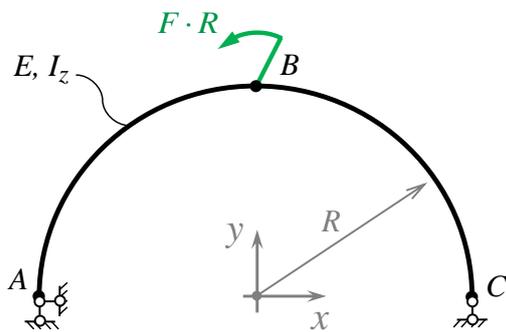


## K-07 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано:  $E, I_z, F, R$ .

Плоская круглая рама на шарнирных опорах. Нагружена сосредоточенным моментом.

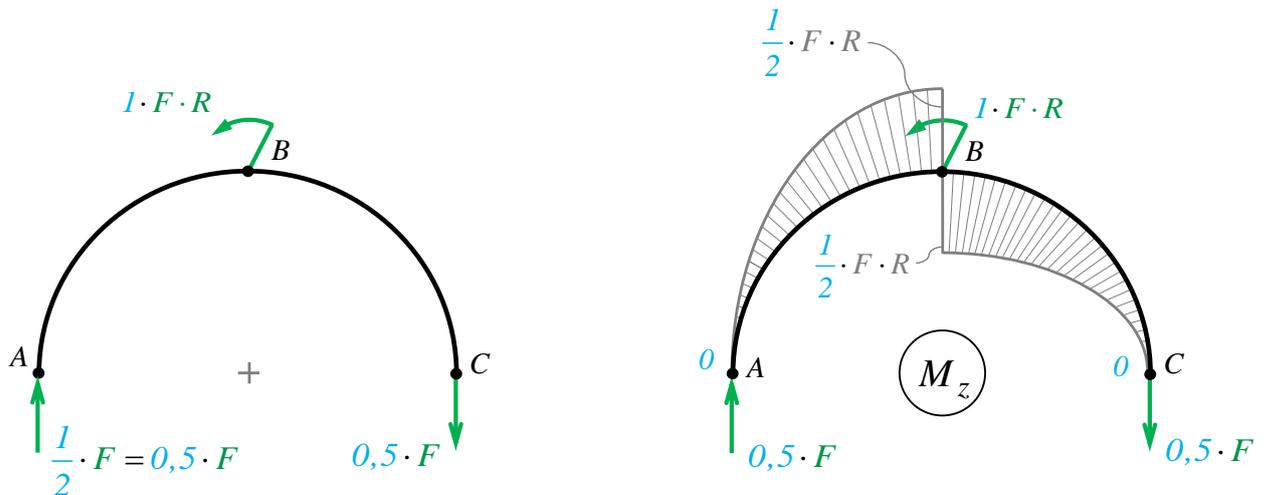
$E$  – модуль упругости материала;

$I_z$  – изгибный момент инерции.

Найти: 1) Эпюру внутреннего изгибающего момента  $M_z$ ;

2) Перемещения точки  $C$ : линейное  $u_c$  и угловое  $\theta_c$ .

Аналитический расчёт (см. [K-07](#)) даёт следующее решение:



а) Силовая схема;

б) Эпюра внутреннего изгибающего момента.

в) Перемещения точки  $C$ :

$$u_c = 0;$$

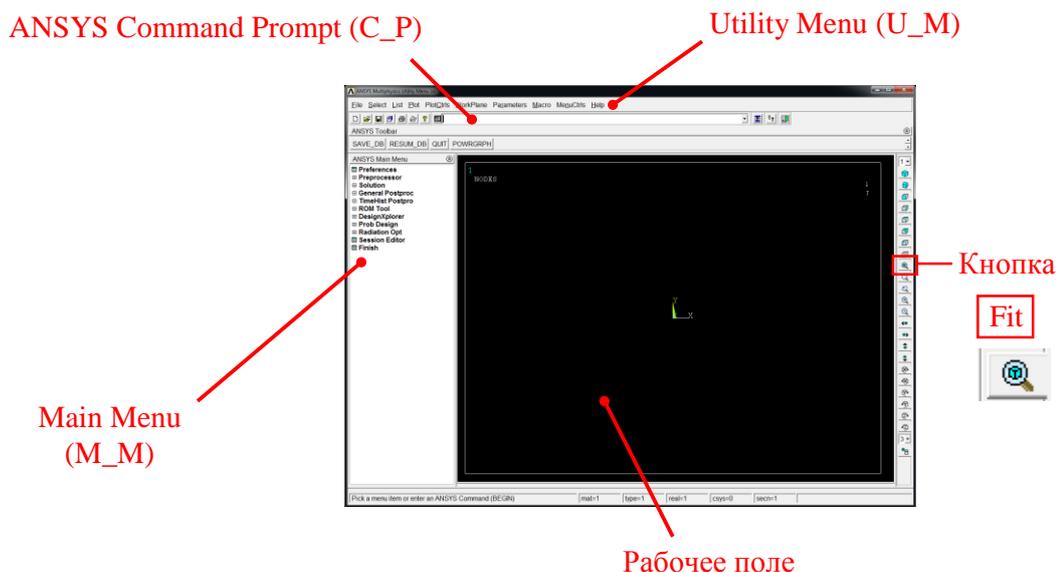
$$\theta_c = \frac{[8 - 2 \cdot \pi]}{16} \cdot \frac{F \cdot R^2}{E \cdot I_z} = 0,1073 \cdot \frac{F \cdot R^2}{E \cdot I_z} \quad (\text{по часовой стрелке}).$$

Рис.1.

