <p>&gt; ОК</p> <p>Обновляем изображение:</p> <pre>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</pre> 	

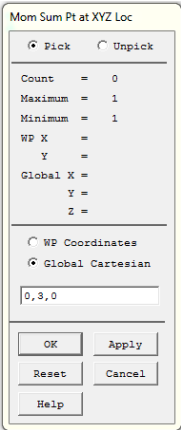
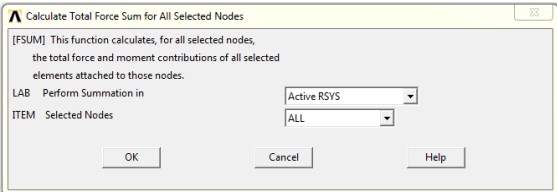
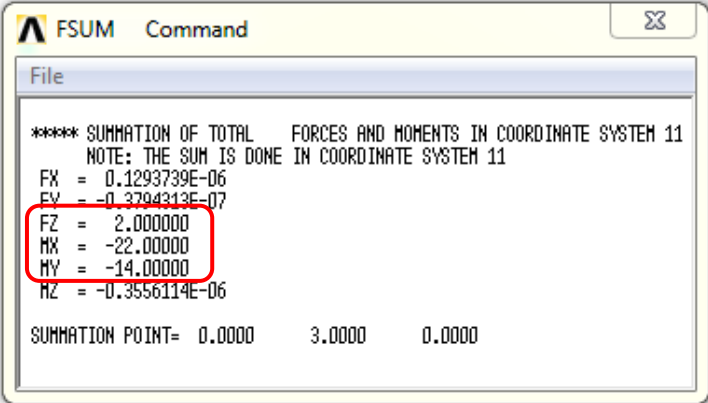
№	Действие	Результат
15	<p><i>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Multi-Plot Controls &gt;  Появляется первое окно Multi-Plotting &gt;  &gt; OK &gt;</p> <p>Появляется второе окно Multi-Plotting &gt;  Ставим отметки только напротив Nodes и Elements &gt;  &gt; OK</p> <p><i>Обновляем изображение:</i></p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Теперь видим только конечноэлементную модель: чёрные точки – узлы модели, голубые брусочки – объёмные конечные элементы.</p>	
16	<p><i>Элементы нумеровать только цветом по номеру материала:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Numbering &gt;  Отметить KP, LINE, AREA  [/NUM] устанавливаем "Colors only"  &gt; OK</p>	

№	Действие	Результат
17	<p>Создаём на конце стержня жёсткое плоское сечение:</p> <p>Выделяем узлы торца:  U_M &gt; Select &gt; Entities... &gt;  В Select Entities установить "Nodes" и "By Location"  Верхний селектор установить на "Z coordinates"  В окошке Min,Max пишем l  Нижний селектор установить на "From Full"  &gt; ОК</p> <p>Прорисовываем выделенные узлы:  U_M &gt; Plot &gt; Nodes</p> <p>Элементы, которые касаются выделенных узлов:  U_M &gt; Select &gt; Entities... &gt;  В Select Entities установить "Nodes" и "Attached to"  Верхний селектор установить на "Nodes"  Нижний селектор установить на "From Full"  &gt; ОК</p> <p>Прорисовываем выделенные узлы и элементы:  U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Меняем выделенным элементам материал с №1 (податливый) на №2 (жёсткий):  M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Move/Modify &gt; Elements &gt;  &gt; Modify Attrib &gt; Pick All &gt;  STLOC установить "Material MAT"  В окошке I1 пишем 2  &gt; ОК</p> <p>Обновляем изображение:  U_M &gt; Plot &gt; Replot</p>	   


