

I-08 (ANSYS)

Формулировка задачи:

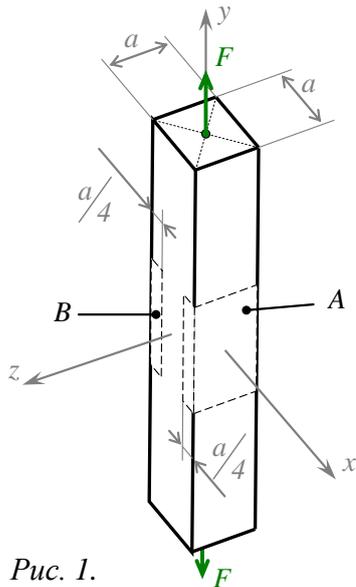


Рис. 1.

Дано: В растянутом стержне квадратного поперечного сечения слесарь по неосторожности сделал вырез (выбрал объем материала А).

- Найти:** 1) Изменение максимального значения осевых напряжений σ_{max} в полоске при появлении выреза?
2) Дальнейшее изменение максимального значения осевых напряжений σ_{max} при появлении контрвыреза (объем материала В)?

Аналитический расчёт (см. [I-08](#)) даёт следующие решения:

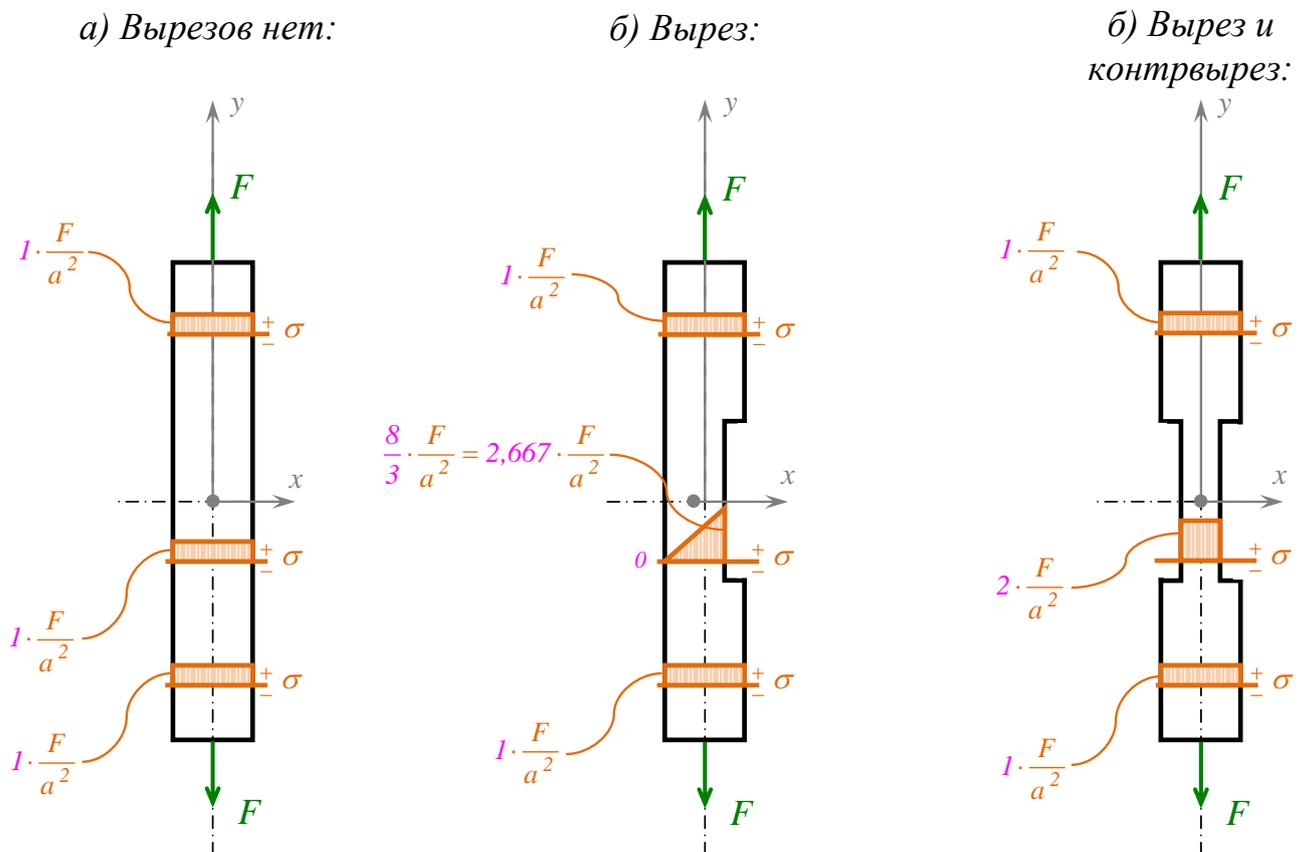
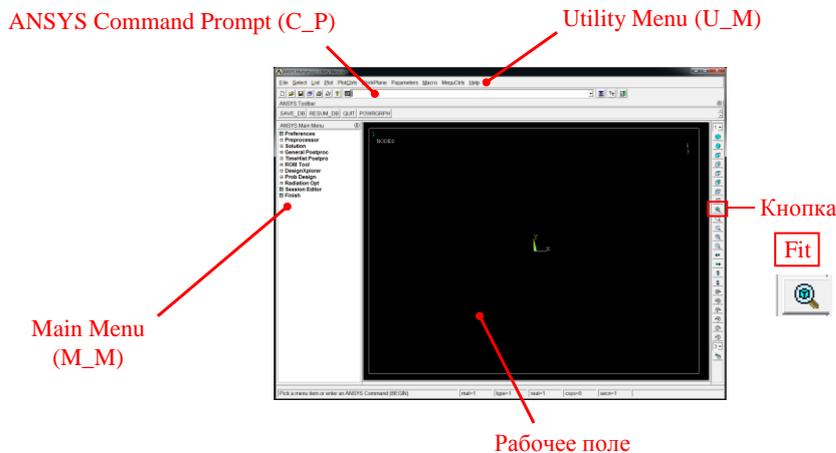


Рис. 2.

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 поверхности твердотельной модели:

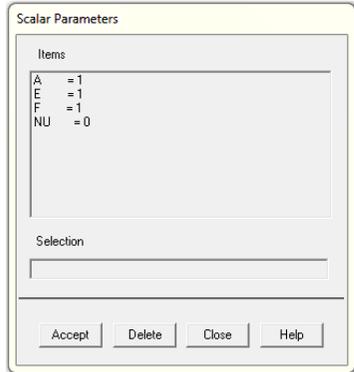
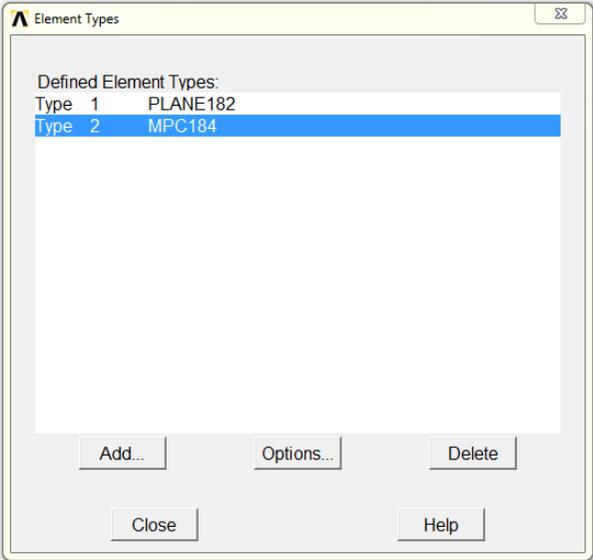
```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить AREA
[/NUM]установить "Colors only"
> OK
```

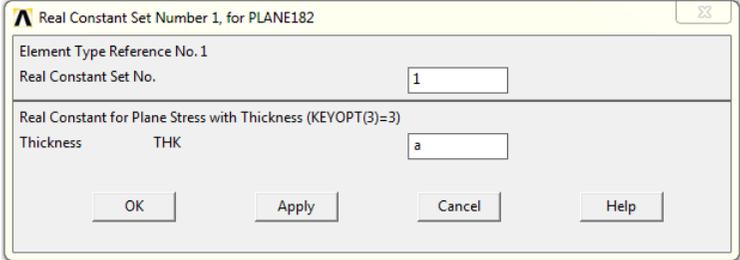
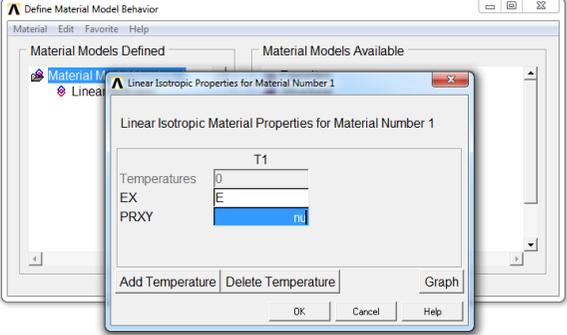
Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

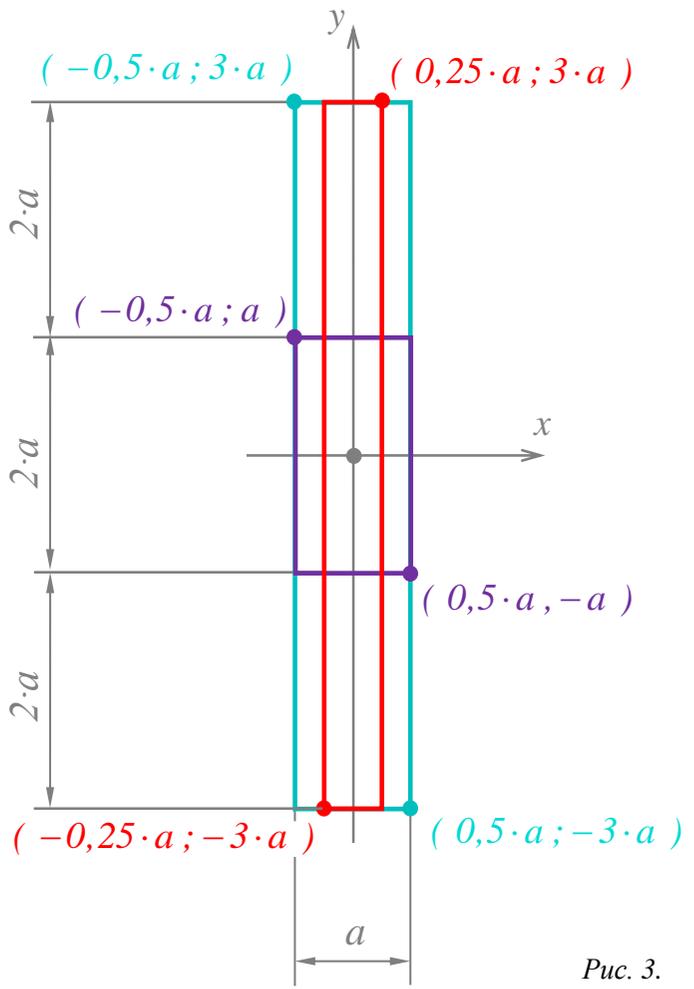
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >
«Размер» на «22»
> OK
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
«Размер» на «22»
> OK
```

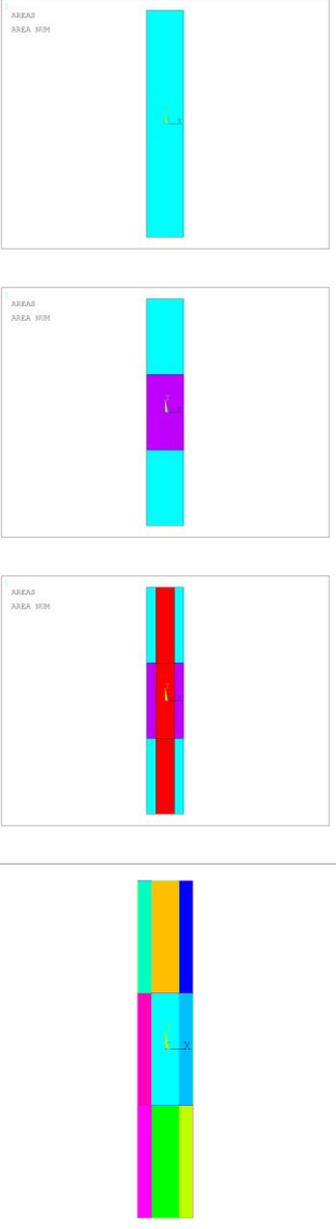
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

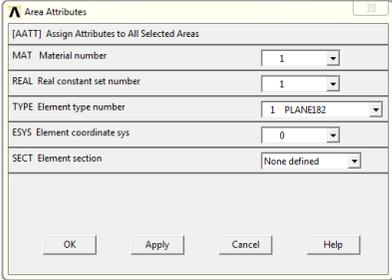
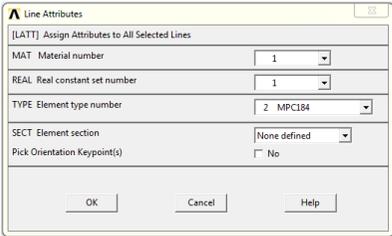
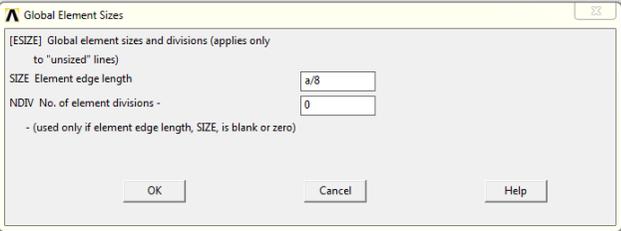
Решение задачи: Приравняв F и a к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. малиновым цветом.

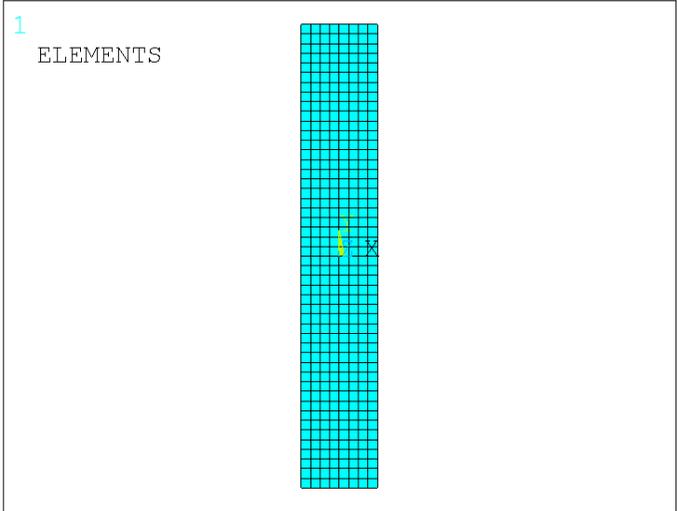
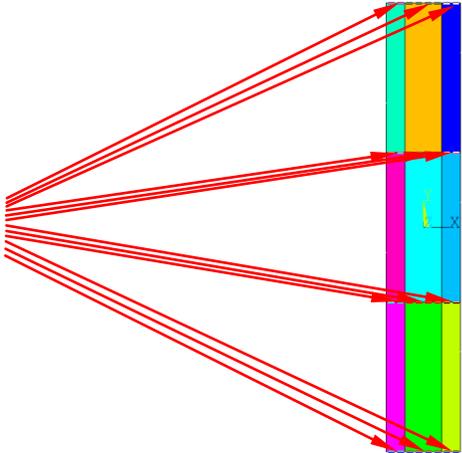
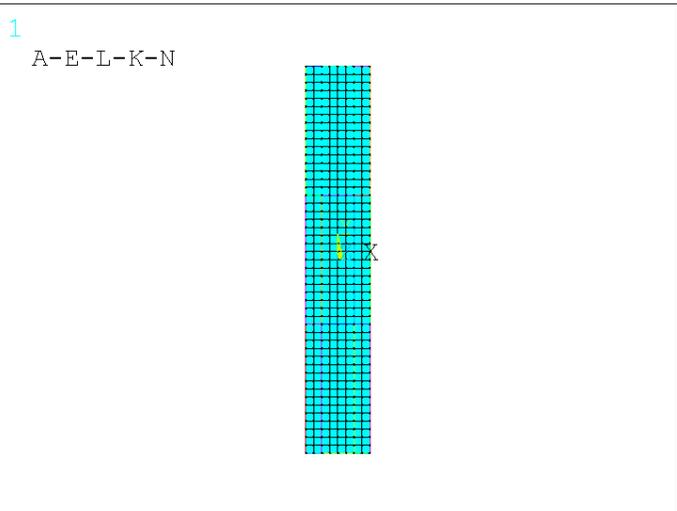
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>Задача статически определима, значит модуль упругости E материала на напряжения не влияет; зададим его единицей; коэффициент Пуассона ν во избежание поперечных деформаций приравняем к нулю (как у пробки).</p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters > F=1 > Accept > a=1 > Accept > E=1 > Accept > nu=0 > Accept > > Close</p>	
2	<p><i>Таблица конечных элементов – плоский с толщиной и жёсткая балка:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Add В левом окошке выбираем "Solid" В правом окошке "Quad 4 node 182" > OK > В окошке Element Types выбираем строчку PLANE182 > Options > K3 установить "Plane strs w/thk" > OK > > Add > В левом окошке выбираем "Constraint" В правом окошке "Nonlinear MPC184" > OK > В окошке Element types выбираем строчку MPC184 > Options > K1 установить "Rigid Beam" > OK > OK > > Close</p>	