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multyphysics получить этот же результат 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**.

Меняем чёрный цвет фона на белый следующими действиями:

```
U_M > PlotCtrls > Style > Colors > Reverse Video
```

В меню оставить только пункты, 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
```

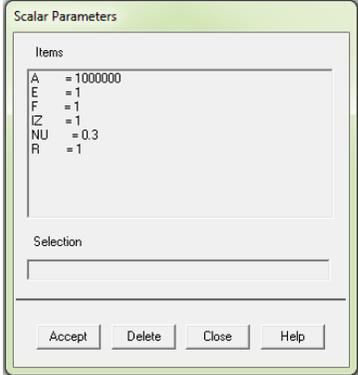
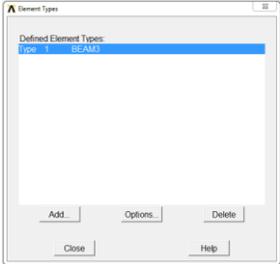
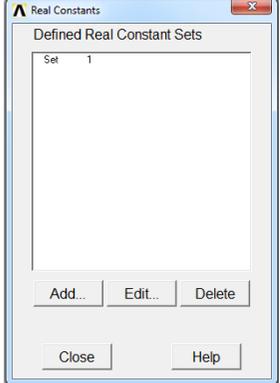
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```

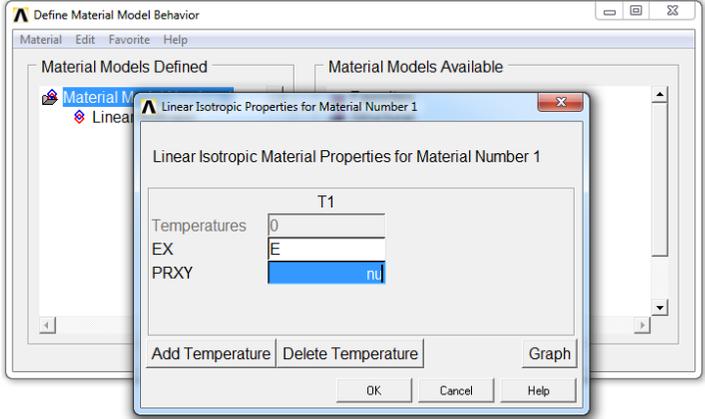
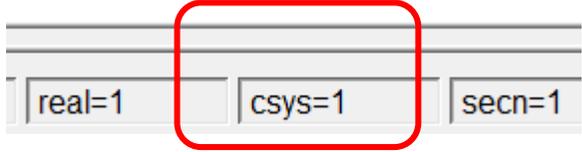
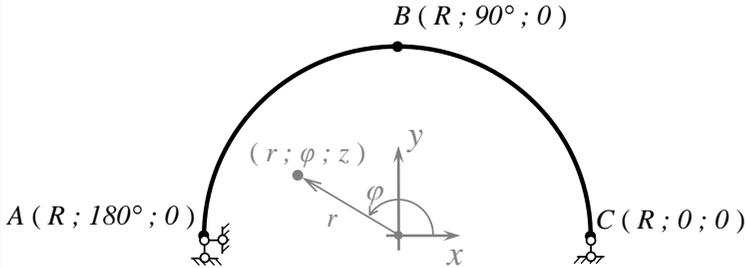
```
Установить «Размер» на «22»> OK
```

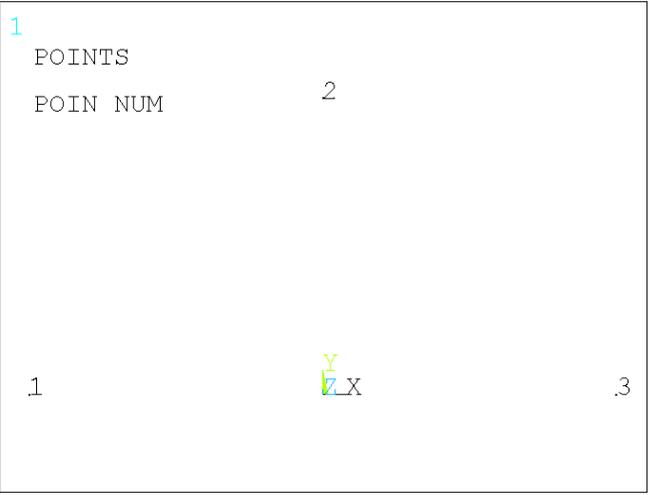
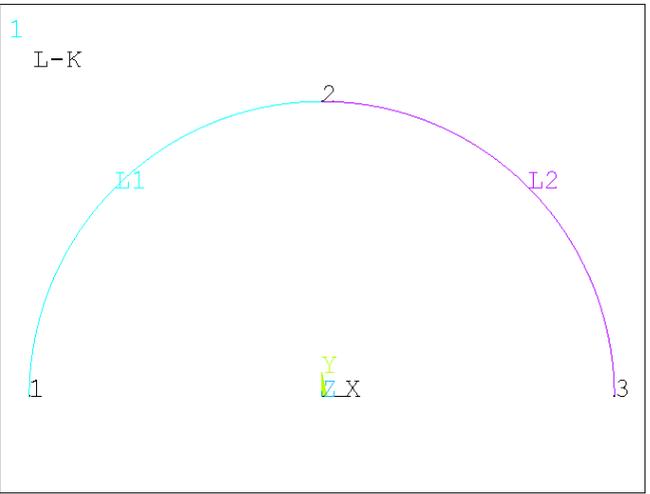
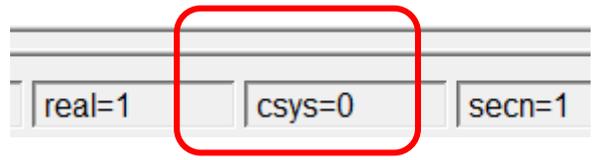
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

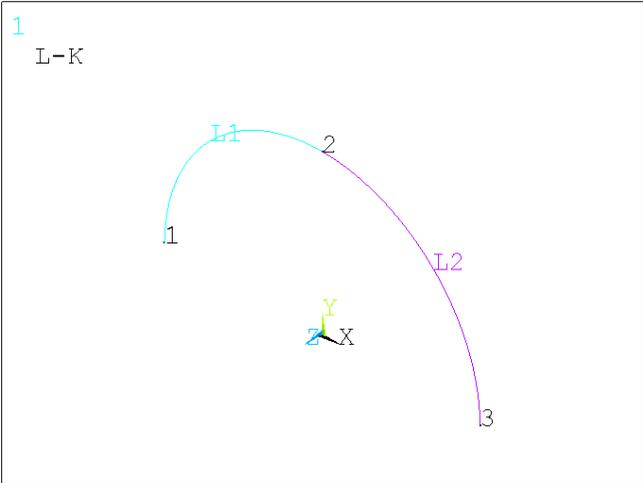
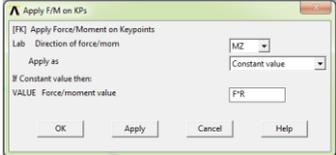
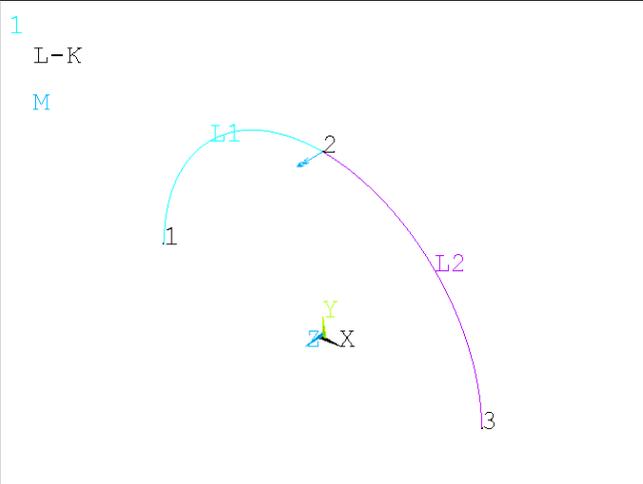
Решение задачи:

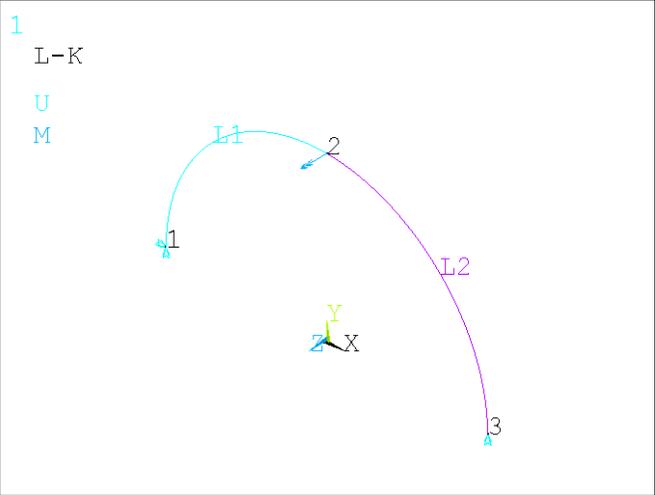
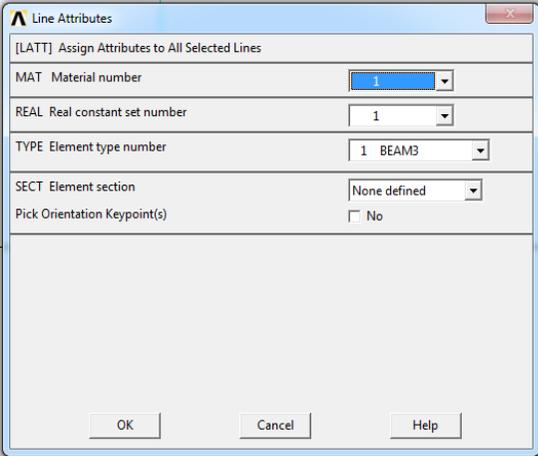
Приравняв  $E$ ,  $I_z$ ,  $F$  и  $l$  к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

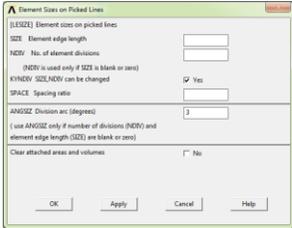
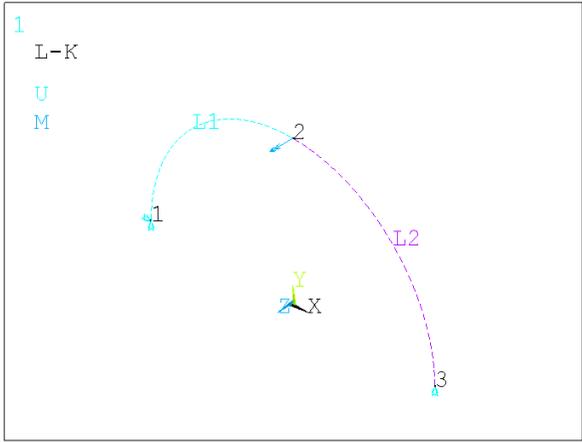
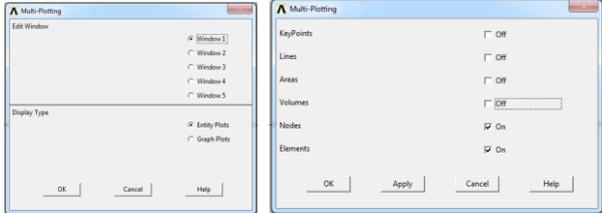
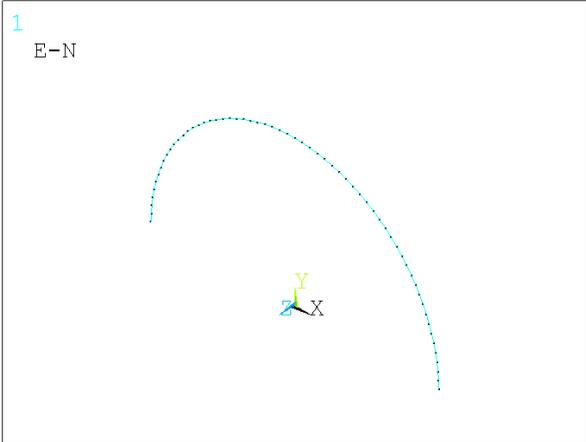
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;            E=1 &gt; Accept &gt;            A=1e6 &gt; Accept &gt;            Iz=1 &gt; Accept &gt;            F=1 &gt; Accept &gt;            R=1 &gt; Accept &gt;            nu=0.3 &gt; Accept &gt;            &gt; Close</p>	
