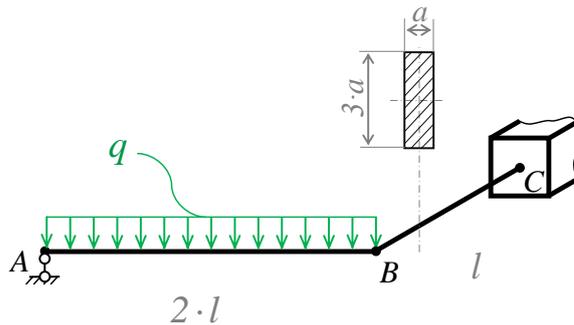


O-01 (ANSYS)

Формулировка задачи:

Дано: $E, a, q, l, \nu=0,25$



Односвязная

плоскопространственная рама

постоянного поперечного

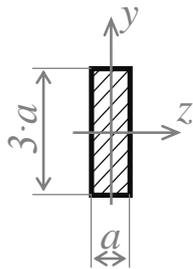
сечения, наружная

распределённой силой.

Найти: 1) Эпюру внутренних моментов;

2) Вертикальное перемещение точки B: δ_B .

Аналитический расчёт (см. [O-01](#)) даёт следующие решения:



$I_z = 2,25 \cdot a^4$ - изгибный момент инерции поперечного сечения;

$I_y = 0,25 \cdot a^4 = 0,1111 \cdot I_z$ - второй осевой момент инерции;

$I_{\hat{e}} = 0,789 \cdot a^4 = 0,3507 \cdot I_z$ - геометрическая жёсткость поперечного сечения при кручении;

$$\delta_B = \frac{670}{1989} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} = 0,3369 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} \quad - \text{вниз.}$$

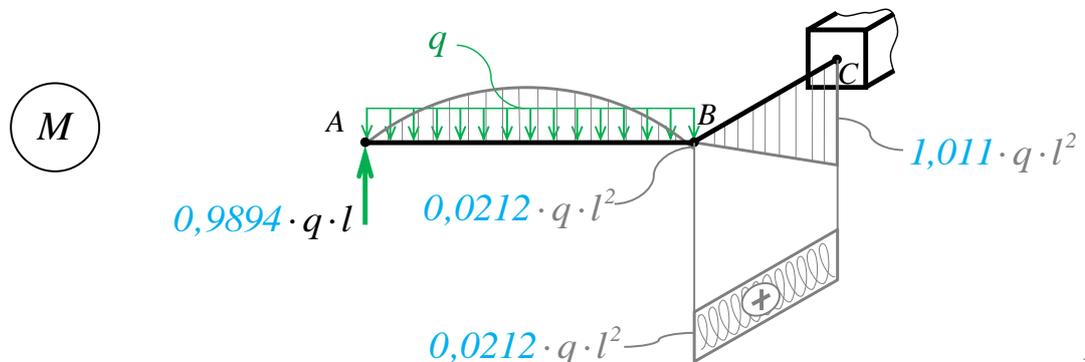


Рис. 1.

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

Предварительные настройки:

Для решения задачи используется ANSYS Multiphysics 14.0:

ANSYS Command Prompt (C_P)

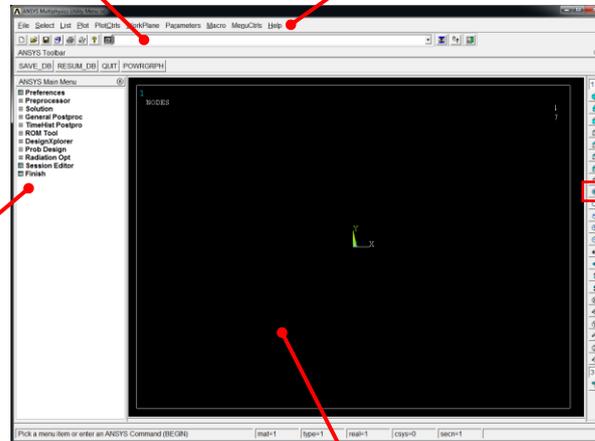
Utility Menu (U_M)

Main Menu (M_M)

Рабочее поле

Кнопка

Fit

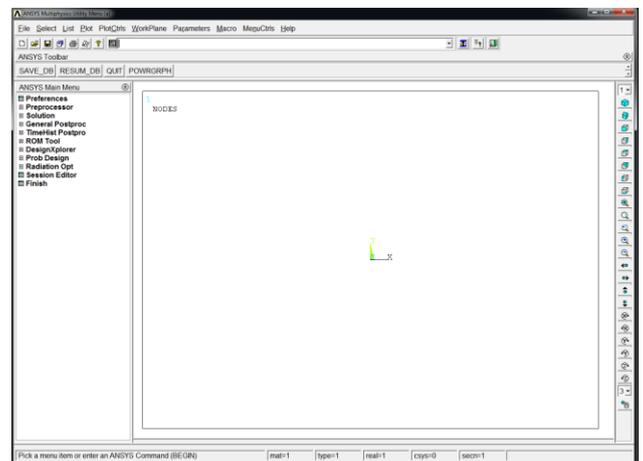


С меню M_M и U_M работают мышью, выбирая нужные опции.

