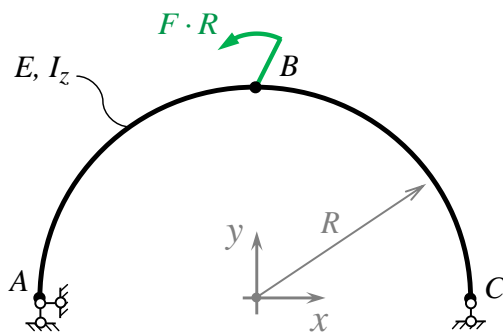


K-07 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: E, I_z, F, R .

Плоская круглая рама на шарнирных опорах. Нагружена сосредоточенным моментом.

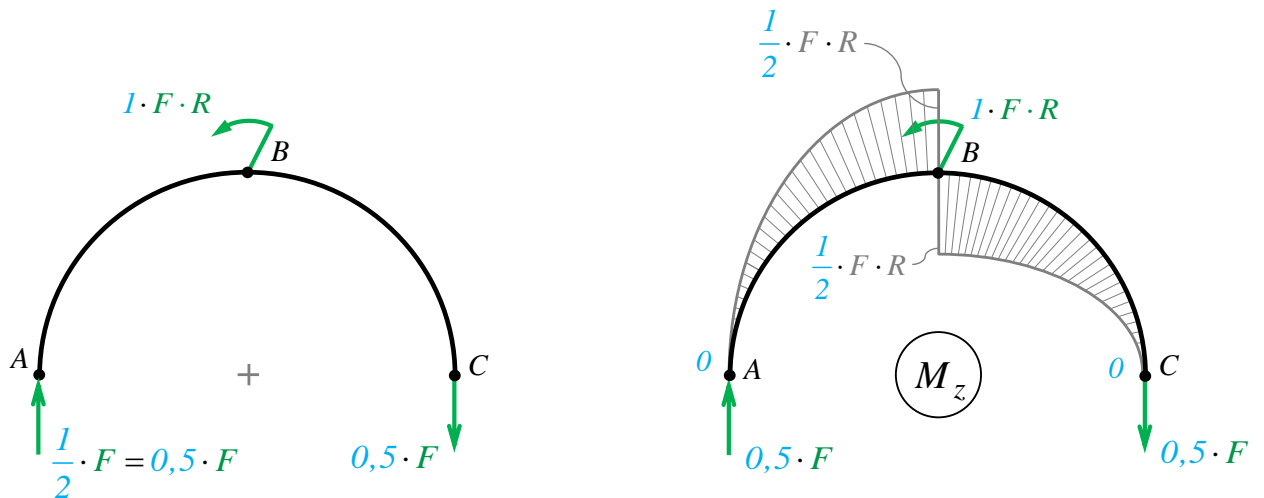
E – модуль упругости материала;

I_z – изгибный момент инерции.

Найти: 1) Эпюру внутреннего изгибающего момента M_z ;

2) Перемещения точки C : линейное u_c и угловое θ_c .

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



а) Силовая схема;

б) Эпюра внутреннего изгибающего момента.

в) Перемещения точки C :