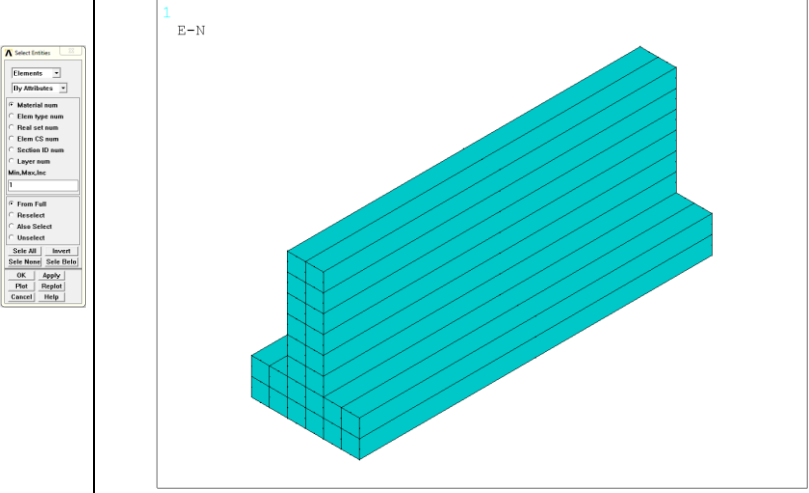
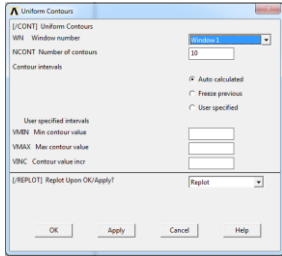
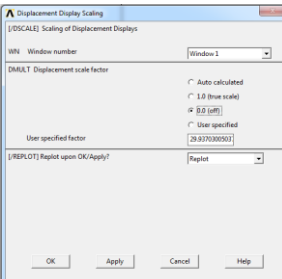
№	Действие	Результат
18	<p><i>Рассматриваем, что получилось – податливая балка с жёстким поперечным сечением на торце:</i></p> <p>U_M &gt; Select &gt; Everything  U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Автоформат – .</p>	 <p>1 E-N U</p>
19	<p><i>Внешние сосредоточенные силы:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt;  Structural &gt; Force/Moment &gt; On Nodes &gt;  Левой кнопкой мыши кликнуть на узел в точке А (рис.1.)  &gt; OK &gt;  Lab установить "FZ"  VALUE установить "4*F"  &gt; Apply &gt;  Левой кнопкой мыши кликнуть на узел в точке В (рис.1.)  &gt; OK &gt;  Lab установить "FZ"  VALUE установить "-2*F"  &gt; OK</p> <div data-bbox="728 1072 994 1201" style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Apply F/M on Nodes</p> <p>[F] Apply Force/Moment on Nodes</p> <p>Lab: Direction of force/mom: FZ</p> <p>Apply as: Constant value</p> <p>If Constant value then:</p> <p>VALUE: Force/moment value: 4F</p> <p>OK Apply Cancel Help</p> </div> <div data-bbox="728 1283 994 1412" style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Apply F/M on Nodes</p> <p>[F] Apply Force/Moment on Nodes</p> <p>Lab: Direction of force/mom: FZ</p> <p>Apply as: Constant value</p> <p>If Constant value then:</p> <p>VALUE: Force/moment value: -2F</p> <p>OK Apply Cancel Help</p> </div> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	 <p>1 E-N U F</p>

