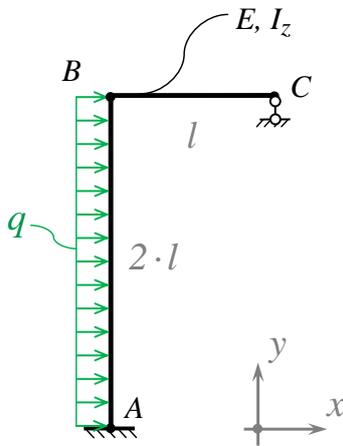


## M-01 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано:  $E, I_z, q, l$ .

Простая плоская рама под распределённой нагрузкой  $q$ .

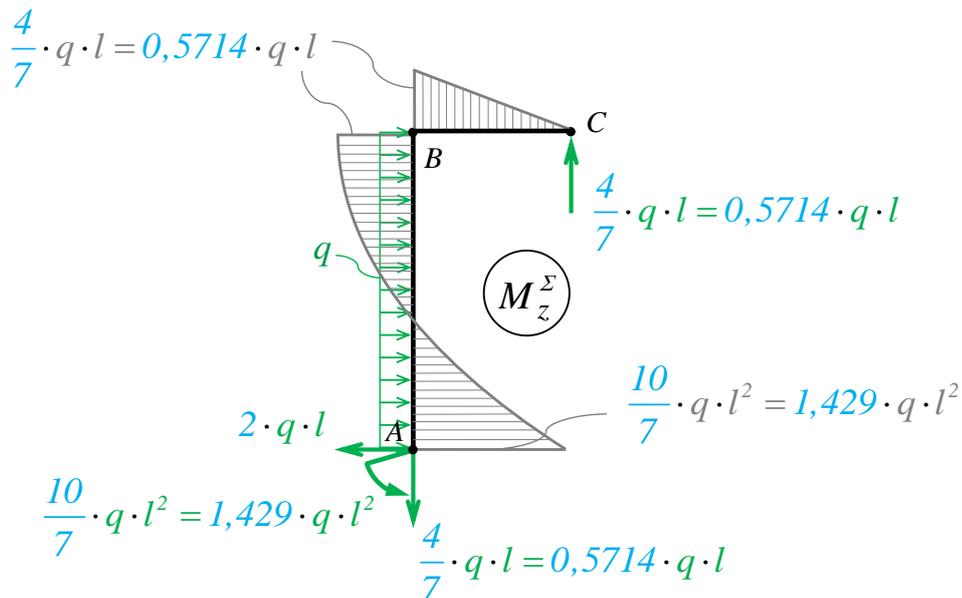
$E$  – модуль упругости материала;

$I_z$  – изгибный момент инерции.

Найти: Угловое перемещение точки  $B$ :  $\Theta_B$ .

Эпюру внутреннего изгибающего момента  $M_z$ .