$$u_c = 0;$$

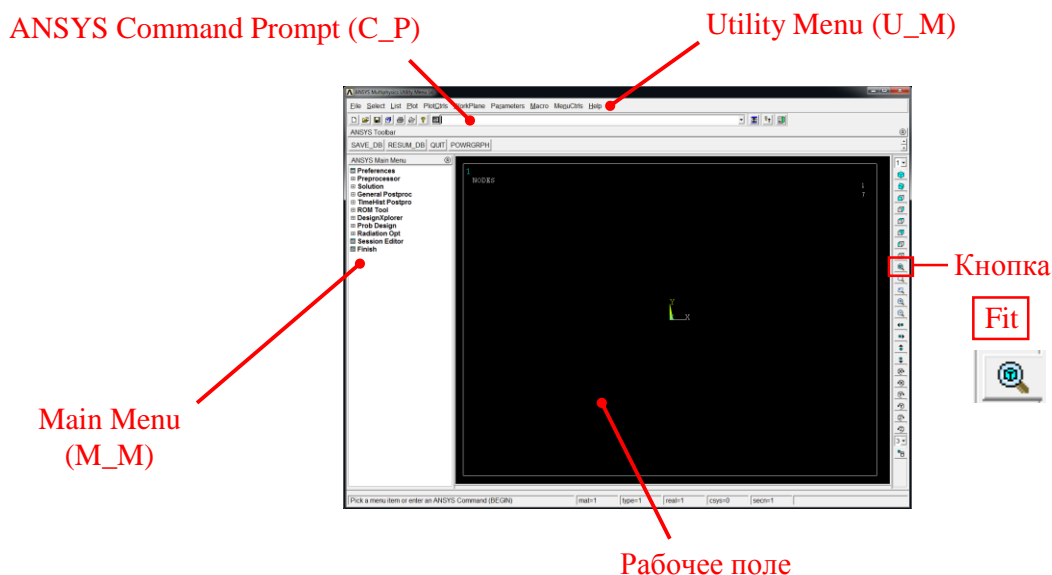
$$\theta_c = \frac{[8 - 2 \cdot \pi]}{16} \cdot \frac{F \cdot R^2}{E \cdot I_z} = 0,1073 \cdot \frac{F \cdot R^2}{E \cdot I_z} \quad (\text{по часовой стрелке}).$$