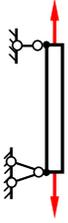
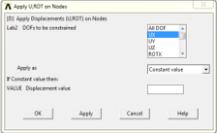
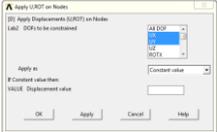
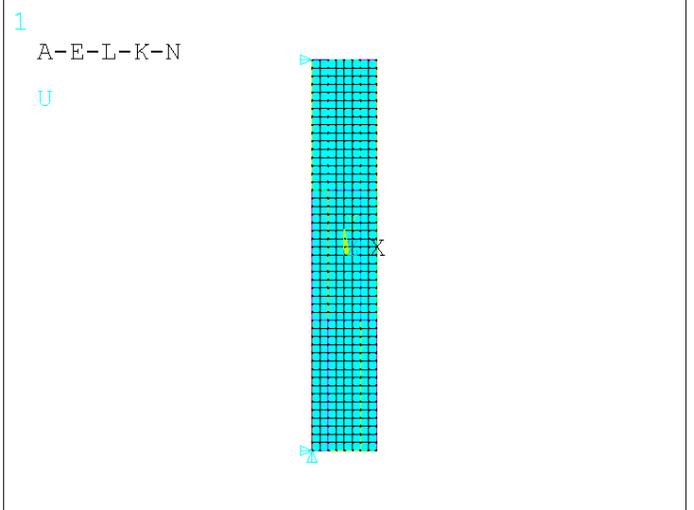
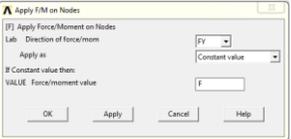
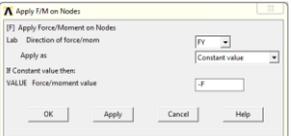
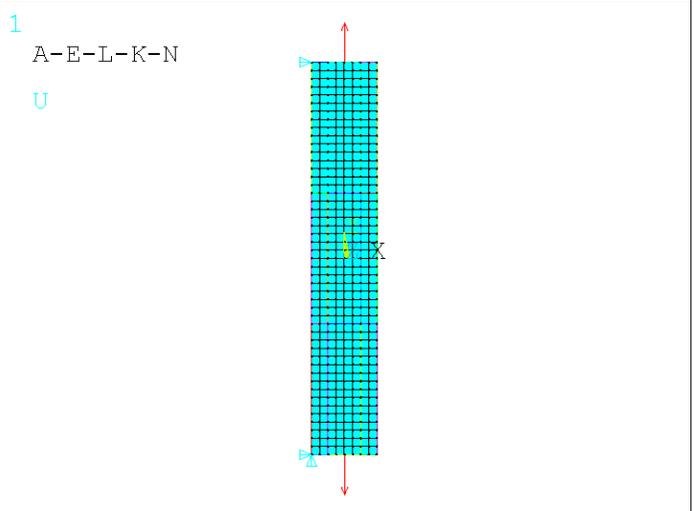
№	Действие	Результат
3	<p><i>Таблица реальных констант:</i></p> <p>Толщина стержня (размер вдоль оси z, см. <i>рис. 1</i>):</p> <p>M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Add В окошке Element Type for Real Constants выбрать PLANE182 > OK > В поле THK пишем a > OK</p>  <p>Видим результат – один набор реальных констант в таблице Real Constants. > Close</p>	
4	<p><i>Таблица материалов – модуль упругости и коэффициент Пуассона единственного материала №1:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic > EX пишем "E", PRXY пишем "nu" > OK</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	

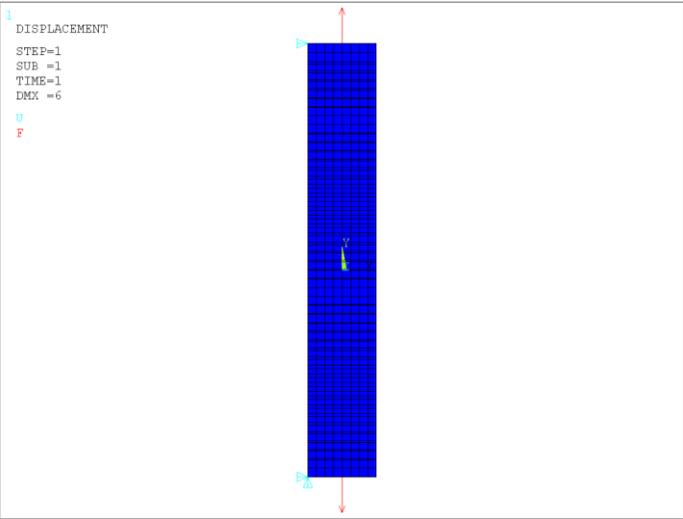
№	Действие	Результат
Твердотельная модель		
5	<p><i>Координаты точек контура стержня:</i></p> <p>Длины верхнего, нижнего участков и участка с вырезами при использовании гипотезы плоских сечений на результаты расчёта никак не влияют. Зададим их все по $2 \cdot a$.</p> <p>Формально задача трёхмерная. Фактически – плоская. Начертим только переднюю грань, а при расчёте зададим толщину.</p> <p>Для построения передней грани достаточно комбинации прямоугольников. 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 контур стержня, абсолютно не важно. Например, так, как показано на <i>рис.3</i>. Тогда координаты углов прямоугольников будут следующими:</p>	 <p style="text-align: right;"><i>Рис. 3.</i></p>

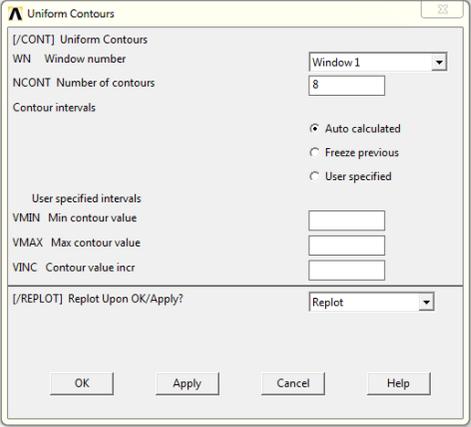
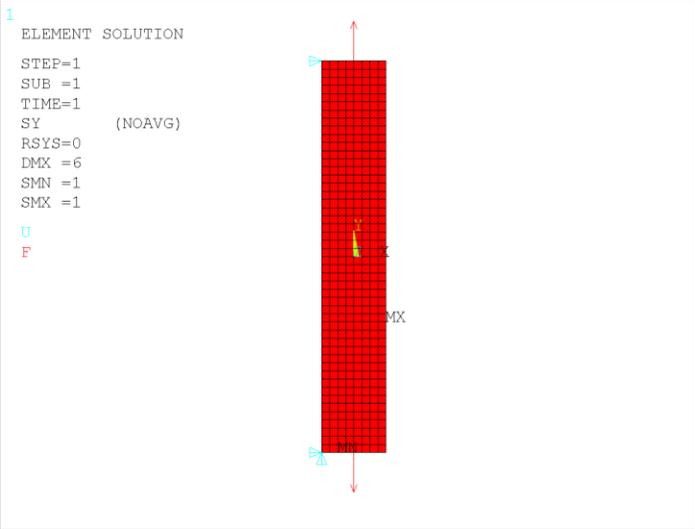
№	Действие	Результат
<p>6</p>	<p><i>Поверхности передней грани стержня:</i></p> <p>Прямоугольники:</p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Rectangle > By Dimensions</p> <p>X1, X2 пишем в окошках -0.5*a и 0.5*a</p> <p>Y1, Y2 пишем в окошках 3*a и -3*a</p> <p>> Apply ></p> <p>X1, X2 пишем в окошках -0.5*a и 0.5*a</p> <p>Y1, Y2 пишем в окошках a и -a</p> <p>> Apply ></p> <p>X1, X2 пишем в окошках 0.25*a и -0.25*a</p> <p>Y1, Y2 пишем в окошках 3*a и -3*a</p> <p>> OK</p> <p> - автоформат (меню справа).</p> <p>К поверхностям применяется логическая операция наложения:</p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Overlap > Areas > Pick All</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Накладывающиеся части нескольких поверхностей становятся одной поверхностью; соприкасающиеся поверхности склеиваются.</p>	<p>Результат</p> 