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



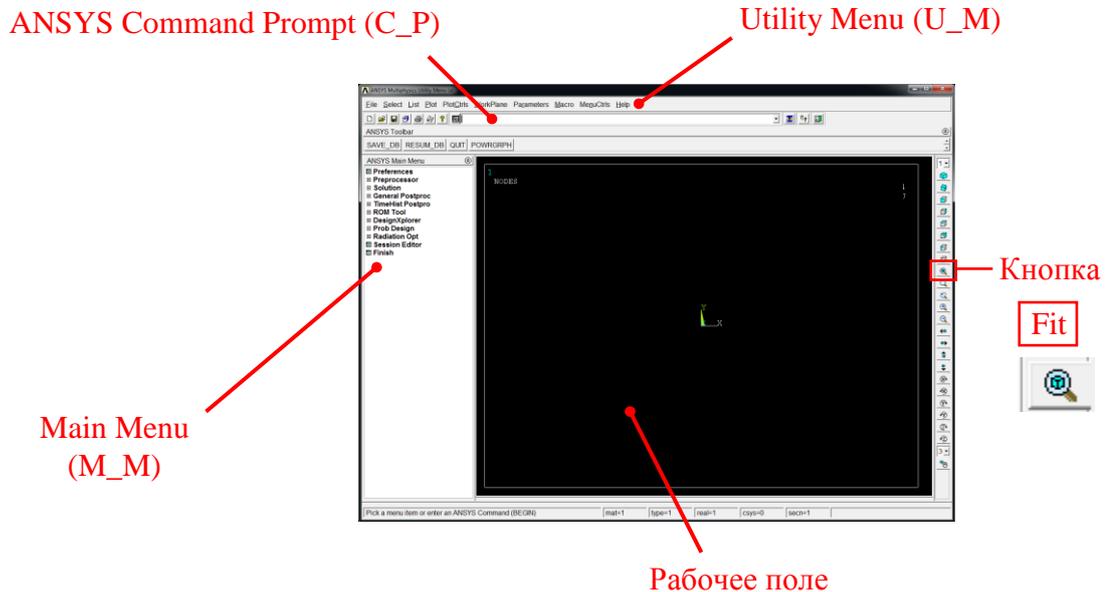
$$\Theta_B = \frac{4}{21} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I_z} = 0,1905 \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I_z}$$

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:

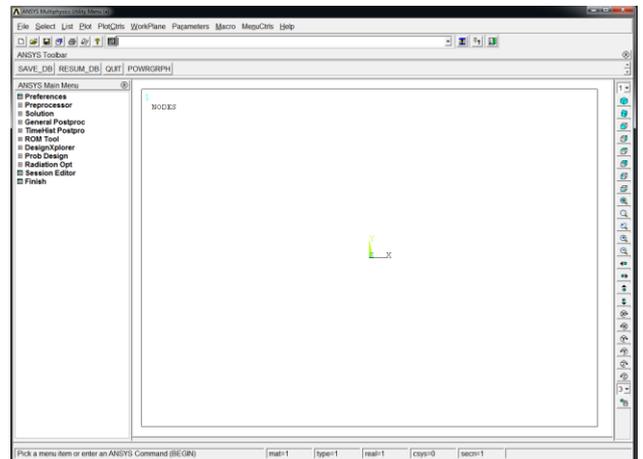


С меню M\_M и U\_M работают мышью, выбирая нужные опции.

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

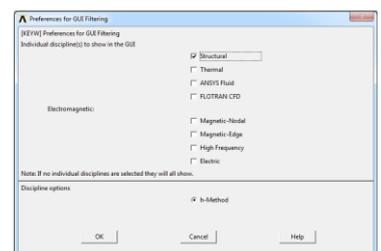
Чёрное рабочее поле не всегда приятно для глаза. Кроме того, оно неудобно для печати рисунков. Меняем чёрный цвет фона на белый следующими действиями:

U\_M > PlotCtrls > Style > Colors  
> Reverse Video



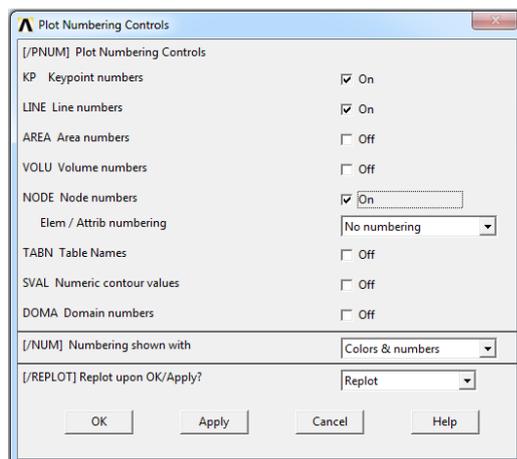
Убрать пункты меню, относящиеся к расплавам, магнитам и так далее, оставить только относящиеся к прочностным расчётам:

M\_M > Preferences > Отметить "Structural" > OK



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

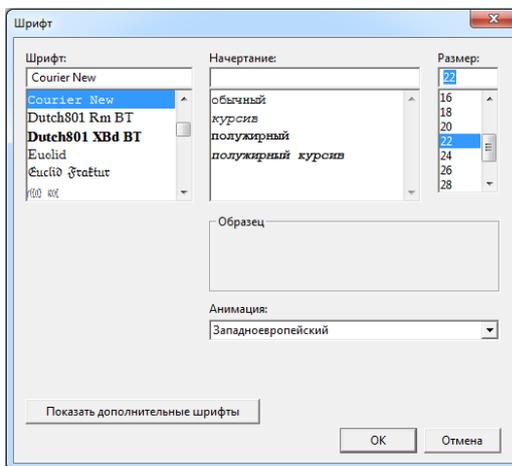
```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить KP, LINE, NODE ;
Установить Elem на "No numbering";
Установить [/NUM] на "Colors & numbers"
> OK
```



Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

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

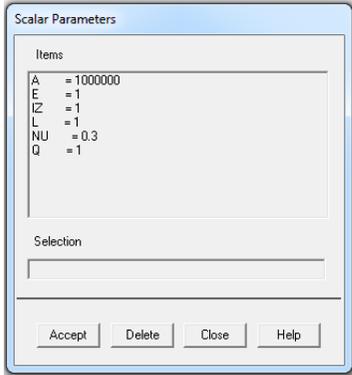
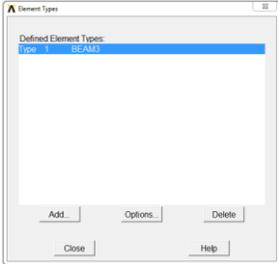
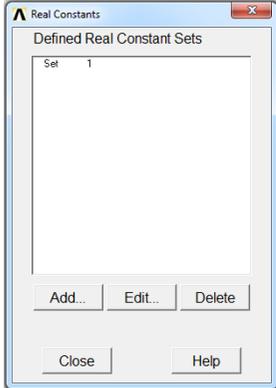
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
Установить «Размер» на «22»
> OK
```

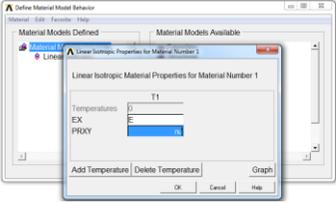
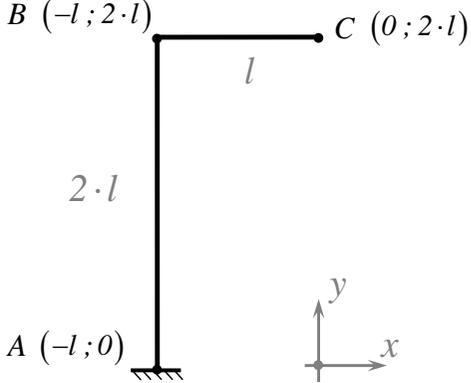
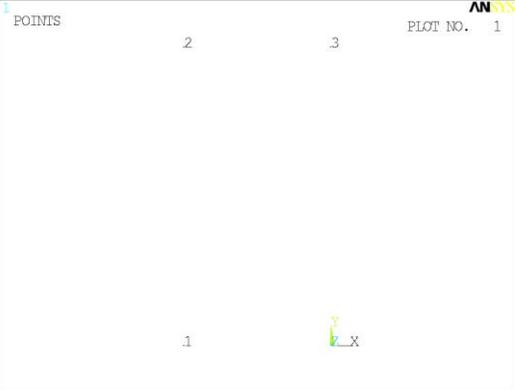


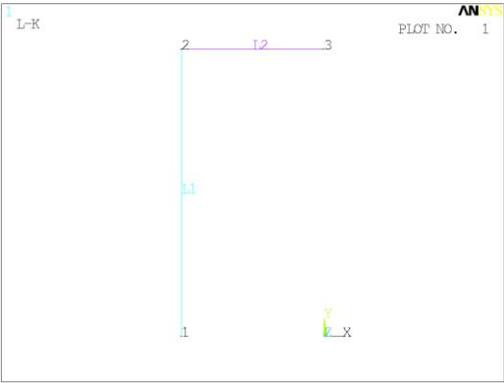
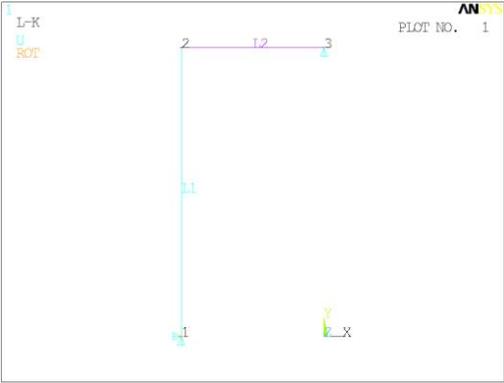
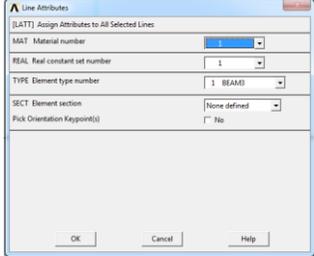
Предварительные настройки выполнены, можно приступить к решению задачи.

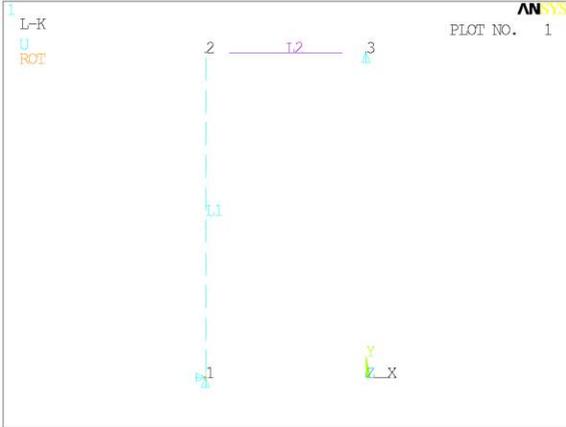
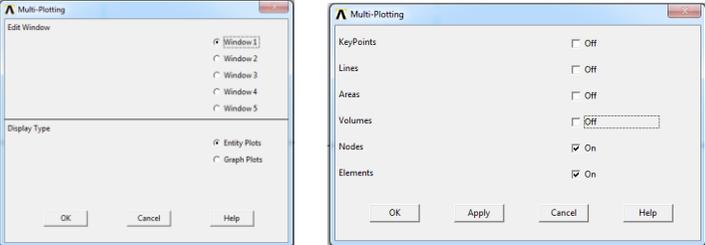
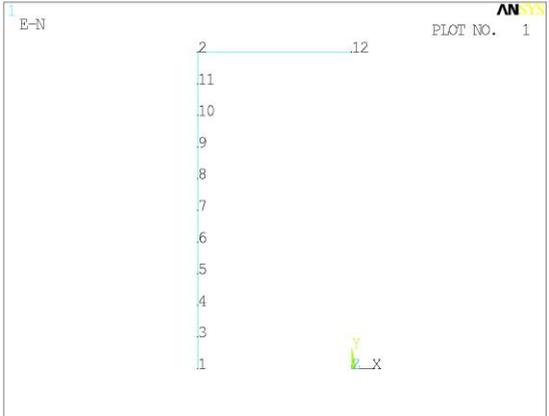
Решение задачи:

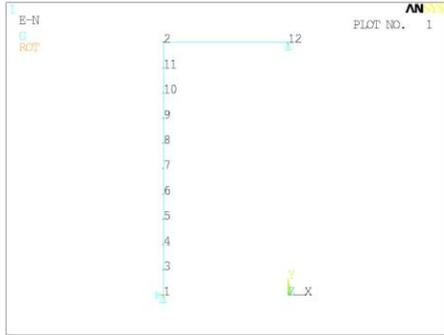
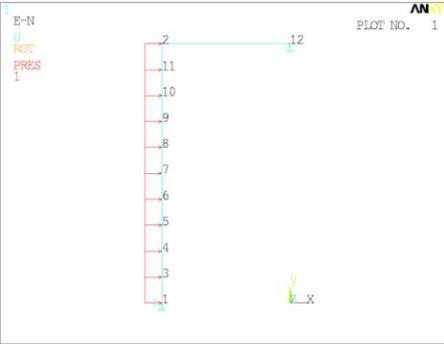
Приравняв  $E$ ,  $I_z$ ,  $q$  и  $l$  к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

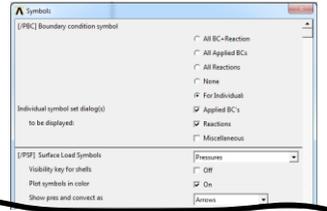
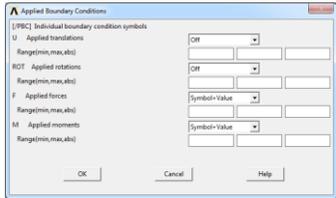
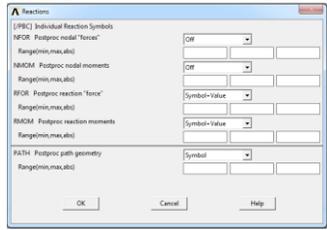
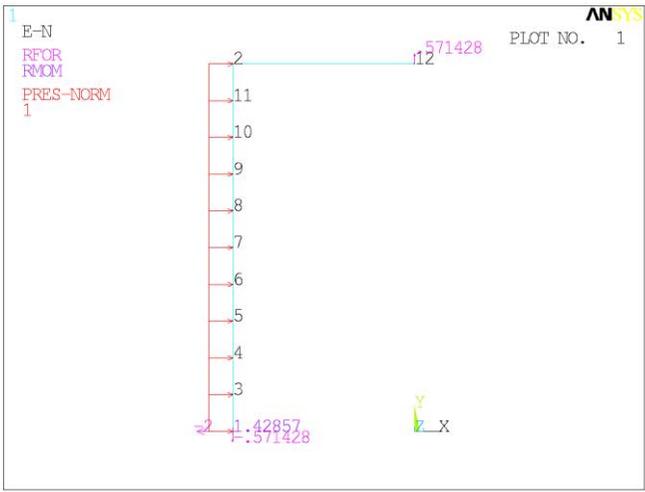
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;            E=1 &gt; Accept &gt;            A=1e6 &gt; Accept &gt;            Iz=1 &gt; Accept &gt;            q=1 &gt; Accept &gt;            l=1 &gt; Accept &gt;            nu=0.3 &gt; Accept &gt;            &gt; Close</p>	