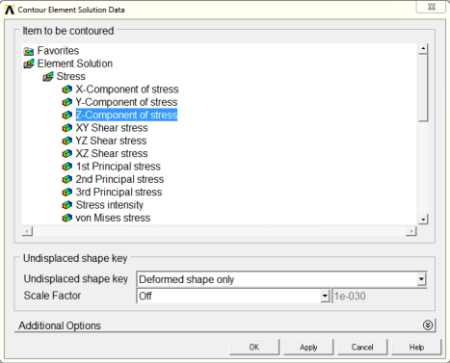
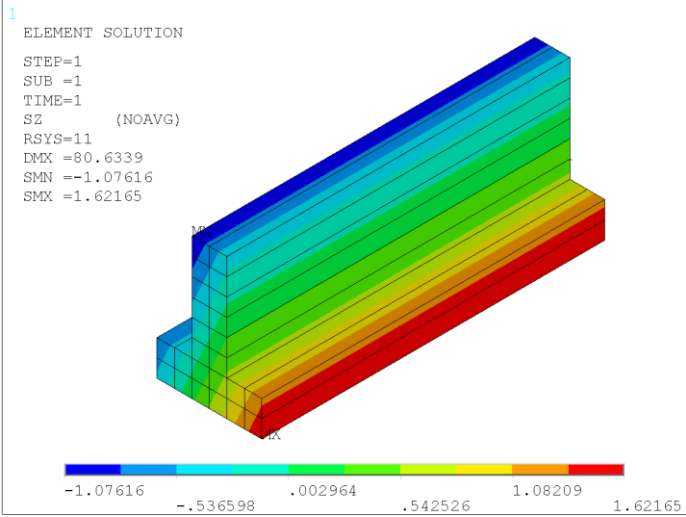


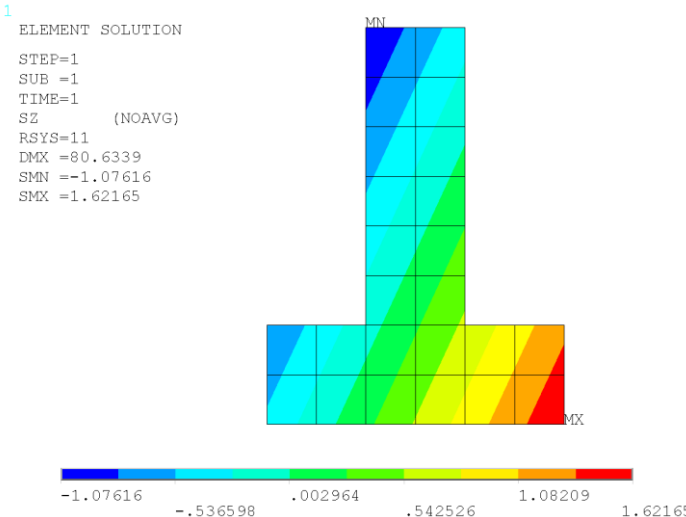
№	Действие	Результат
<b>Расчёт</b>		
20	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <pre>M_M &gt; Solution &gt; Solve &gt; Current LS</pre> <p>Синхронно появляются два окна: белое информационное и серое исполнительное. Белое закрываем, на сером нажимаем ОК. Расчёт пошёл. Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно. Расчёт окончен.</p>	 <p>The screenshot shows the "/STATUS Command" window with the following text:</p> <pre> SOLUTION OPTIONS PROBLEM DIMENSIONALITY . . . . . 3-D DEGREES OF FREEDOM . . . . . 107 107 107 ANALYSIS TYPE . . . . . STATIC (STEADY-STATE) DYNAMICALLY ASSEMBLED MATRICES . . . . . SYMMETRIC  LOAD STEP OPTIONS LOAD STEP NUMBER . . . . . 1 TIME AT END OF THE LOAD STEP . . . . . 1.0000 NUMBER OF SUBSTEPS . . . . . 1 STEP CHANGE BOUNDARY CONDITIONS . . . . . DEFAULT PRINT OUTPUT CONTROLS . . . . . NO PRINTOUT ADVANCE OUTPUT CONTROLS . . . . . ALL DATA WRITTEN FOR THE LAST SUBSTEP </pre> <p>Below it is a "Solve Current Load Step" dialog box with the text:</p> <pre> [SOLVE] Begin Solution of Current Load Step  Review the summary information in the lister window (entitled "/STATUS Command"), then press OK to start the solution. </pre> <p>Buttons: OK, Cancel, Help.</p>
<b>Просмотр результатов:</b>		
21	<p><i>Форма упругой оси нагруженной балки:</i></p> <pre>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Deformed Shape &gt; KUND установить Def + undeformed &gt; OK</pre> <p>Некоторые символы пропадают. Восстановим их:</p> <pre>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt; Boundary condition устанавливаем "All Applied BCs" &gt; OK</pre> <p>Форма стержня до нагружения (недеформированная) изображена сеткой чёрным цветом, форма после нагружения (деформированная) изображена цветными брусочками/элементами. Прогибается вверх и влево, всё правильно.</p>	 <p>The screenshot shows a 3D plot of a beam's displacement. The text in the top left corner reads:</p> <pre> 1 DISPLACEMENT STEP=1 SUB =1 TIME=1 DMX =83.372 </pre> <p>The beam is shown in a perspective view, colored in shades of cyan and purple, indicating the displacement field.</p>