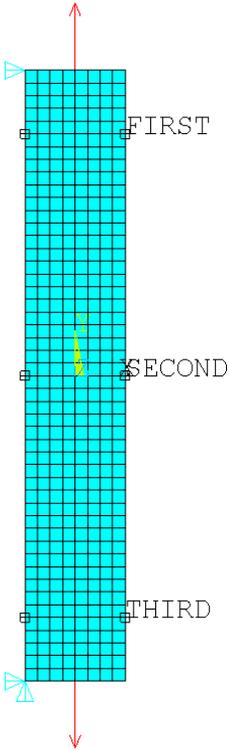
№	Действие	Результат
Конечноэлементная модель		
7	<p><i>Атрибуты разбиения:</i></p> <p>Для поверхностей:</p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Areas > MAT установить "1" REAL установить "1" TYPE установить "1 PLANE182" > ОК</p> <p>Для линий:</p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Lines > TYPE установить "2 MPC184" > ОК</p>	 
8	<p><i>Размер стороны элемента для разбиения:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Global > Size Size пишем, например a/8 > ОК</p>	

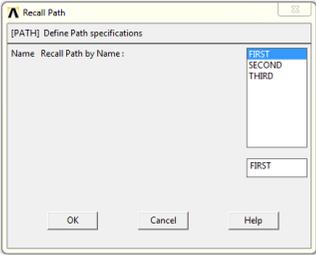
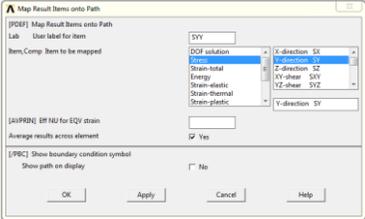
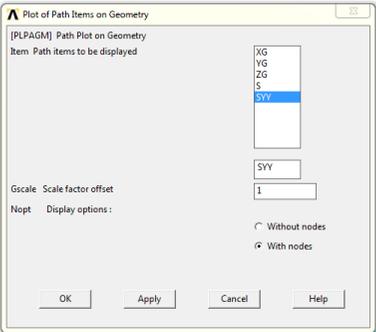
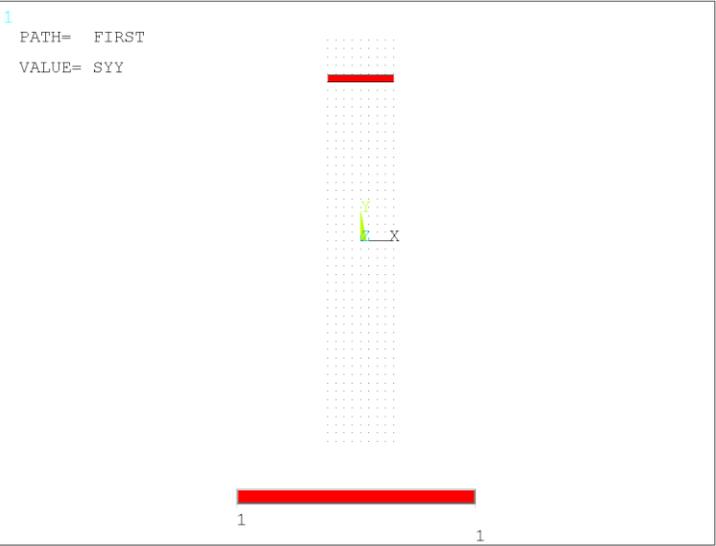
№	Действие	Результат
9	<p><i>Разбиваем поверхности на плоские элементы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh > Areas > Mapped > > 3 or 4 sided > Pick All > ОК</p>	
10	<p><i>Линии в зонах краевого эффекта разбиваем жёсткими балочными элементами:</i></p> <p>Снова прорисовываем поверхности: U_M > Plot > Areas</p> <p>Разбиваем линии: M_M > Preprocessor > Meshing > > Mesh > Lines > Левой кнопкой мыши последовательно кликаем на горизонтальные линии > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> 	

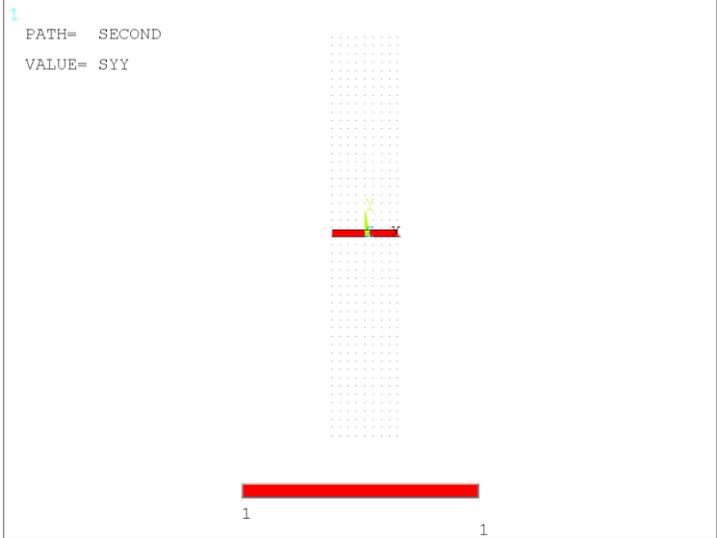
№	Действие	Результат
11	<p>Закрепления:</p> <p>В программе ANSYS каждая конструкция должна быть закреплена по всем степеням свободы вне зависимости от силовой нагрузки. Поэтому закрепляем стержень, как статически определимую балку:</p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > > Structural > Displacement > On Nodes</p> <p>Мышкой кликнуть на верхний левый узел > OK > Lab2 установить "UX"</p> <p>> Apply ></p> <p>Мышкой кликнуть на нижний левый узел Lab2 установить "UX" и "UY"</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>   	
12	<p>Сосредоточенные силы:</p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > > Structural > Force/Moment > On Nodes</p> <p>Мышкой кликнуть на верхний центральный узел > OK > Lab установить "FY"</p> <p>VALUE пишем F</p> <p>> Apply ></p> <p>Мышкой кликнуть на нижний центральный узел > OK > Lab установить "FY"</p> <p>VALUE пишем F</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>  	

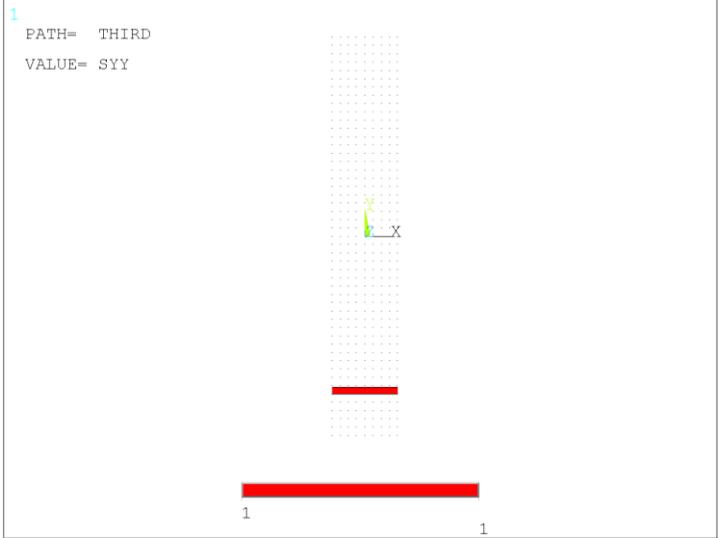
№	Действие	Результат