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

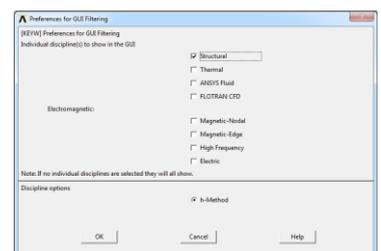
Чёрное рабочее поле не всегда приятно для глаза. Кроме того, оно неудобно для печати рисунков. Меняем чёрный цвет фона на белый следующими действиями:

```
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:

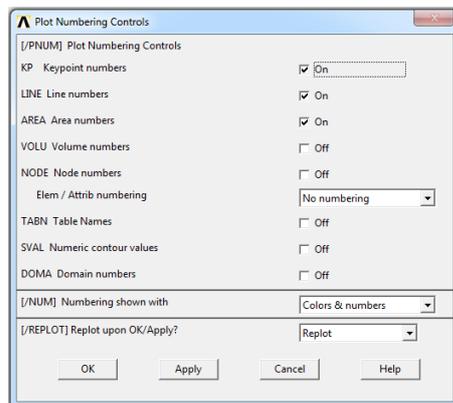
U_M > PlotCtrls > Numbering >

Отметить KP, LINE ;

Установить Elem на "No numbering";

Установить [/NUM] на "Colors & numbers"

> OK



Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >

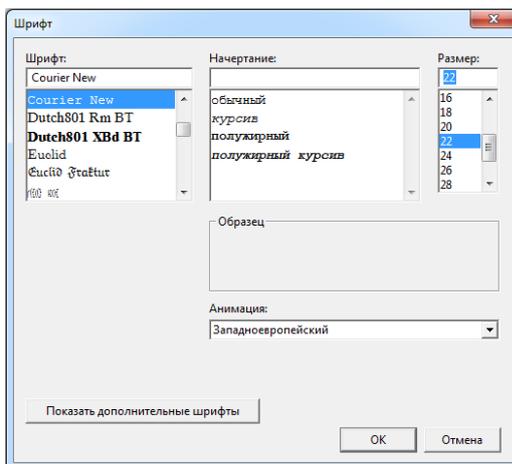
Установить «Размер» на «22»

> OK

U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >

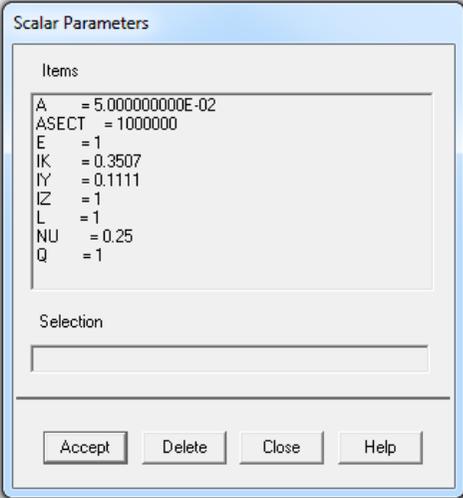
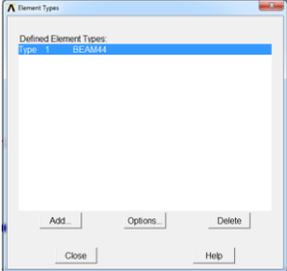
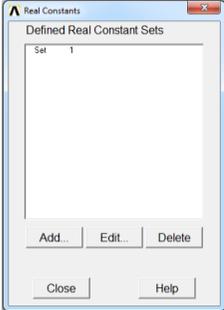
Установить «Размер» на «22»

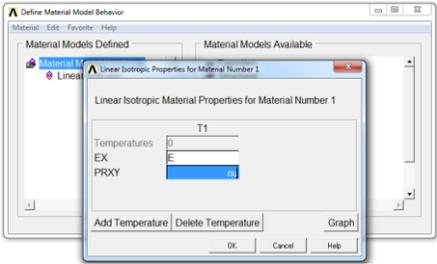
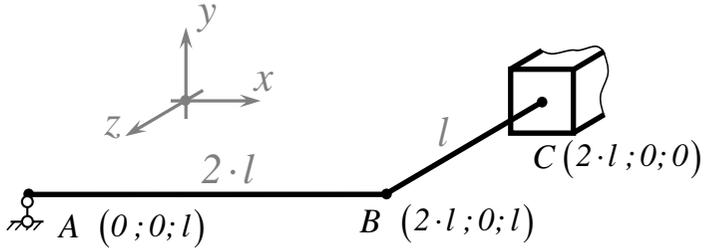
> OK

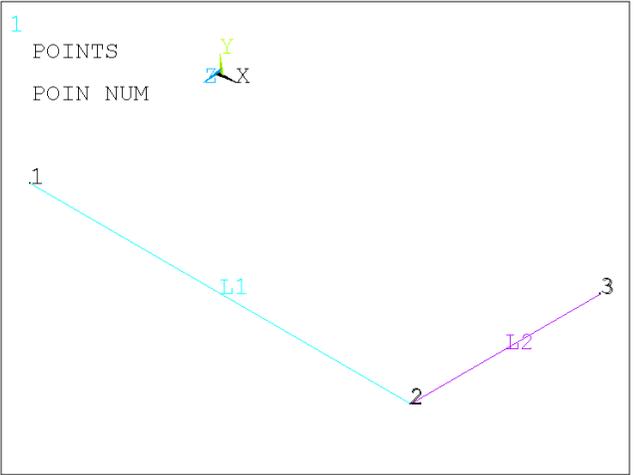
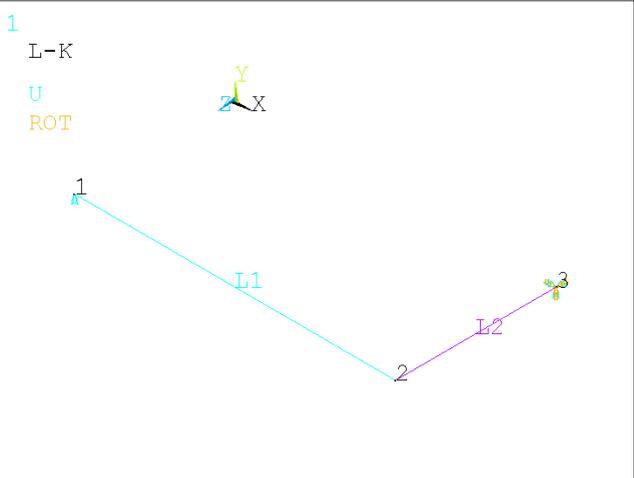


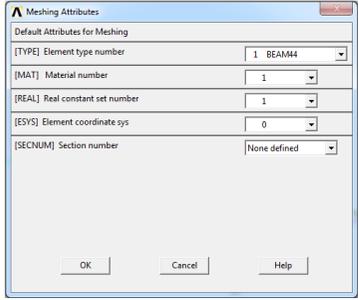
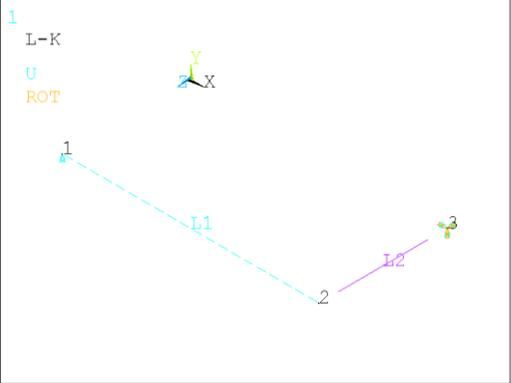
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

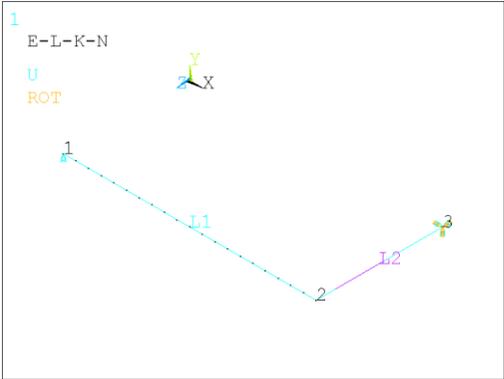
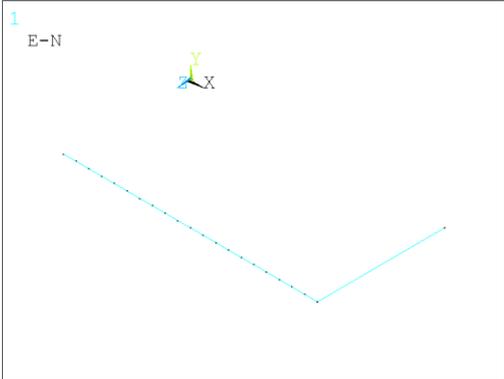
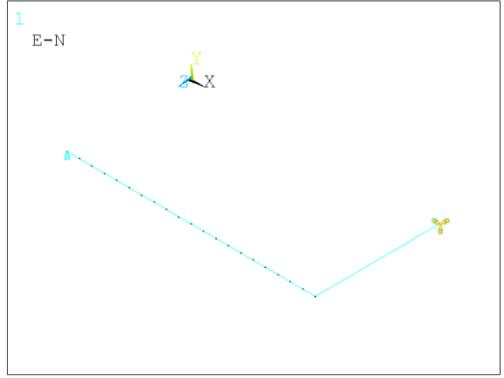
Решение задачи:

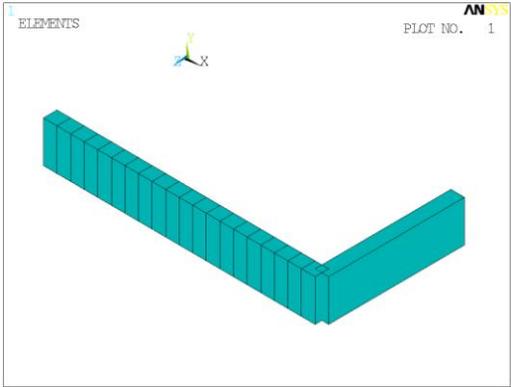
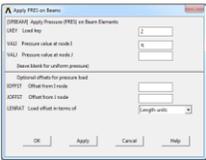
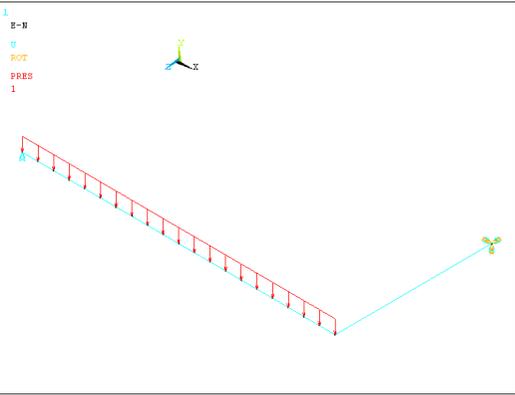
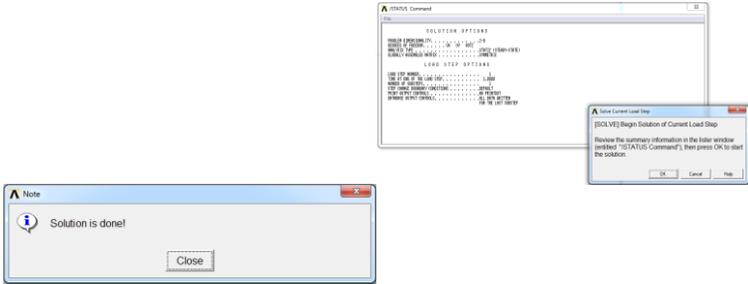
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <pre> U_M > Parameters > Scalar Parameters > E=1 > Accept > q=1 > Accept > l=1 > Accept > a=l/20 > Accept > Iz=1 > Accept > Iy=0.1111*Iz > Accept > Ik=0.3507*Iz > Accept > ASect=1e6 > Accept > nu=0.25 > Accept > > Close </pre>	