№	Действие	Результат
22	<p><i>Результаты печатывать в системе координат №11 главных центральных осей:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Options for Outp &gt;  [RSYS] Results for Output установить "Local system"  В окошке Local system reference no. указать 11  &gt; OK</p>	
23	<p><i>Из всех узлов модели выделяем те, которые в заделке (то есть, имеют координату <math>z=0</math>):</i></p> <p>Выделяем узел с координатой <math>z=0</math>:</p> <p>U_M &gt; Select &gt; Entities... &gt;  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»  &gt; OK</p> <p>Прорисовываем, что получилось:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Nodes</p>	

№	Действие	Результат
24	<p>Усилия, с которыми элемент действуют на выделенные узлы:</p> <p>Точка отсчёта моментов (центр тяжести сечения):  M_M &gt; General Postproc &gt; Nodal Calcs &gt;  &gt; Summation Pt &gt; At XYZ Loc &gt;  Селектор устанавливаем на Global Cartesian  В окошке пишем глобальные декартовы координаты центра тяжести заданного поперечного сечения (см. действие №6) <b>0,3,0</b>  &gt; OK</p>  <p>Показать все шесть усилий (три силы, три момента):  M_M &gt; General Postproc &gt; Nodal Calcs &gt; Total Force Sum  LAB установить "Active RSYS"  ITEM установить "ALL"  &gt; OK</p>  <p>Внутренние изгибающие моменты равны:</p> $N = F_Z = +2 ;$ $M_x = -22 ;$ $M_y = -14 .$ <p>Точное совпадение с результатами аналитического расчёта (рис. 2).</p> <p>Примечание: Иногда результаты получаются нулевые. Это сбой. Последовательно нажмите кнопки <code>SAVE_DB</code> и <code>RESUM_DB</code> и попробуйте ещё раз.</p>	 <pre> **** SUMMATION OF TOTAL FORCES AND MOMENTS IN COORDINATE SYSTEM 11 NOTE: THE SUM IS DONE IN COORDINATE SYSTEM 11 FX = 0.1293739E-06 FY = -0.3794313E-07 FZ = 2.000000 Mx = -22.000000 My = -14.000000 Rz = -0.3556114E-06  SUMMATION POINT= 0.0000 3.0000 0.0000 </pre>



№	Действие	Результат
25	<p><i>Выделяем все податливые (из материала №1) конечные элементы и их узлы:</i></p> <p>Элементы:  U_M &gt; Select &gt; Entities... &gt;  В Select Entities установить "Elements" и "By Attributes"  Верхний селектор установить на "Material num"  В окошке Min, Max, Inc пишем 1  Нижний селектор установить на "From Full"  &gt; ОК</p> <p>Их узлы:  U_M &gt; Select &gt; Everything Below &gt; Selected Elements</p> <p>Прорисовываем, что получилось: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Автоформат – </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; ОК</p>	
27	<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; ОК</p>	