Стержень без вырезов (рис.2а.)		
13	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS</p> <p>Синхронно появляются два окна: белое информационное и серое исполнительное. Белое закрываем, на сером нажимаем ОК.</p> <p>Если появится окно Verify, отвечаем YES.</p> <p>Расчёт пошёл.</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно. Расчёт окончен.</p>	   
14	<p><i>Сравнение деформированной и недеформированной форм:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > ОК</p> <p>Некоторые символы пропадают. Восстановим их:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > Boundary condition устанавливаем "All Applied BCs" > ОК</p> <p>Форма стержня до нагружения (недеформированная) изображена сеткой чёрным цветом, форма после нагружения (деформированная) изображена синим цветом. Видно, что под действием внешних осевых сил стержень растягивается (становится длиннее), но не изгибается (езде Мизг=0, рис 2а.).</p>	

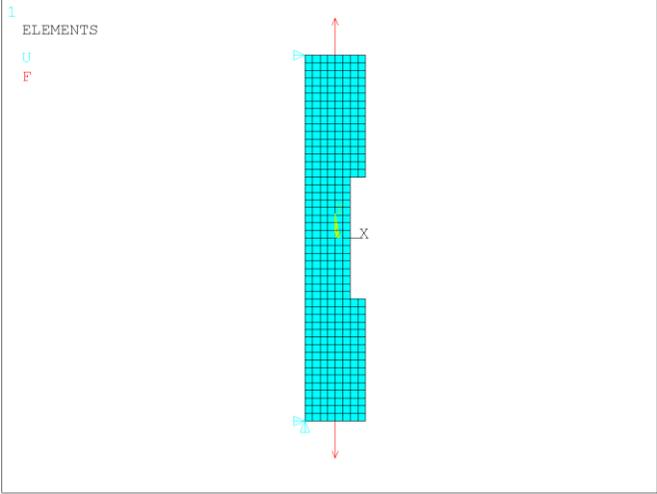
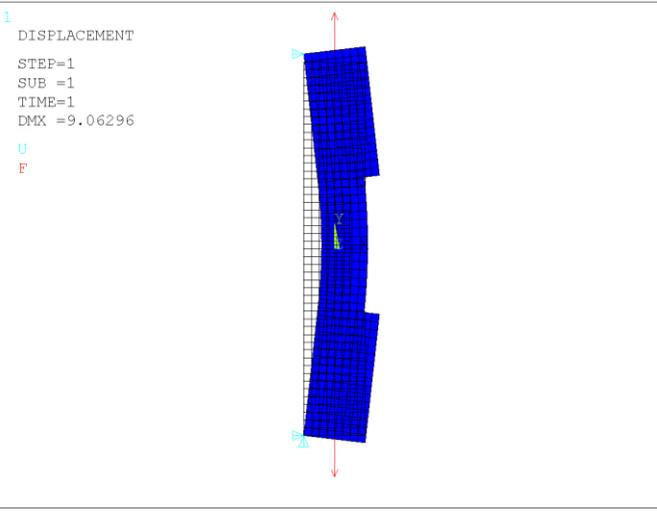
№	Действие	Результат
15	<p><i>Цветовая шкала будет состоять из восьми цветов:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 8 > ОК</p>	
16	<p><i>Осевые напряжения (цветовая шкала):</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > > Element Solu > Element Solution > Stress > > Y-Component of stress > ОК</p> <p>Во всех точках стержня осевые напряжения равны 1. Точное совпадение с результатом аналитического расчёта (рис.2а.).</p>	

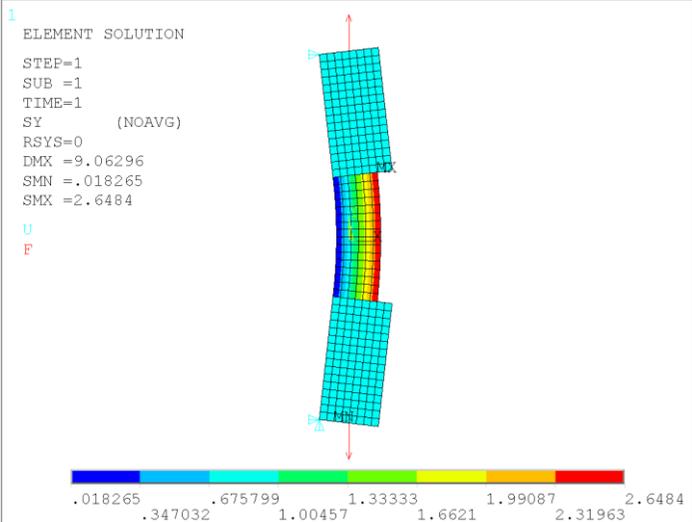
№	Действие	Результат
17	<p>Создаём три нулевые отметки (пути) на которых позже будут прорисовываться этюры напряжений (рис.2а., изображены оранжевым цветом):</p> <p>Прорисовываем узлы и элементы: U_M > Plot > Elements</p> <p>Верхний путь (First): M_M> General Postproc> Path Operations> Define Path> By Nodes> Кликаем мышкой на левый и правый узлы любого поперечного сечения верхнего участка стержня > OK > В графе Name пишем First > OK ></p> <p>Средний путь (Second): M_M> General Postproc> Path Operations> Define Path> By Nodes> Кликаем на левый и правый узлы среднего участка (на котором будет вырез); например, в центральном поперечном сечении > OK > В графе Name пишем Second > OK ></p> <p>Нижний путь (Third): M_M> General Postproc> Path Operations> Define Path> By Nodes> Кликаем на левый и правый узлы любого поперечного сечения нижнего участка > OK > В графе Name пишем Third > OK ></p> <p>Прорисовываем все три пути: M_M > General Postproc > Path Operations > Plot Path</p>	