2	<p><i>Первая строчка 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 строчка в таблице параметров («реальных констант») выбранного типа конечного элемента: площадь поперечного сечения = A; момент инерции = Iz; высота = R/100.</i></p> <p>C_P &gt; R, 1, A, Iz, R/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>	

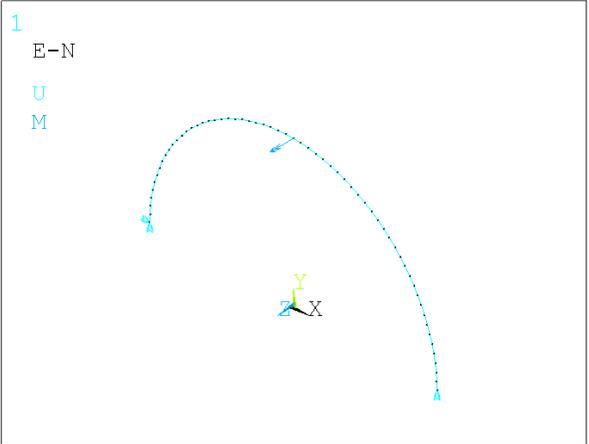
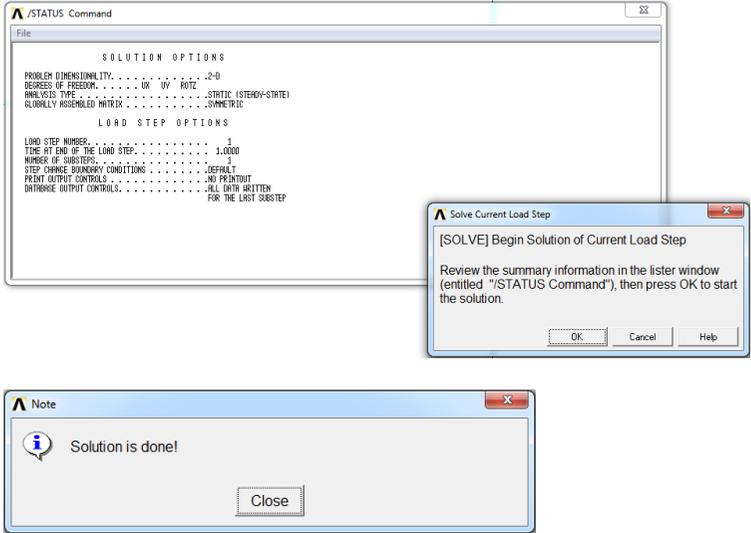
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Material Props &gt; Material Models &gt; Structural &gt; Linear &gt; Elastic &gt; Isotropic &gt;</p> <p>В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu"</p> <p>&gt; OK</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
<p><b>Твердотельное моделирование</b></p>		
5	<p><i>Активируем глобальную цилиндрическую систему координат:</i></p> <p>U_M &gt; WorkPlane &gt; Change Active CS to &gt; Global Cylindrical</p>	
6	<p><i>Координаты узлов рамы:</i></p> <p>Определяемся с положением рамы относительно глобальной цилиндрической системы координат.</p>	

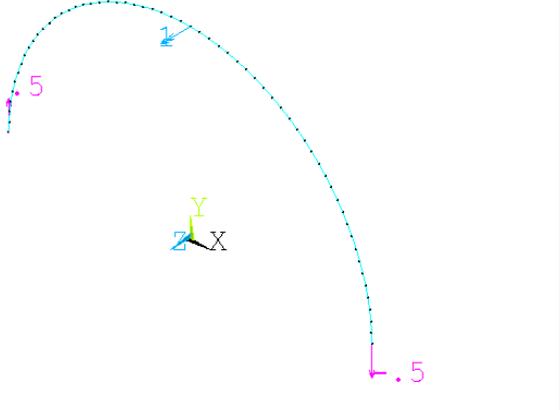
№	Действие	Результат
7	<p><i>Ключевые точки – границы участков: <math>A \rightarrow 1, B \rightarrow 2</math> и <math>C \rightarrow 3</math>:</i></p> <p>M_M&gt; Preprocessor&gt; Modeling&gt; Create&gt; Keypoints&gt; In Active CS&gt; NPT пишем 1  X, Y, Z пишем R, 180, 0 &gt; Apply &gt;  NPT пишем 2  X, Y, Z пишем R, 90, 0 &gt; Apply &gt;  NPT пишем 3  X, Y, Z пишем R, 0, 0 &gt; ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
8	<p><i>Два участка – две линии:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Lines &gt; Lines &gt; In Active Coord &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки:  1 и 2  2 и 3  &gt; ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
9	<p><i>Активируем глобальную декартову систему координат:</i></p> <p>U_M &gt; WorkPlane &gt; Change Active CS to &gt; Global Cartesian</p>	

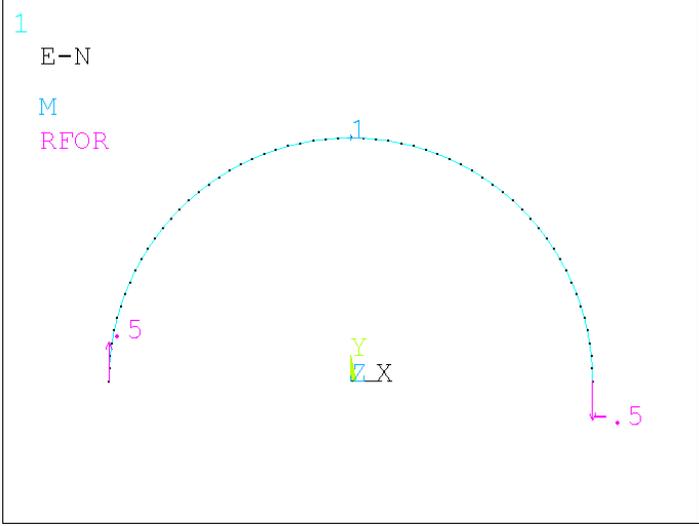