2	<p><i>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский балочный тип BEAM3:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor            C_P &gt; ET, 1, BEAM3 &gt; <b>Enter</b></p> <p>Посмотрим таблицу конечных элементов:            M_M &gt; Preprocessor &gt; Element Type &gt; Add/Edit/Delete &gt; Close</p>	
3	<p><i>Первая строка в таблице параметров («реальных констант») выбранного типа конечного элемента: площадь поперечного сечения = A; момент инерции = Iz; высота = l/100.</i></p> <p>C_P &gt; R, 1, A, Iz, L/100 &gt; <b>Enter</b></p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант:            M_M &gt; Preprocessor &gt; Real Constants &gt; Add/Edit/Delete &gt; Close</p>	

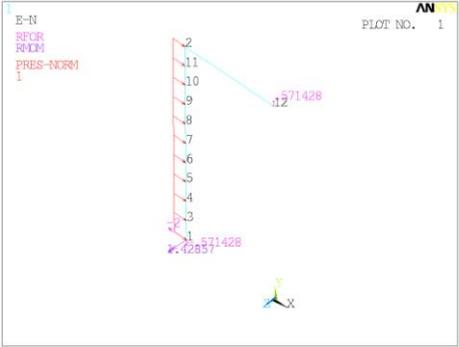
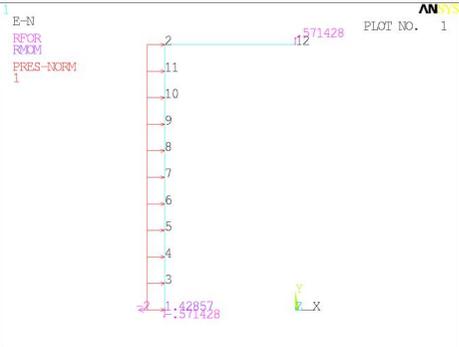
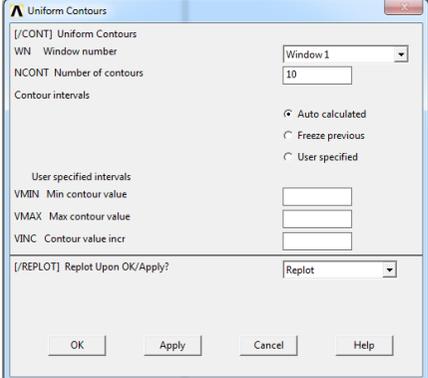
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Material Props &gt; Material Models &gt; Structural &gt; Linear &gt; Elastic &gt; Isotropic &gt;</p> <p>В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu" &gt; OK</p>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

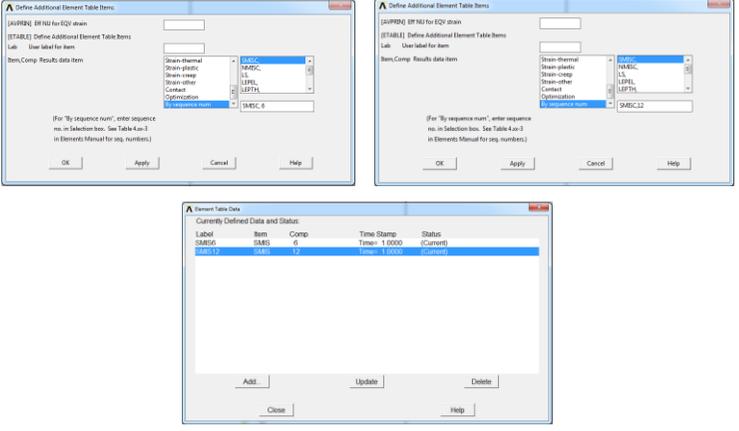
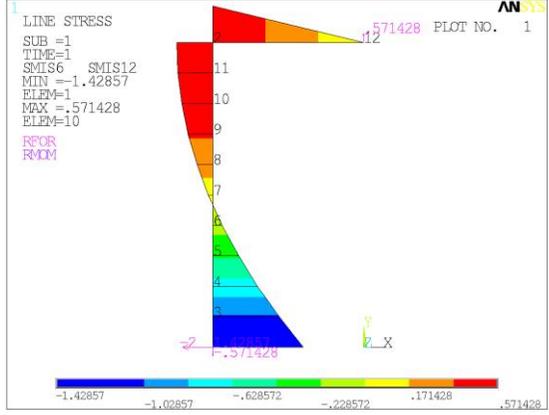
№	Действие	Результат
7	<p><i>Два участка – две линии:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Lines &gt; Lines &gt; Straight Line &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки: 1 и 2 2 и 3 &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