2	<p><i>Первая строчка в таблице конечных элементов – балочный тип BEAM44:</i></p> <pre> M_M > Preprocessor C_P > ET,1,BEAM44 > Enter </pre> <p>Посмотрим таблицу конечных элементов:</p> <pre> M_M > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Close </pre>	
3	<p><i>Реальные константы для элемента BEAM44:</i></p> <pre> C_P > R,1,ASECT,Iz,Iy,a,3*a,Ik > Enter </pre> <p>Посмотрим таблицу реальных констант:</p> <pre> M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Close </pre>	

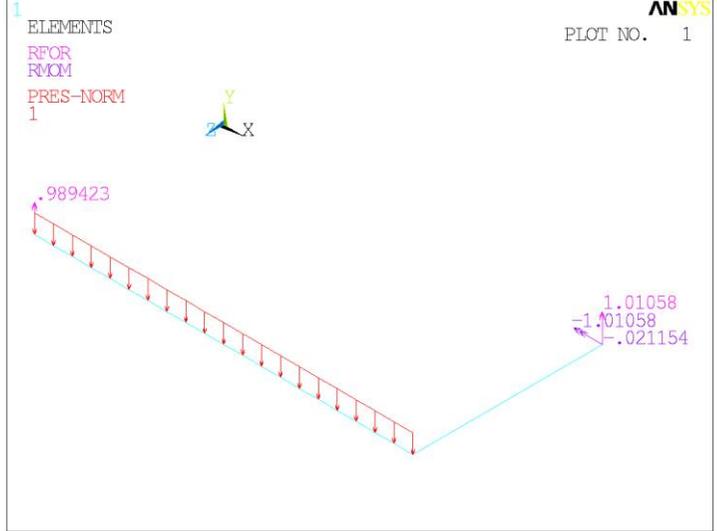
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic ></p> <p>В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu"</p> <p>> ОК</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
<h3>Твердотельное моделирование</h3>		
5	<p><i>Координаты узлов рамы:</i></p> <p>Определяемся с положением рамы относительно глобальной декартовой системы координат.</p>	
6	<p><i>Ключевые точки A→1, B→2, C→3:</i></p> <p>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Keypoints> In Active CS></p> <p>NPT пишем 1</p> <p>X, Y, Z пишем 0, 0, l > Apply ></p> <p>NPT пишем 2</p> <p>X, Y, Z пишем 2*l, 0, l > Apply ></p> <p>NPT пишем 3</p> <p>X, Y, Z пишем 2*l, 0, 0 > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p> - изометрия;  - автоформат.</p>	

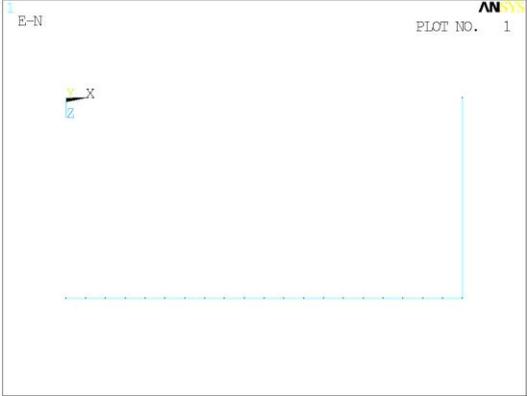
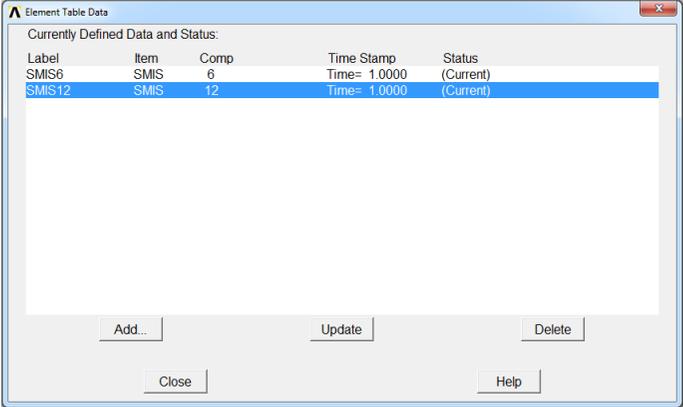
№	Действие	Результат
7	<p><i>Оси стержней рамы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line ></p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки: 1 и 2 2 и 3 > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
8	<p><i>Закрепления:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 1 ключевую точку > ОК ></p> <p>Lab2 установить "UY"</p> <p>> Apply</p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 3 ключевую точку > ОК ></p> <p>Lab2 установить "All DOF"</p> <p>> ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