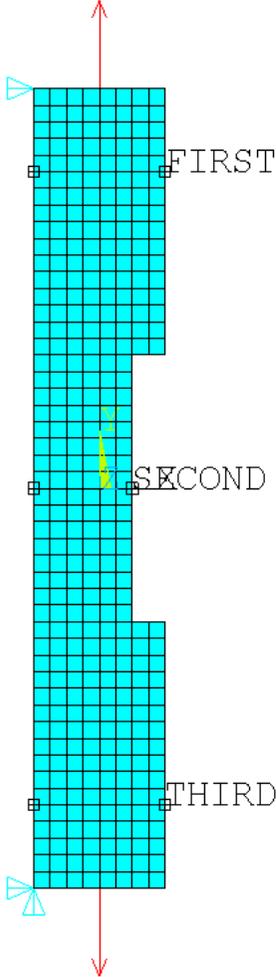
№	Действие	Результат
18	<p>Этюра на первом пути:</p> <p>Активируем первый путь:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > > Recall Path</p> <p>Из списка выбираем вариант "FIRST"</p> <p>> OK</p>  <p>Чертить будем этюру нормального напряжения σ вдоль оси Y:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Map onto Path ></p> <p>В графе Lab пишем название, например SYU</p> <p>В левом окошке выбираем Stress</p> <p>В правом окошке выбираем Y-direction SY</p> <p>> OK</p>  <p>Чертим этюру:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Plot Path Item > > On Geometry</p> <p>Из списка мышкой выбрать SYU</p> <p>Селектор поставить на "With nodes"</p> <p>> OK</p> <p>Видим прямоугольник высотой l, как и должно быть (верхняя этюра, рис.2а.).</p> 	

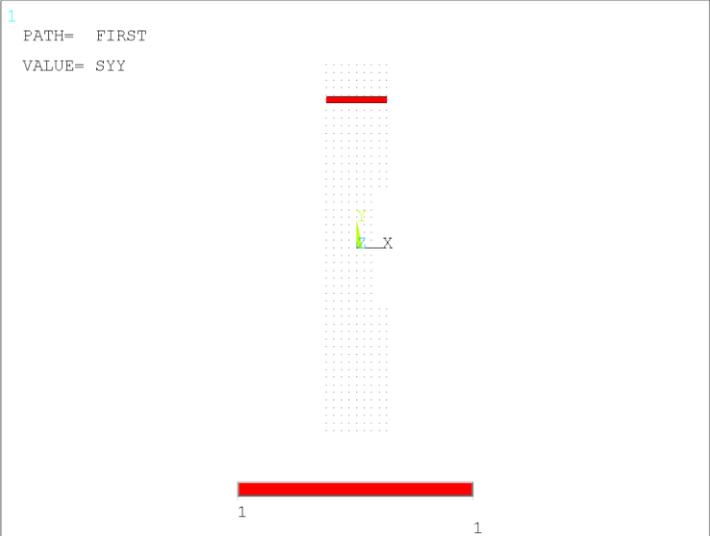
№	Действие	Результат
19	<p><i>Эюра на втором пути:</i></p> <p>Активируем второй путь: M_M > General Postproc > Path Operations > Recall Path Из списка выбираем вариант "SECOND" > ОК</p> <p>Чертить будем эюру нормального напряжения σ вдоль оси Y: M_M > General Postproc > Path Operations > Map onto Path > В графе Lab пишем название, например SYU В левом окошке выбираем Stress В правом окошке выбираем Y-direction SY > ОК</p> <p>Чертим эюру осевых напряжений: M_M > General Postproc > Path Operations > Plot Path Item > > On Geometry Из списка мышкой выбрать SYU Селектор поставить на "With nodes" > ОК</p> <p>Видим прямоугольник высотой <i>l</i>, как и должно быть (средняя эюра, <i>рис.2а</i>).</p>	

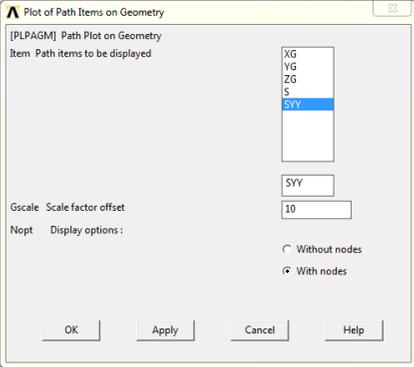
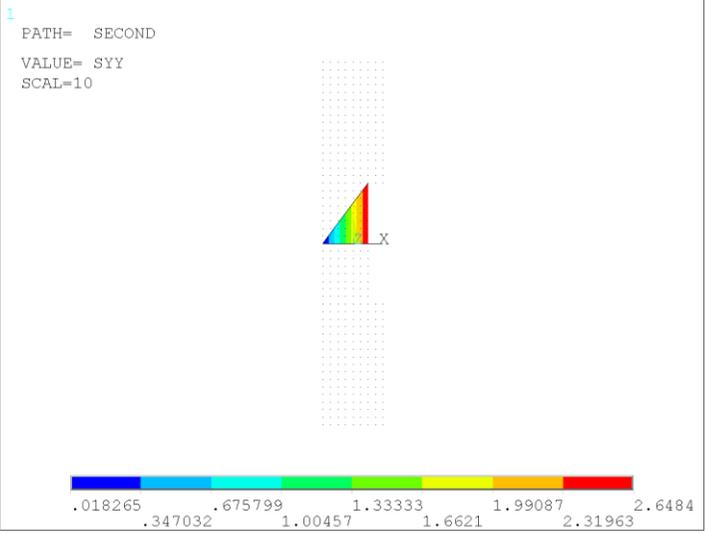
№	Действие	Результат
20	<p><i>Этюра на третьем пути:</i></p> <p>Активируем третий путь:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Recall Path Из списка выбираем вариант "THIRD" > ОК</p> <p>Чертить будем этюру нормального напряжения σ вдоль оси Y:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Map onto Path > В графе Lab пишем название, например SYU В левом окошке выбираем Stress В правом окошке выбираем Y-direction SY > ОК</p> <p>Чертим этюру осевых напряжений:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Plot Path Item > > On Geometry Из списка мышкой выбрать SYU Селектор поставить на "With nodes" > ОК</p> <p>Видим прямоугольник высотой 1, как и должно быть (нижняя этюра, <i>рис.2а.</i>).</p>	

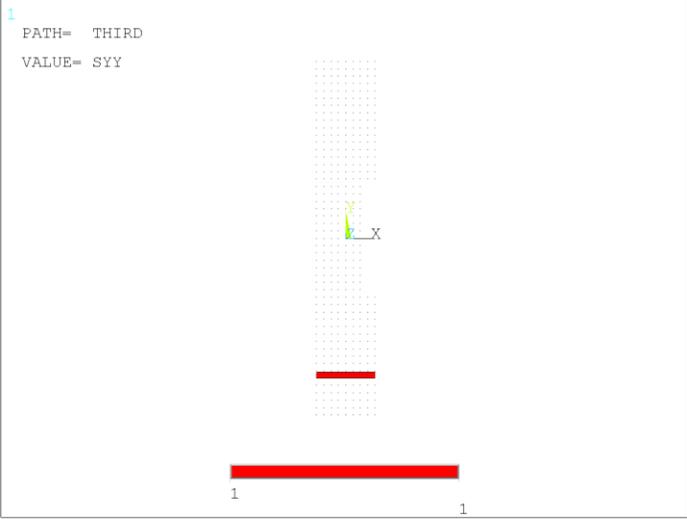
№	Действие	Результат
Стержень с вырезом (рис.2б.)		