8	<p><i>Опоры:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Displacement &gt; On Keypoints &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 1 ключевую точку &gt; OK &gt;</p> <p>Lab2 установить "All DOF" &gt; Apply &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 3 ключевую точку &gt; OK &gt;</p> <p>Lab2 установить "UY"&gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
<b>Конечноэлементная модель</b>		
9	<p><i>Указываем материал, реальные константы и тип элементов:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh Attributes &gt; All Lines &gt;</p> <p>MAT установить "1"</p> <p>REAL установить "1"</p> <p>TYPE установить "1 BEAM3"</p> <p>&gt; OK</p>	

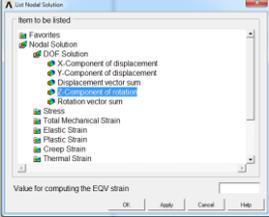
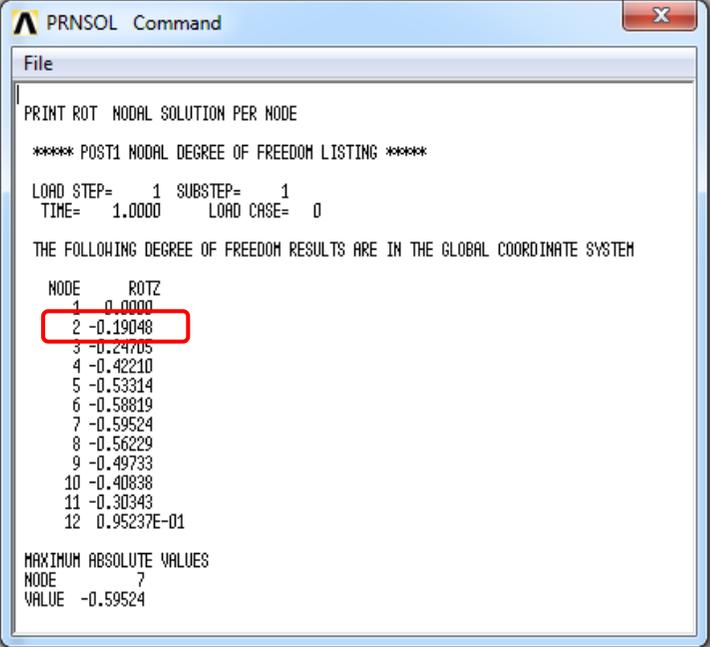
№	Действие	Результат
10	<p><i>Стойка нагружена распределённой поперечной силой, её нужно разбить несколькими конечными элементами; ригель без распределённых нагрузок можнобить одним конечным элементом:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Size Cntrls &gt; ManualSize &gt; Lines &gt; Picked Lines &gt;          Левой кнопкой мыши кликаем на линию L1 &gt; OK          NDIV пишем 10 &gt; Apply &gt;          Левой кнопкой мыши кликаем на линию L2 &gt; OK          NDIV пишем 1 &gt; OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
11	<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; OK &gt;          Появляется второе окно Multi-Plotting &gt;          Оставляем в нём отметки только напротив Nodes и Elements          &gt; OK</p>	
12	<p><i>Рабиваем линии на элементы:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh &gt; Lines &gt; Pick All</p> <p>Обновляем изображение:          U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Бирюзовым цветом изображены балочные элементы. Чёрные точки – это их узлы.</p>	

№	Действие	Результат