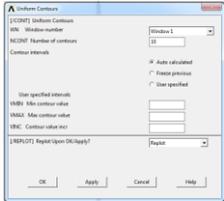
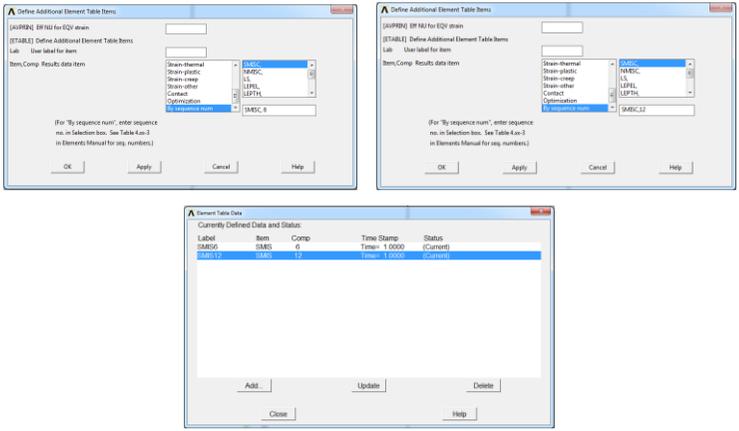
№	Действие	Результат
10	<p><i>Изометрия:</i></p> <p>До сих пор модели мы рассматривали, используя фронтальный вид («сбоку»). Вектор изгибающего момента при этом виден плохо, а его направление не определяется вовсе. Меняем угол зрения: справа от рабочего поля нажимаем кнопки</p> <p> - изометрия;</p> <p> - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).</p>	
11	<p><i>Внешний сосредоточенный момент:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Force/Moment &gt; On Keypoints &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 2 ключевую точку</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>Lab установить "MZ"</p> <p>VALUE пишем F*R</p> <p>&gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	

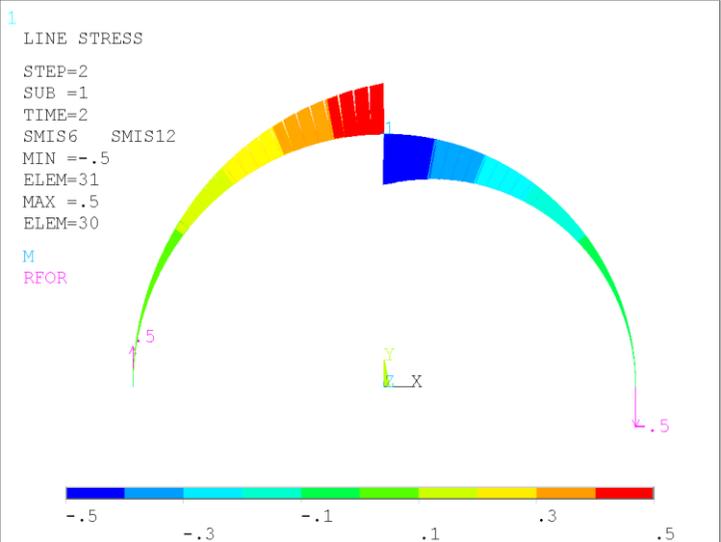
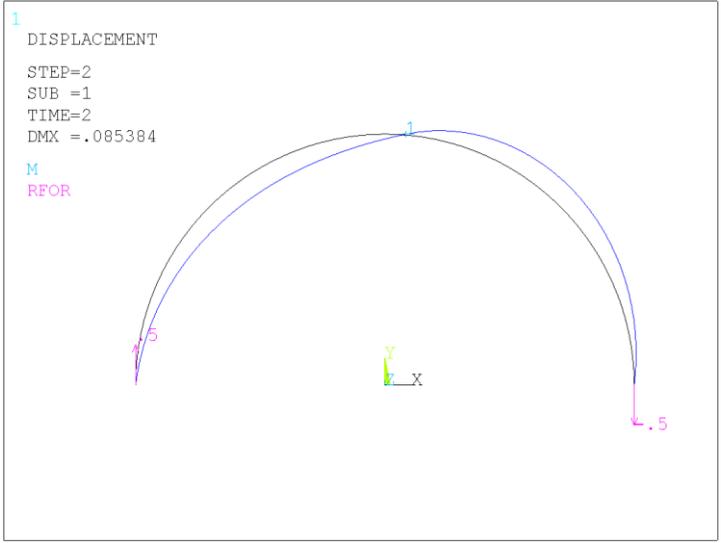
№	Действие	Результат
12	<p><i>Опоры в точках A и C:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Displacement &gt; On Keypoints &gt;             Left mouse button click on 1 keypoint &gt; OK &gt;             Lab2 check "UX" and "UY" &gt; Apply &gt;             Left mouse button click on 3 keypoint &gt; OK &gt;             Lab2 check "UY" &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
<b>Конечноэлементная модель</b>		
13	<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;             MAT set to "1" &lt;br&gt;           REAL set to "1" &lt;br&gt;           TYPE set to "1 BEAM3" &lt;br&gt;           &gt; OK</p>	

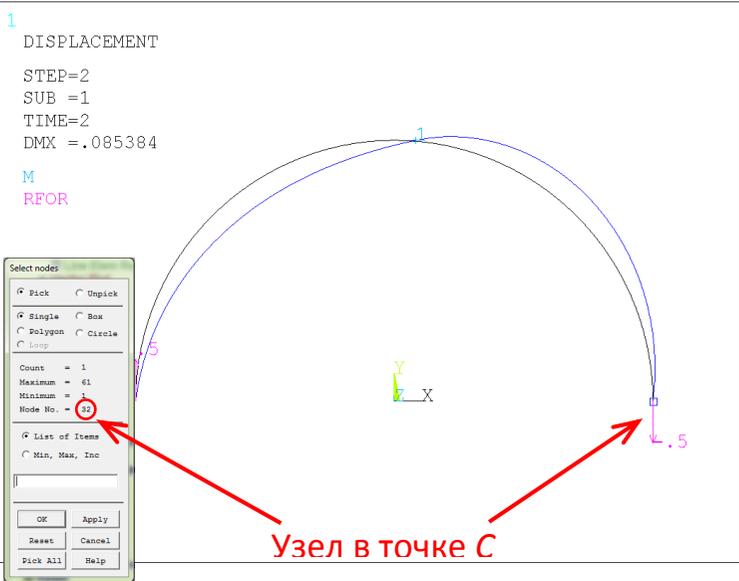
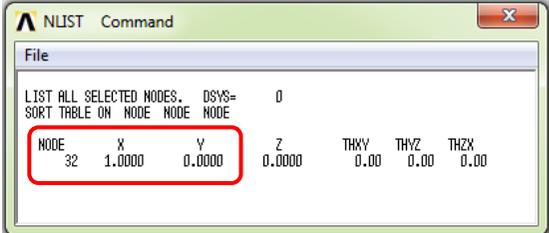
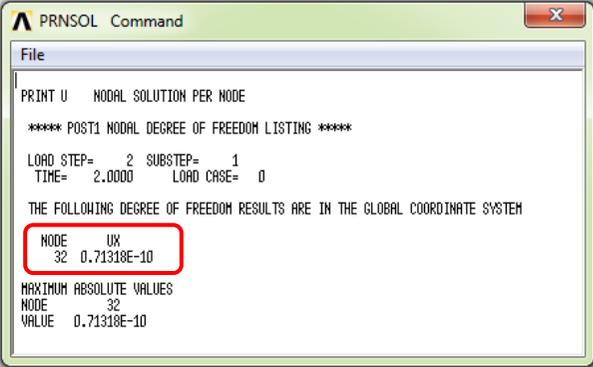
№	Действие	Результат