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
```

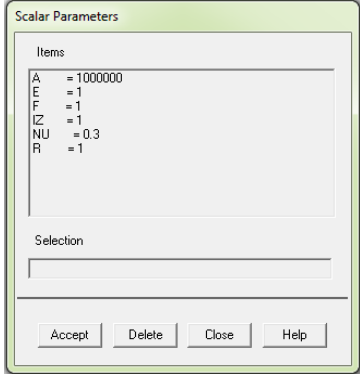
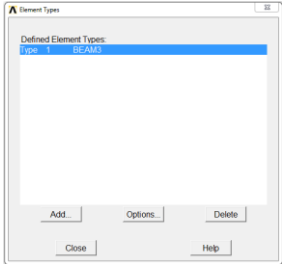
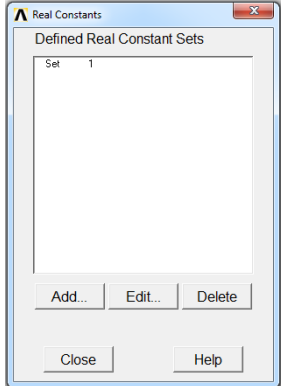
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```

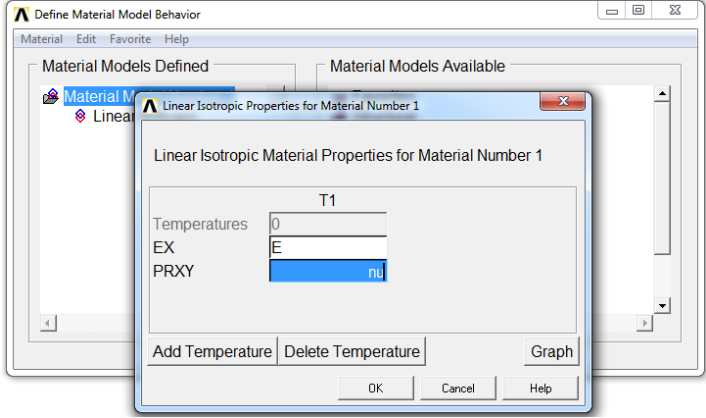
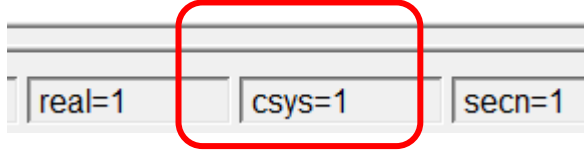
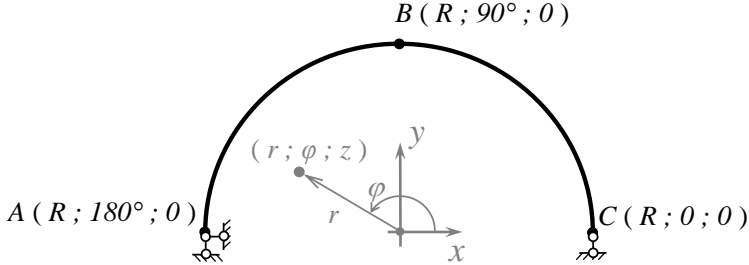
```
Установить «Размер» на «22»> OK
```

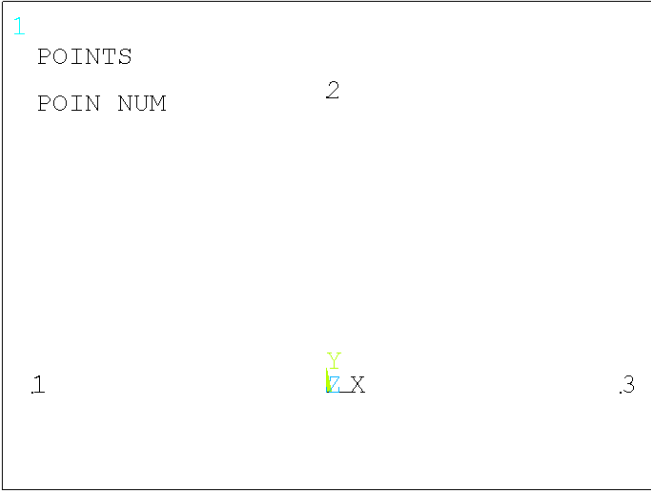