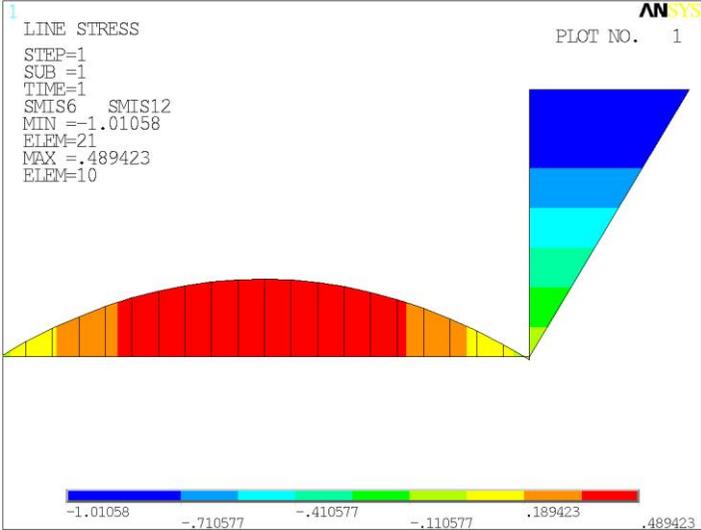
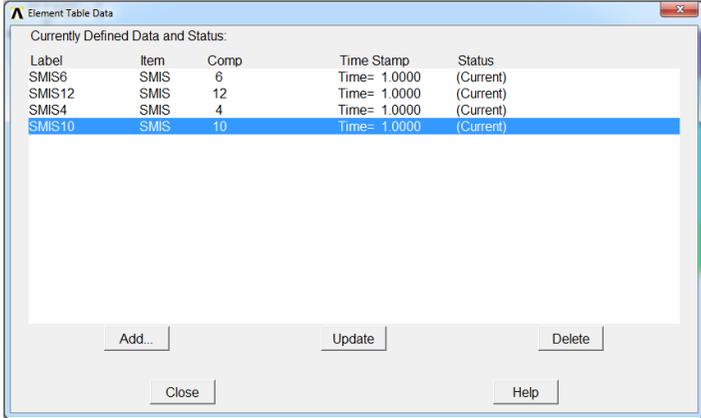
№	Действие	Результат
Конечноэлементная модель		
9	<p><i>Указываем материал, тип элементов и номер поперечного сечения:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Lines ></p> <p>[TYPE] установить "1 BEAM44"</p> <p>[MAT] установить "1"</p> <p>[REAL] установить "1"</p> <p>> OK</p>	
10	<p><i>Размер элементов:</i></p> <p>Линия L1 нагружена распределённой поперечной силой, её нужно разбить несколькими конечными элементами; линия L2 без распределённых нагрузок можно разбить одним конечным элементом:</p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Lines > Picked Lines ></p> <p>Левой кнопкой мыши кликаем на линию L1</p> <p>> OK</p> <p>NDIV пишем 20</p> <p>> Apply ></p> <p>Левой кнопкой мыши кликаем на линию L2</p> <p>> OK ></p> <p>NDIV пишем 1</p> <p>> OK</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

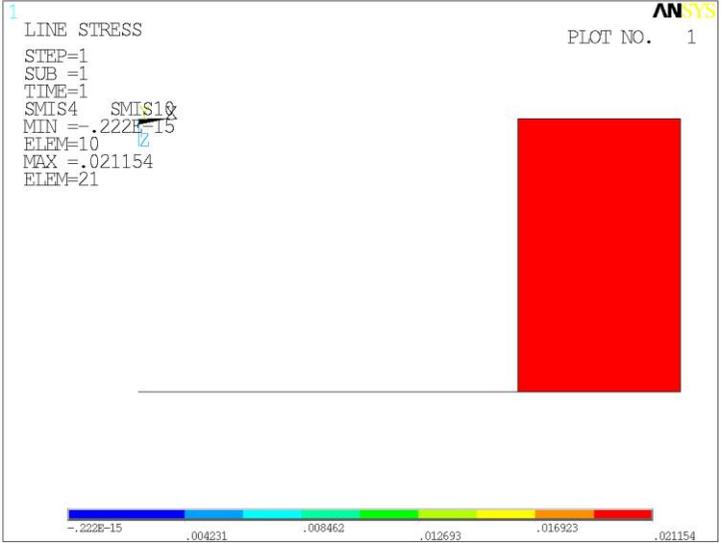
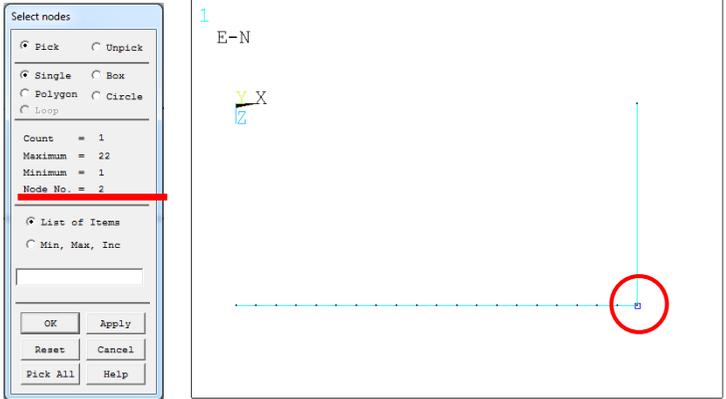
<p>11</p>	<p><i>Рабиваем линии на элементы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Pick All</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Видим сразу две модели - твердотельную и конечноэлементную.</p>	
<p>12</p>	<p><i>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Multi-Plot Controls ></p> <p>Появляется первое окно Multi-Plotting > OK ></p> <p>Появляется второе окно Multi-Plotting ></p> <p>Оставляем в нём отметки только напротив Nodes и Elements > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Теперь видим только конечноэлементную модель.</p>	
<p>13</p>	<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>	

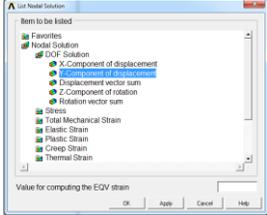