21	<p><i>Удаляем из модели конечные элементы по площади выреза:</i></p> <p>U_M > Plot > Elements M_M > Preprocessor > Meshing > Clear > Areas Мышкой кликните на левую среднюю поверхность из слагающих контур стержня. Сама поверхность не видна, но нетрудно вспомнить, где она располагается > ОК</p> <p><i>Обновляем изображение:</i></p> <p>U_M > Plot > Replot</p> 	
22	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS</p>	
23	<p><i>Сравнение деформированной и недеформированной форм:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > ОК</p> <p>Некоторые символы пропадают. Восстановим их: U_M > PlotCtrls > Symbols > Boundary condition устанавливаем "All Applied BCs" > ОК</p> <p>Видно, что под действием внешних осевых сил стержень растягивается (становится длиннее), и изгибается (езде Мизг $\neq 0$, рис 2б.).</p>	

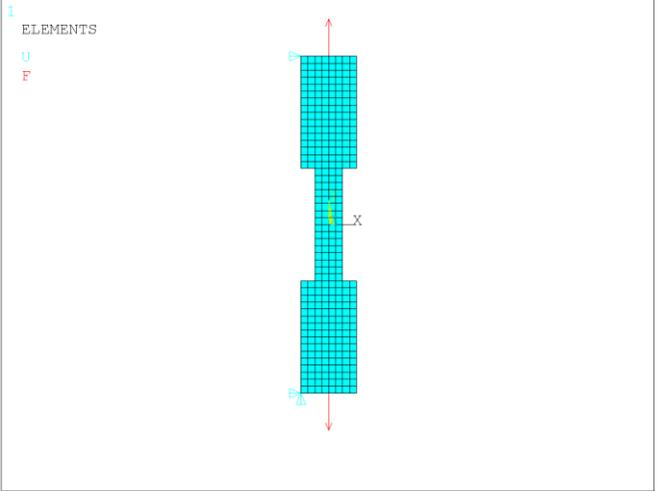
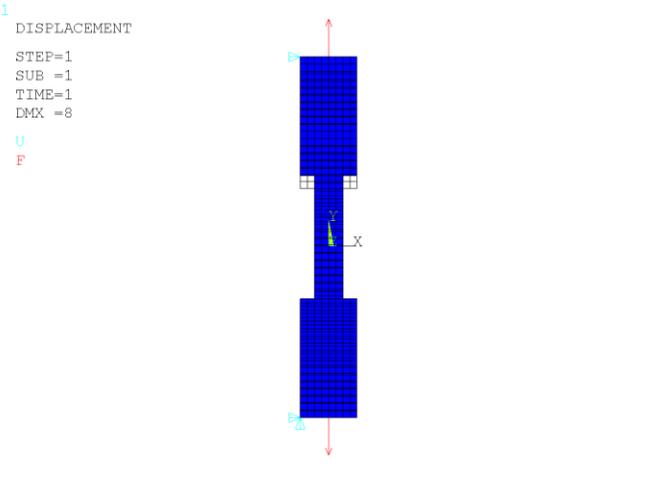
№	Действие	Результат
24	<p><i>Осевые напряжения (цветовая шкала):</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > > Element Solu > Element Solution > Stress > > Y-Component of stress > OK</p> <p>Во всех точках стержня осевые напряжения растяжения складываются с осевыми напряжениями изгиба. Последние особенно велики в участке с вырезом:</p> <p>$\sigma_{min} = +0,01827$ (аналитический расчёт показывает 0, рис. 2б.)</p> <p>$\sigma_{max} = +2,648$ (аналитический расчёт показывает 2,667, рис. 2б, погрешность $\Delta=0,7\%$)</p>	

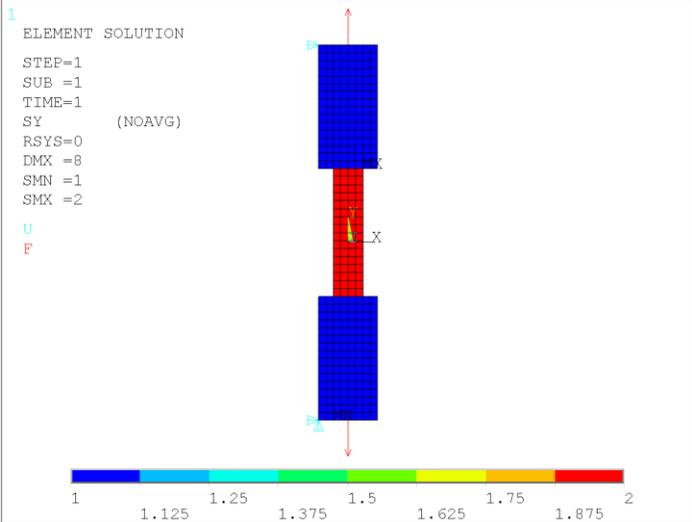
№	Действие	Результат
25	<p>Создаём три нулевые отметки (пути) на которых позже будут прорисовываться эпюры напряжений (рис.2б., изображены оранжевым цветом):</p> <p>Прорисовываем узлы и элементы: U_M > Plot > Elements</p> <p>Верхний путь (First): M_M> General Postproc> Path Operations> Define Path> By Nodes> Кликаем мышкой на левый и правый узлы любого поперечного сечения верхнего участка стержня > ОК > В графе Name пишем First > ОК ></p> <p>Средний путь (Second): M_M> General Postproc> Path Operations> Define Path> By Nodes> Кликаем на левый и правый узлы любого поперечного сечения среднего участка > ОК > В графе Name пишем Second > ОК ></p> <p>Нижний путь (Third): M_M> General Postproc> Path Operations> Define Path> By Nodes> Кликаем на левый и правый узлы любого поперечного сечения нижнего участка > ОК > В графе Name пишем Third > ОК ></p> <p>Прорисовываем все три пути: M_M > General Postproc > Path Operations > Plot Path</p>	 <p>The diagram shows a vertical stepped shaft with a cyan grid. Three horizontal paths are defined across different sections: 'FIRST' at the top, 'SECOND' in the middle, and 'THIRD' at the bottom. Red arrows point upwards from the top and downwards from the bottom, representing tension forces. A yellow arrow points to the middle section.</p>

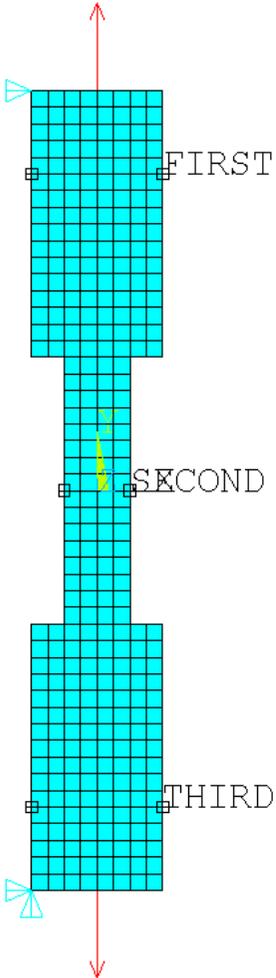
№	Действие	Результат
26	<p><i>Этюра на первом пути:</i></p> <p>Активируем первый путь:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > > Recall Path</p> <p>Из списка выбираем вариант "FIRST" > OK</p> <p>Чертить будем этюру нормального напряжения σ вдоль оси Y:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Map onto Path > В графе Lab пишем название, например SYU</p> <p>В левом окошке выбираем Stress</p> <p>В правом окошке выбираем Y-direction SY</p> <p>> OK</p> <p>Чертим этюру:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Plot Path Item > > On Geometry</p> <p>Из списка мышкой выбрать SYU</p> <p>Селектор поставить на "With nodes"</p> <p>> OK</p> <p>Видим прямоугольник высотой 1, как и должно быть (верхняя этюра, <i>рис.2б.</i>).</p>	

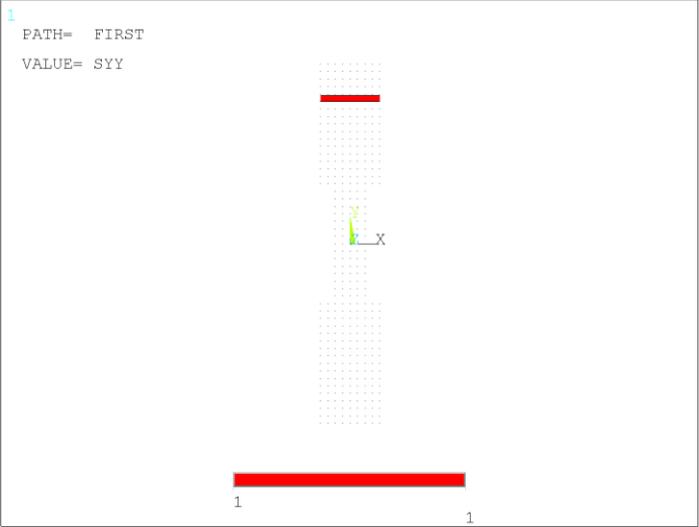
№	Действие	Результат
27	<p>Этюра на втором пути:</p> <p>Активируем второй путь:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Recall Path Из списка выбираем вариант "SECOND" > ОК</p> <p>Чертить будем этюру нормального напряжения σ вдоль оси Y:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Map onto Path > В графе Lab пишем название, например SYU В левом окошке выбираем Stress В правом окошке выбираем Y-direction SY > ОК</p> <p>Чертим этюру осевых напряжений:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Plot Path Item > > On Geometry Из списка мышкой выбрать SYU Масштаб Gscale установить 10 Селектор поставить на "With nodes" > ОК</p>  <p>Видим треугольник высотой 20,648, с погрешностью расчёта 0,7% эта этюра совпадает с результатом аналитического расчёта (средняя этюра, рис.2б.). Начинается треугольник не с нуля, а с маленького числа 0,01827, что так же следует считать небольшой погрешностью (относительно нуля погрешность не считается).</p>	

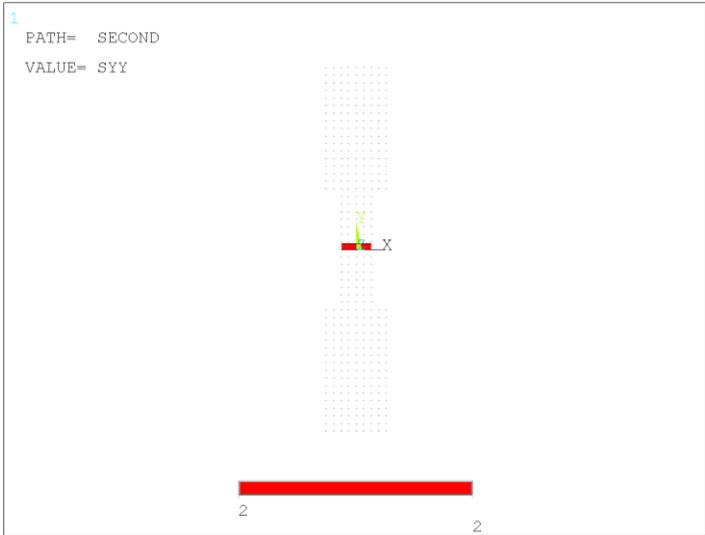
№	Действие	Результат