13	<p><i>Переносим на конечноэлементную модель нагрузки и закрепления с модели твердотельной:</i></p> <p>M_M &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Operate &gt; Transfer to FE &gt; All Solid Lds &gt; OK</p>	
14	<p><i>Поперечная распределённая нагрузка <math>q</math>:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Pressure &gt; On Beams &gt; Left button of mouse marks 10 elements of the beam &gt; Apply &gt; LKEY we write 1 VAL1 we write <math>q</math> &gt; OK</p>  <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
<b>Расчёт</b>		
15	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M &gt; Solution &gt; Solve &gt; Current LS</p> <p>Синхронно появляются два окна: белое информационное и серое исполнительное. Белое закрываем, на сером нажимаем ОК. Расчёт пошёл. Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно. Расчёт окончен.</p>	

№	Действие	Результат
<b>Просмотр результатов</b>		
<b>16</b>	<p><b>Силовая схема:</b></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt; [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous"</p> <p>Surface Load Symbols устанавливаем Pressures</p> <p>Show pres and convect as устанавливаем Arrows</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p><b>В окне "Applied Boundary Conditions"</b></p> <p>U установить "Off"</p> <p>Rot установить "Off"</p> <p>F установить "Symbol+Value"</p> <p>M установить "Symbol+Value"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p><b>В окне "Reactions"</b></p> <p>NFOR установить "Off"</p> <p>NMOM установить "Off"</p> <p>RFOR установить "Symbol+Value"</p> <p>RMOM установить "Symbol+Value"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Elements</p> <p>При необходимости корректируйте масштаб кнопками  или .