14	<p><i>Дуги следует разбивать на балочные конечные элементы, угловой размер которых не превышает 5°. Установим размер 3°:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Size Cntrls &gt; ManualSize &gt; Lines &gt; Picked Lines &gt; Pick All &gt; ANGSIZ пишем 1 &gt; OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	
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; OK &gt; Появляется второе окно Multi-Plotting &gt; Оставляем в нём отметки только напротив Nodes и Elements &gt; OK</p>	
16	<p><i>Разбиваем 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>	

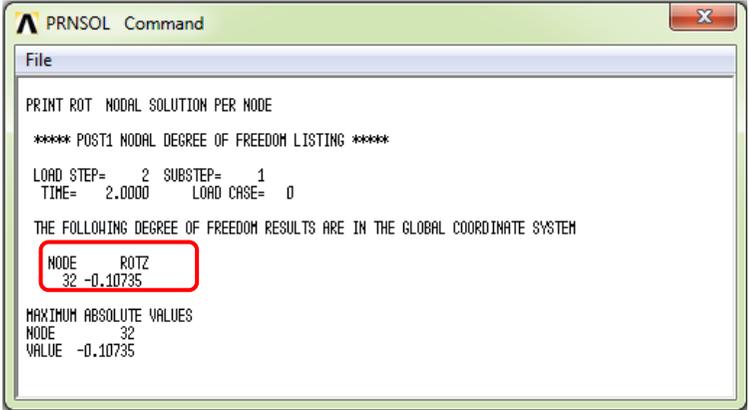
№	Действие	Результат
17	<p><i>Переносим на конечноэлементную модель нагрузки и закрепления с модели твердотельной:</i></p> <p>M_M &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Operate &gt; Transfer to FE &gt; All Solid Lds &gt; OK</p>	
<b>Расчёт</b>		
18	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M &gt; Solution &gt; Solve &gt; Current LS</p> <p>Синхронно появляются два окна: белое информационное и серое исполнительное. Белое закрываем, на сером нажимаем ОК.</p> <p>Расчёт пошёл.</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p> <p>Расчёт окончен.</p>	

№	Действие	Результат
<b>Просмотр результатов расчёта</b>		
<b>19</b>	<p><i>Силовая схема:</i></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 <i>рис. 1а</i>. (числа, выделенные синим цветом).</p> <p>В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Синим цветом начерчен вектор внешнего момента;</li> <li>- Малиновым цветом нарисованы реактивные силы.</li> </ul>	<div data-bbox="1370 624 2114 1182" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p>1</p> <p>E-N</p> <p>M</p> <p>RFOR</p>  </div>

№	Действие	Результат															
20	<p>Возвращаемся к фронтальному виду:</p>  - вид спереди;  - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).																