28	<p><i>Эюра на третьем пути:</i></p> <p>Активируем третий путь:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Recall Path Из списка выбираем вариант "THIRD" > ОК</p> <p>Чертить будем эюру нормального напряжения σ вдоль оси Y:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Map onto Path > В графе Lab пишем название, например SYU В левом окошке выбираем Stress В правом окошке выбираем Y-direction SY > ОК</p> <p>Чертим эюру осевых напряжений:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Plot Path Item > > On Geometry Из списка мышкой выбрать SYU Селектор поставить на "With nodes" > ОК</p> <p>Видим прямоугольник высотой 1, как и должно быть (нижняя эюра, <i>рис.2б.</i>).</p>	

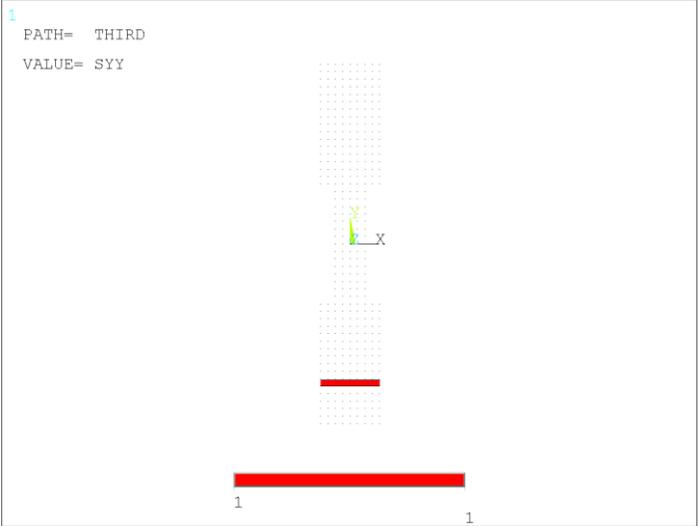
№	Действие	Результат
Стержень с двумя вырезами (рис.2в.)		
29	<p><i>Удаляем из модели конечные элементы по площади выреза:</i></p> <p>U_M > Plot > Elements M_M > Preprocessor > Meshing > Clear > Areas Мышкой кликните на левую среднюю поверхность из слагающих контур стержня. Сама поверхность не видна, но нетрудно вспомнить, где она располагается > ОК</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Replot</p> 	
30	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS</p>	
31	<p><i>Сравнение деформированной и недеформированной форм:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > ОК</p> <p>Некоторые символы пропадают. Восстановим их: U_M > PlotCtrls > Symbols > Boundary condition устанавливаем "All Applied BCs" > ОК</p> <p>Видно, что под действием внешних осевых сил стержень растягивается (становится длиннее), но не изгибается ($M_{изг} = 0$, рис 2в.).</p>	

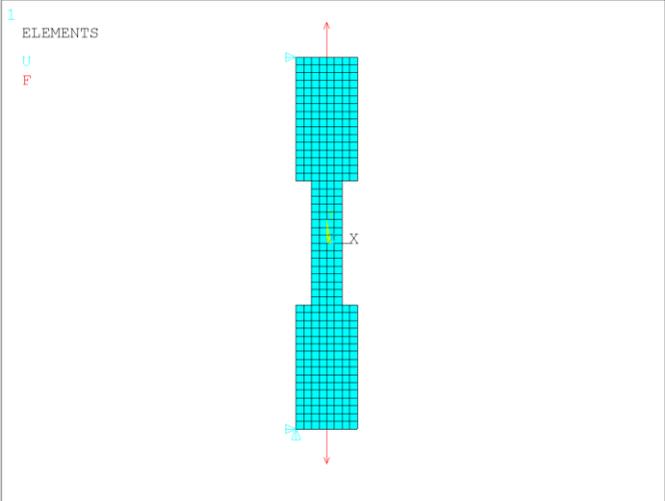
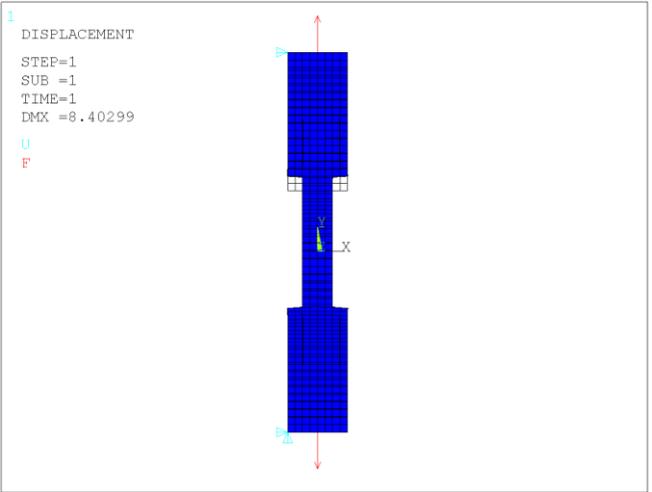
№	Действие	Результат
32	<p><i>Осевые напряжения (цветовая шкала):</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > > Element Solu > Element Solution > Stress > > Y-Component of stress > OK</p> <p>В точках верхнего и нижнего участков стержня осевые напряжения постоянны и равны 1; осевые напряжения в среднем участке так же постоянны и равны 2. Точное совпадение с результатом аналитического расчёта (рис.2в.).</p>	 <p>ELEMENT SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 SY (NOAVG) RSYS=0 DMX =8 SMN =1 SMX =2 U F X</p> <p>1 1.125 1.25 1.375 1.5 1.625 1.75 1.875 2</p>

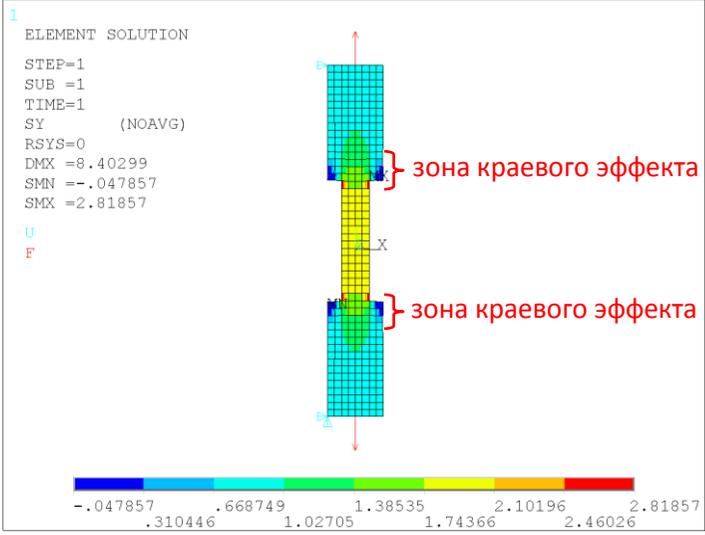
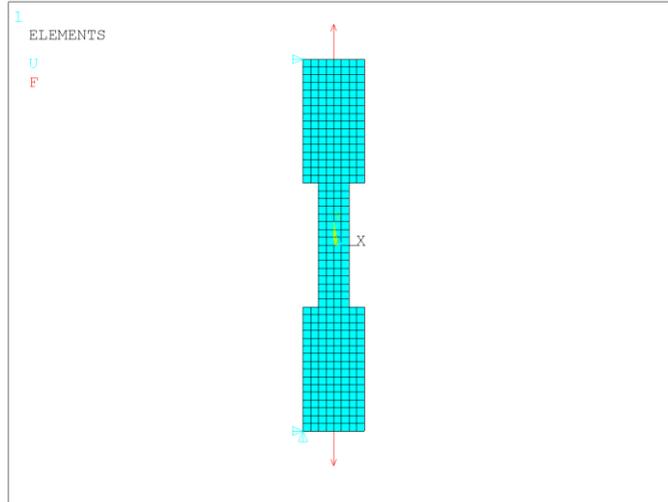
№	Действие	Результат
33	<p>Создаём три нулевые отметки (пути) на которых позже будут прорисовываться эпюры напряжений (рис.2б., изображены оранжевым цветом):</p> <p>Прорисовываем узлы и элементы: U_M > Plot > Elements</p> <p>Верхний путь (First): M_M> General Postproc> Path Operations> Define Path> By Nodes> Кликаем мышкой на левый и правый узлы любого поперечного сечения верхнего участка стержня > ОК > В графе Name пишем First > ОК ></p> <p>Средний путь (Second): M_M> General Postproc> Path Operations> Define Path> By Nodes> Кликаем на левый и правый узлы любого поперечного сечения среднего участка > ОК > В графе Name пишем Second > ОК ></p> <p>Нижний путь (Third): M_M> General Postproc> Path Operations> Define Path> By Nodes> Кликаем на левый и правый узлы любого поперечного сечения нижнего участка > ОК > В графе Name пишем Third > ОК ></p> <p>Прорисовываем все три пути: M_M > General Postproc > Path Operations > Plot Path</p>	 <p>The diagram shows a vertical stepped shaft discretized with a grid. It is divided into three sections: a top wider section, a middle narrower section, and a bottom wider section. Three horizontal paths are defined across the shaft, labeled 'FIRST', 'SECOND', and 'THIRD' from top to bottom. Red arrows point upwards from the top and downwards from the bottom, representing tension. A yellow arrow points downwards from the middle section. Blue triangles at the top and bottom indicate fixed supports.</p>

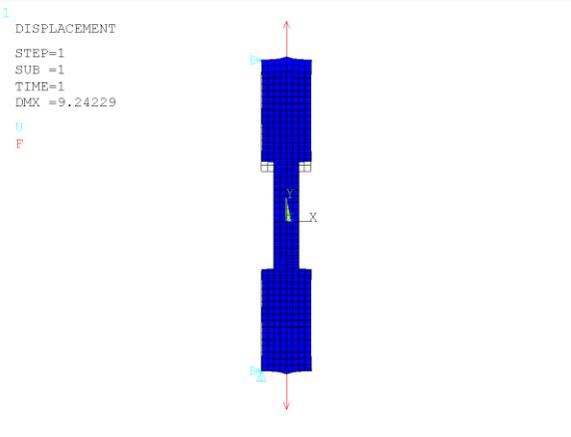
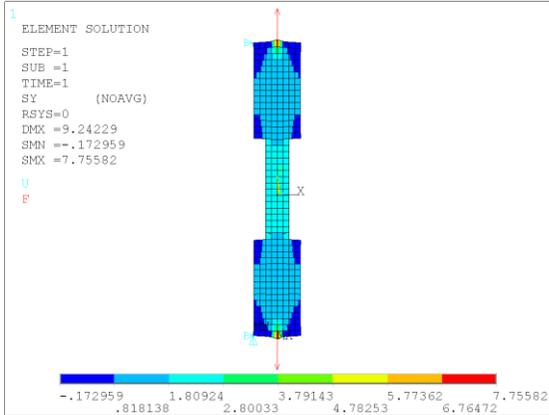
№	Действие	Результат
34	<p><i>Этюра на первом пути:</i></p> <p>Активируем первый путь: M_M > General Postproc > Path Operations > > Recall Path Из списка выбираем вариант "FIRST" > ОК</p> <p>Чертить будем этюру нормального напряжения σ вдоль оси Y: M_M > General Postproc > Path Operations > Map onto Path > В графе Lab пишем название, например SYU В левом окошке выбираем Stress В правом окошке выбираем Y-direction SY > ОК</p> <p>Чертим этюру: M_M > General Postproc > Path Operations > Plot Path Item > > On Geometry Из списка мышкой выбрать SYU Селектор поставить на "With nodes" > ОК</p> <p>Видим прямоугольник высотой <i>l</i>, как и должно быть (верхняя этюра, <i>рис.2в</i>).</p>	

№	Действие	Результат