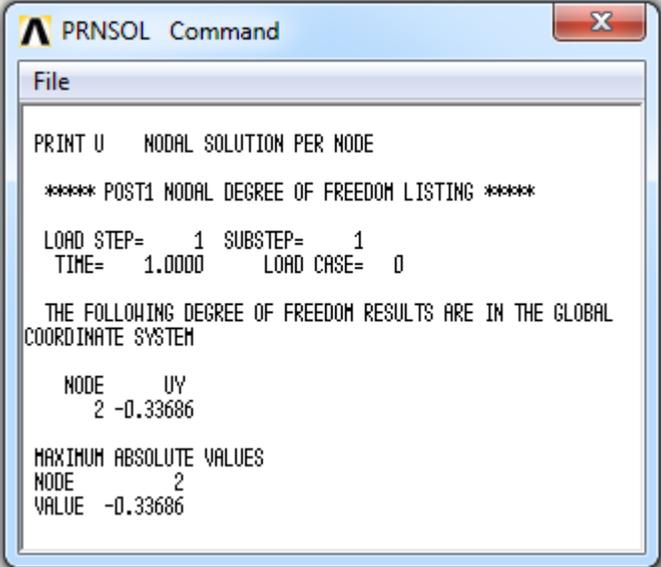
№	Действие	Результат
14	<p><i>Проверяем ориентацию поперечного сечения:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Size and Shape > [/ESHAPE] установить отметку "on" > ОК</p> <p>Корректируйте масштаб кнопками ,  или .</p> <p>Видно, что плоскость рамы параллельна меньшей стороне сечения, как и должно быть. Убираем прорисовку сечения:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Size and Shape > [/ESHAPE] убрать отметку, установив "off" > ОК</p>	
15	<p><i>Поперечная распределённая нагрузка q:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Beams ></p> <p>Левой кнопкой мыши отмечаем 20 элементов длинного стержня > Apply ></p> <p>LKEY пишем 2</p> <p>VAL1 пишем q</p> <p>> ОК</p>  <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
Расчёт		
16	<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.</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p> <p>Расчёт окончен.</p>	

№	Действие	Результат
Просмотр результатов:		
17	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual" Убираем галочку с "Miscellaneous" Surface Load Symbols устанавливаем Pressures Show pres and convect as устанавливаем Arrows > OK ></p> <p>В окне "Applied Boundary Conditions" U установить "Off" Rot установить "Off" F установить "Symbol+Value" M установить "Symbol+Value" > OK ></p> <p>В окне "Reactions" NFOR установить "Off" NMOM установить "Off" RFOR установить "Symbol+Value" RMOM установить "Symbol+Value" > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Elements</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1</i>. В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Красным цветом начерчена распределённая внешняя сила; - Малиновым цветом нарисованы реактивные силы; - Фиолетовым начерчены векторы реактивных моментов: изгибаемого (поперёк оси короткого стержня) и крутильного (вдоль его оси). 	 <p>The image shows an ANSYS plot of a beam structure. The plot displays a beam with a distributed load (red arrows) and reaction forces (magenta arrows) at the ends. The beam is supported at the right end. The plot shows the following values:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reaction force at the left end: 0.989423 Reaction force at the right end: 1.01058 Reaction moment at the right end: -1.01058 Reaction moment at the right end: -0.021154 <p>The plot also shows the beam's geometry and a coordinate system (X, Y, Z). The plot is titled "ELEMENTS" and "PLOT NO. 1".</p>

№	Действие	Результат
18	<p><i>Вид сверху:</i></p>  - вид сверху;  - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).	
19	<p><i>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10 > ОК</p>	
20	<p><i>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента Mизг:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "6" > Apply > "By sequence num", "SMISC,", "12" > ОК > > Close</p> <p>Смотрим таблицу результатов: M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Close</p>	

№	Действие	Результат																									
21	<p><i>Прорисовка эпюры Мизг:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > LabI установить "SMIS6" LabJ установить "SMIS12" Fact пишем 1 > ОК</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1</i>. (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала. А, вот, со знаками ("вверх" эпюра или "вниз") осторожно! Быть уверенным здесь можно только в форме.</p> <p>Можете рисунок эпюры сделать крупнее: коэффициент Fact установите 2 или 3.</p>																										