21	<p>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Contours &gt; Uniform Contours &gt; NCONT пишем 10</p> <p>&gt; OK</p>																
22	<p>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Add &gt; "By sequence num", "SMISC," , "6"</p> <p>&gt; Apply &gt;</p> <p>"By sequence num", "SMISC," , "12"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>&gt; Close</p> <p>Закрываем таблицу результатов:</p> <p>Close</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Label</th> <th>Item</th> <th>Comp</th> <th>Time Stamp</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SMISC,6</td> <td>SMISC</td> <td>6</td> <td>Time = 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMISC,12</td> <td>SMISC</td> <td>12</td> <td>Time = 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> </tbody> </table>	Label	Item	Comp	Time Stamp	Status	SMISC,6	SMISC	6	Time = 1.0000	(Current)	SMISC,12	SMISC	12	Time = 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status													
SMISC,6	SMISC	6	Time = 1.0000	(Current)													
SMISC,12	SMISC	12	Time = 1.0000	(Current)													

№	Действие	Результат
23	<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. 1б.</i> (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала.</p> <p>Можете рисунок эпюры сделать крупнее: коэффициент Fact установите 2 или 3.</p>	
24	<p><i>Форма деформированной упругой оси рамы под нагрузкой:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M &gt; Plot &gt; Replot M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; &gt; Deformed Shape &gt; KUND установить Def + undeformed &gt; OK</p> <p>Это точная форма изогнутой оси.</p> <p>Для наглядности увеличиваем масштаб:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Displacement Scaling &gt; DMULT устанавливаем "User specified"</p> <p>User specified factor увеличиваем вчетверо с 0.0438 до 0.17 &gt; OK</p> 	