35	<p><i>Эюра на втором пути:</i></p> <p>Активируем второй путь:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Recall Path Из списка выбираем вариант "SECOND" > OK</p> <p>Чертить будем эюру нормального напряжения σ вдоль оси Y:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Map onto Path > В графе Lab пишем название, например SYU В левом окошке выбираем Stress В правом окошке выбираем Y-direction SY > OK</p> <p>Чертим эюру осевых напряжений:</p> <p>M_M > General Postproc > Path Operations > Plot Path Item > > On Geometry Из списка мышкой выбрать SYU Селектор поставить на "With nodes" > OK</p> <p>Видим прямоугольник высотой 2, как и должно быть (средняя эюра, <i>рис.2в.</i>).</p>	

№	Действие	Результат
36	<p><i>Эюра на третьем пути:</i></p> <p>Активируем третий путь:</p> <p>М_М > General Postproc > Path Operations > Recall Path Из списка выбираем вариант "THIRD" > ОК</p> <p>Чертить будем эюру нормального напряжения σ вдоль оси Y:</p> <p>М_М > General Postproc > Path Operations > Map onto Path > В графе Lab пишем название, например SYU В левом окошке выбираем Stress В правом окошке выбираем Y-direction SY > ОК</p> <p>Чертим эюру осевых напряжений:</p> <p>М_М > General Postproc > Path Operations > Plot Path Item > > On Geometry Из списка мышкой выбрать SYU Селектор поставить на "With nodes" > ОК</p> <p>Видим прямоугольник высотой 1, как и должно быть (нижняя эюра, <i>рис.2в.</i>).</p>	

№	Действие	Результат
Краевой эффект в зоне выреза. При использовании гипотезы плоских сечений ним пренебрегают.		
37	<p><i>Удаляем из модели жёсткие балочные конечные элементы по границам выреза:</i></p> <p>U_M > Plot > Lines M_M > Preprocessor > Meshing > Clear > Lines Мышкой кликните на линии поперечных сечений верхнего и нижнего участков стержня, ограничивающих вырез. > OK</p> <p>Элементы и их узлы:</p> <p>U_M > Plot > Elements</p> 	
38	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS</p>	
39	<p><i>Сравнение деформированной и недеформированной форм:</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>Видно, что поперечные сечения на переходном участке уже не остаются плоскими. Значит, напряжённое состояние точек этого небольшого участка становится неоднородным.</p>	

№	Действие	Результат
40	<p><i>Осевые напряжения (цветовая шкала):</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > > Element Solu > Element Solution > Stress > > Y-Component of stress > OK</p> <p>В точках верхнего и нижнего участков осевые напряжения равны <i>1</i>; осевые напряжения в среднем участке равны <i>2</i>.</p> <p>На стыке участков видны отклонения напряжений от номинала. Отклонения значительны, однако локализованы в небольших объёмах. Это и есть явление <i>краевого эффекта</i>. Пластичным материалам краевой эффект не особенно страшен – зоны повышенных напряжений «подминаются» и напряжения спадают. Для хрупких материалов краевой эффект опасен – из его зоны развиваются трещины. Поэтому в хрупких деталях обязательно скругляют прямые углы.</p>	
<p>Условность сосредоточенных внешних сил.</p>		
41	<p><i>Удаляем из модели жёсткие балочные конечные элементы с поперечных сечений, к которым приложены внешние сосредоточенные силы:</i></p> <p>U_M > Plot > Lines M_M > Preprocessor > Meshing > Clear > Lines Мышкой кликайте на линии поперечных сечений верхнего и нижнего концов стержня. > OK</p> <p>Элементы и их узлы:</p> <p>U_M > Plot > Elements</p> 	

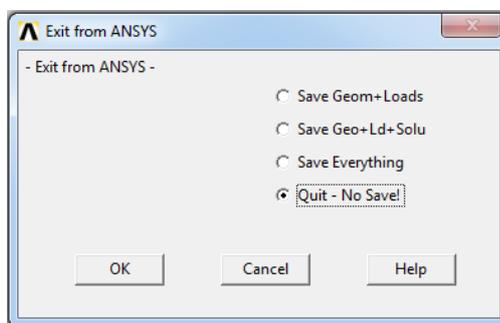
№	Действие	Результат
42	<p>Запускаем расчёт:</p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS</p>	
43	<p>Сравнение деформированной и недеформированной форм:</p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > OK</p> <p>Некоторые символы пропадают. Восстановим их:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > Boundary condition устанавливаем "All Applied BCs" > OK</p>	
44	<p>Осевые напряжения (цветовая шкала):</p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > > Element Solu > Element Solution > Stress > > Y-Component of stress > OK</p> <p>В точках приложения сосредоточенных внешних сил видны локальные всплески напряжений. И чем меньше размер конечного элемента, тем выше будет амплитуда всплеска.</p> <p>Для устранения краевых эффектов и всплесков напряжений в точках приложения внешних сосредоточенных сил (то есть, для того, чтобы конечноэлементная модель соответствовала аналитическому расчёту с его гипотезой плоских поперечных сечений) и использовались жёсткие балочные конечные элементы MPC184.</p> <p>Пример так же хорошо демонстрирует принцип Сен-Венана – уже на расстоянии a от точки приложения сосредоточенной силы напряжения «успокаиваются» и становятся равномерными, равными l.</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.