</p> <p>Получаем тот же результат, что и на рис. 1. (числа, выделенные синим цветом).</p> <p>В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Красным цветом начерчена распределённая нагрузка;</li> <li>- Фиолетовым цветом начерчен вектор реактивного момента;</li> <li>- Малиновым цветом нарисованы реактивные силы.</li> </ul>	   

№	Действие	Результат
17	<p><i>Изометрия:</i></p> <p>До сих пор модели мы рассматривали, используя фронтальный вид («сбоку»).</p> <p>Вектор изгибающего момента при этом виден плохо, а его направление не определяется вовсе. Меняем угол зрения: справа от рабочего поля нажимаем кнопки</p> <p> - изометрия;</p> <p> - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).</p>	
18	<p><i>Возвращаемся к фронтальному виду:</i></p> <p> - вид спереди;</p> <p> - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).</p>	
19	<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</p> <p>&gt; ОК</p>	

№	Действие	Результат
20	<p><i>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Add &gt; "By sequence num", "SMISC,", "6"            &gt; Apply &gt;            "By sequence num", "SMISC,", "12"            &gt; OK &gt;            &gt; Close</p> <p>Смотрим таблицу результатов:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Close</p>	
21	<p><i>Прорисовка эпюры внутреннего изгибающего момента:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Contour Plot            &gt; Line Elem Res &gt;            LabI установить "SMIS6"            LabJ установить "SMIS12"            Fact пишем 1            &gt; OK</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1.</i> (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала.</p> <p>Можете рисунок эпюры сделать крупнее: коэффициент Fact установите 2 или 3.</p>	