№	Действие	Результат																																								
25	<p>Выделяем мышью узел конечноэлементной модели, соответствующий точке C:</p> <p>U_M &gt; Select &gt; Entities... &gt;  В окошке Select Entities установить "Nodes"  "By Num/Pick"  Точку селектора установить на «From Full»  &gt; OK &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши кликнуть на точку C на деформированной форме.  Кстати, при этом в окошке Select nodes припишется номер узла в этой точке «Node No. = 32»  &gt; OK</p> <p>Проверяем, действительно ли выделен узел с координатой X=R=1 и Y=0</p> <p>U_M &gt; List &gt; Nodes... &gt; OK</p> <p>Закрываем окно NLIST Command.</p>	 <p>1 DISPLACEMENT STEP=2 SUB =1 TIME=2 DMX =.085384</p> <p>M RFOR</p> <p>Узел в точке C</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>FILE</th> <th colspan="7"></th> </tr> <tr> <td colspan="8">LIST ALL SELECTED NODES. DSYS= 0</td> </tr> <tr> <td colspan="8">SORT TABLE ON NODE NODE NODE</td> </tr> <tr> <th>NODE</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th>THXY</th> <th>THYZ</th> <th>THXZ</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>32</td> <td>1.0000</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	FILE								LIST ALL SELECTED NODES. DSYS= 0								SORT TABLE ON NODE NODE NODE								NODE	X	Y	Z	THXY	THYZ	THXZ		32	1.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	
FILE																																										
LIST ALL SELECTED NODES. DSYS= 0																																										
SORT TABLE ON NODE NODE NODE																																										
NODE	X	Y	Z	THXY	THYZ	THXZ																																				
32	1.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00																																				