22	<p><i>Составление эпюры внутреннего крутящего момента Мкр:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "4" > Apply > "By sequence num", "SMISC,", "10" > ОК > > Close</p> <p>Смотрим таблицу результатов:</p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Close</p>	 <table border="1" data-bbox="1391 831 2092 1249"> <thead> <tr> <th>Label</th> <th>Item</th> <th>Comp</th> <th>Time Stamp</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SMIS6</td> <td>SMS</td> <td>6</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS12</td> <td>SMS</td> <td>12</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS4</td> <td>SMS</td> <td>4</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr style="background-color: #e0e0ff;"> <td>SMIS10</td> <td>SMS</td> <td>10</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> </tbody> </table>	Label	Item	Comp	Time Stamp	Status	SMIS6	SMS	6	Time= 1.0000	(Current)	SMIS12	SMS	12	Time= 1.0000	(Current)	SMIS4	SMS	4	Time= 1.0000	(Current)	SMIS10	SMS	10	Time= 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status																							
SMIS6	SMS	6	Time= 1.0000	(Current)																							
SMIS12	SMS	12	Time= 1.0000	(Current)																							
SMIS4	SMS	4	Time= 1.0000	(Current)																							
SMIS10	SMS	10	Time= 1.0000	(Current)																							

№	Действие	Результат
23	<p><i>Прорисовка эпюры Мкр:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res ></p> <p>LabI установить "SMIS4"</p> <p>LabJ установить "SMIS10"</p> <p>Fact пишем 1</p> <p>> ОК</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1</i>. (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала. В эпюрах крутящего момента, в отличие от изгибающего, можете быть уверенными и в знаках моментом тоже. С аналитическими расчётами знаки совпадают всегда.</p> <p>В данном случае видим: крутящий момент на длинном стержне нулевой, на коротком - положительный.</p>	