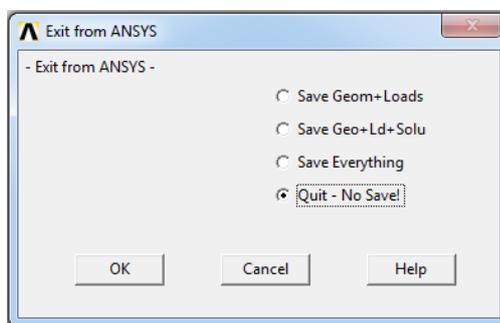
№	Действие	Результат
22	<p>Угол поворота точки В:</p> <p>Видно, что в точке В располагается узел 2 конечноэлементной модели. Посмотрим углы поворота всех узлов модели вокруг оси Z и среди них найдём узел 2:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt; Nodal Solution &gt; DOF Solution &gt; Z-Component of rotation &gt; OK</p>  <p>Получаем методом конечных элементов:</p> $\Theta_2 = \Theta_B = 0,1905 \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I_x} \quad \text{в } \hat{i} \text{ } \hat{j} \text{ } \hat{k} \text{ } \hat{e} \text{ } \hat{n} \text{ } \hat{o} \text{ } \hat{d} \text{ } \hat{e} \text{ } \hat{e} \text{ } \hat{a} \text{ } (\hat{i} \text{ } \hat{o} \text{ } \hat{d} \text{ } \hat{e} \text{ } \hat{o} \text{ } \hat{d} \text{ } \hat{e} \text{ } \hat{i} \text{ } \hat{i} \text{ } \hat{e} \text{ } );$ <p>что в точности совпадает с результатом аналитического расчёта (рис. 1).</p>	 <pre> PRNSOL Command File PRINT ROT NODAL SOLUTION PER NODE **** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING **** LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM       NODE      ROTZ       1      0.0000       2 -0.19048       3 -0.24705       4 -0.42210       5 -0.53314       6 -0.58819       7 -0.59524       8 -0.56229       9 -0.49733      10 -0.40838      11 -0.30343      12  0.95237E-01 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE      7 VALUE -0.59524 </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” и “.stat”.

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