26	<p>Горизонтальное перемещения узла №32:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt;  Nodal Solution &gt; DOF Solution &gt; X-Component of displacement  &gt; OK</p> <p>Пропечаталась величина перемещения узла №32 вдоль оси X:</p> $UX = 0,713 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{F \cdot R^4}{E \cdot I_z} \approx 0$	 <p>PRNSOL Command</p> <p>File</p> <p>PRINT U NODAL SOLUTION PER NODE</p> <p>***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****</p> <p>LOAD STEP= 2 SUBSTEP= 1  TIME= 2.0000 LOAD CASE= 0</p> <p>THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>NODE</th> <th>UX</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>32</td> <td>0.71318E-10</td> </tr> </tbody> </table> <p>MAXIMUM ABSOLUTE VALUES  NODE 32  VALUE 0.71318E-10</p>	NODE	UX	32	0.71318E-10																																				
NODE	UX																																									
32	0.71318E-10																																									

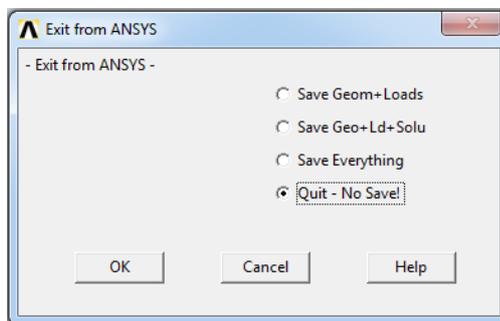
№	Действие	Результат
27	<p>Угловое перемещение узла №32:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt; Nodal Solution &gt; DOF Solution &gt; Z-Component of rotation &gt; &gt; OK</p> <p>Пропечаталась величина углового перемещения узла №32:</p> $ROTZ = \theta = -0,1074 \cdot \frac{F \cdot R^2}{E \cdot I_z} \quad (<0, \text{ то есть по часовой стрелке});$ <p>Расхождение с результатом аналитического расчёта (рис.1 г.) меньше 1%.</p>	 <pre> PRNSOL Command File PRINT ROT NODAL SOLUTION PER NODE **** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING **** LOAD STEP= 2 SUBSTEP= 1 TIME= 2.0000 LOAD CASE= 0 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM NODE ROTZ 32 -0.10735 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 32 VALUE -0.10735 </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.