24	<p><i>Выделяем узел в точке В:</i></p> <p>Узлы и элементы:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Выделяем узел в точке В (угловой узел):</p> <p>U_M > Select > Entities ></p> <p>Устанавливаем "Nodes" и "By Num/Pick"</p> <p>Селектор установить на "From Full"</p> <p>> ОК</p> <p>Левой кнопкой мыши кликнуть на угловой узел. На панельке появляется номер узла. Видно, что это узел №2.</p> <p>> ОК</p>	

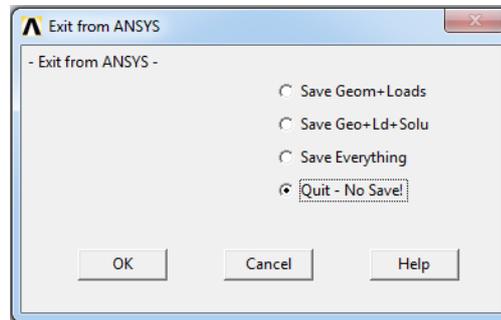
№	Действие	Результат
25	<p data-bbox="163 280 815 316"><i>Вертикальное перемещение узла №2 (точка B)</i></p> <p data-bbox="163 352 1043 504">M_M > General Postproc > List Results > > Nodal Solution > Nodal Solution > > DOF Solution > Y-Component of displacement > > OK</p> <p data-bbox="163 568 721 600">Получаем методом конечных элементов:</p> $\delta_2 = \delta_B = 0,3369 \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_z} \quad \text{âí èç (î ò ð è ö à ò ä ë ü í û é);}$ <p data-bbox="163 759 1167 791">что в точности совпадает с результатом аналитического расчёта (рис. 1.).</p> 	 <pre data-bbox="1429 264 2040 799"> PRNSOL Command File PRINT U MODAL SOLUTION PER NODE ***** POST1 MODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ***** LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM NODE UY 2 -0.33686 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 2 VALUE -0.33686 </pre>

Сохраняем проделанную работу:

U_M > File > Save as Jobname.db

Закройте ANSYS:

U_M > File > Exit > Quit - No Save! > OK



После выполнения указанных действий в рабочем каталоге остаются файлы с расширениями “.BCS”, “.db”, “.emat”, “.err”, “.esav”, “.full”, “.log”, “.mntr”, “.rst”, “.stat” и “.SECT”.

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