№	Действие	Результат
28	<p>Осевые напряжения в выделенном элементе:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Contour Plot &gt; Element Solu&gt; Element Solution&gt; Stress&gt; Z-Component of stress &gt; OK</p> 	 <p>ELEMENT SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 SZ (NOAVG) RSYS=11 DMX =80.6339 SMN =-1.07616 SMX =1.62165</p>
29	<p>Фронтальный вид:</p>  - вид спереди;  - автоформат. <p>Наиболее опасные точки поперечного сечения отмечены надписями MN и MX</p> $\sigma_{min} = \sigma_B = -1,08 \quad ;$ $\sigma_{max} = \sigma_A = 1,62 \quad .$ <p>Точное совпадение с результатами аналитического расчёта (рис. 2). Местоположения точек A и B совпадают.</p>	 <p>ELEMENT SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 SZ (NOAVG) RSYS=11 DMX =80.6339 SMN =-1.07616 SMX =1.62165</p>

### Настройка нелинейной цветовой шкалы:

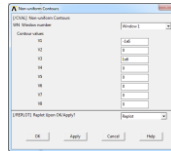
U\_M > PlotCtrls > Style > Contours > Non-niform Contours...

V1 пишем -1e6

V2 пишем 0

V3 пишем 1e6

> ОК



Растянутая зона поперечного сечения окрасится в красный цвет, сжатая – в зелёный. Изменим палитру: голубой и жёлтый.

30

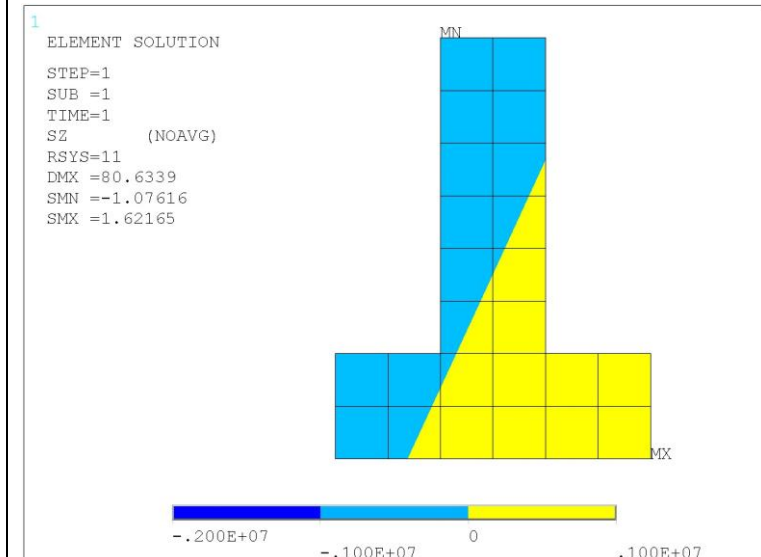
U\_M > PlotCtrls > Style > Colors > Contour Colors... >

Contour Number 2 устанавливаем "голубой"

Contour Number 3 устанавливаем "жёлтый"

> ОК

Видим нейтральную линию (н.л.), отделяющую растянутые зоны друг от друга. Линия НЕ проходит через центр тяжести сечения. Качественно, по сетке элементов с размерами ячеек  $a \times a$ , можно отметить совпадение положения нейтральной линии здесь и на *рис. 2*.

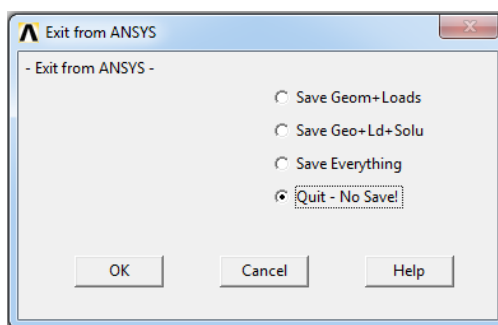


Сохраняем проделанную работу:

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.