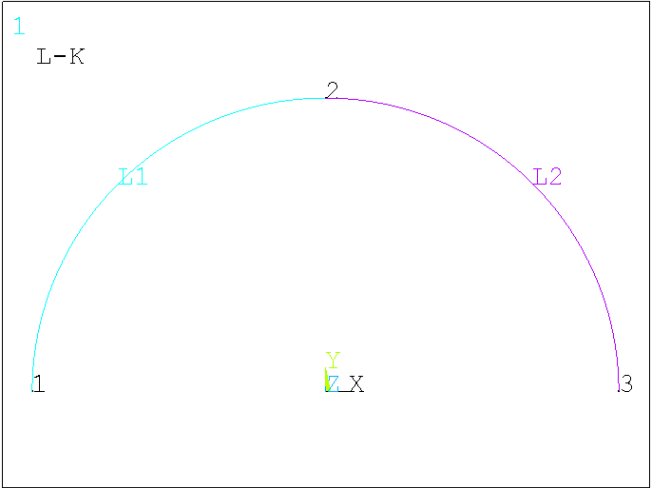
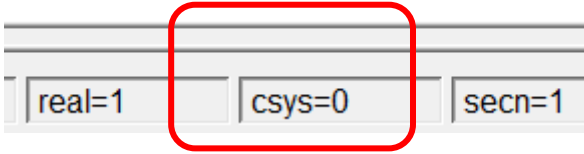
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.



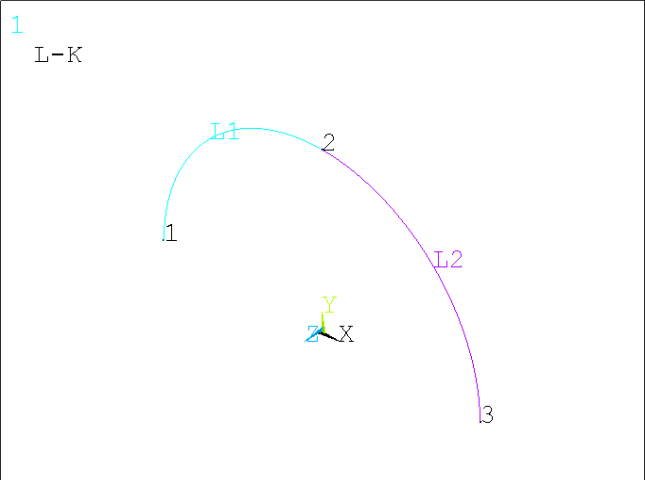
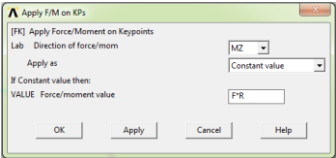
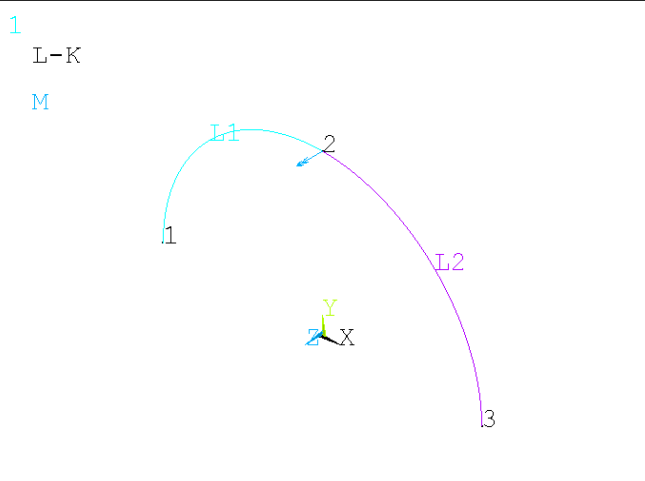
Решение задачи:

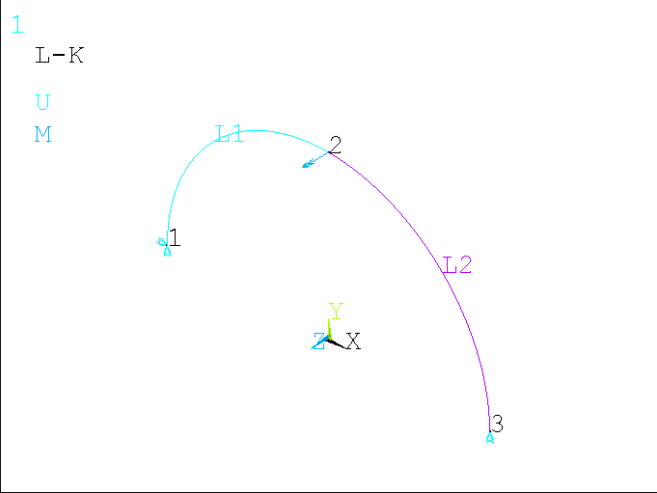
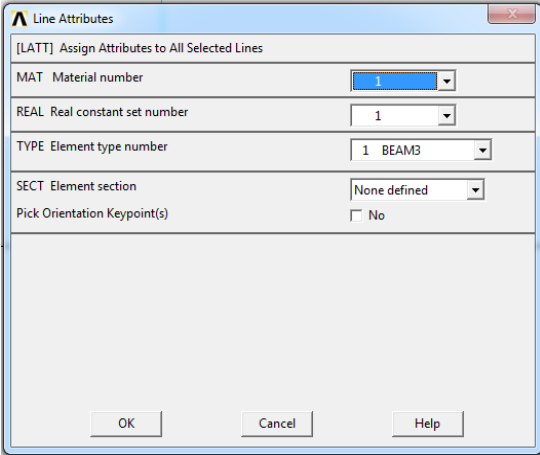
Приравняв E , I_z , F и l к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

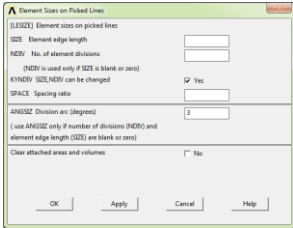
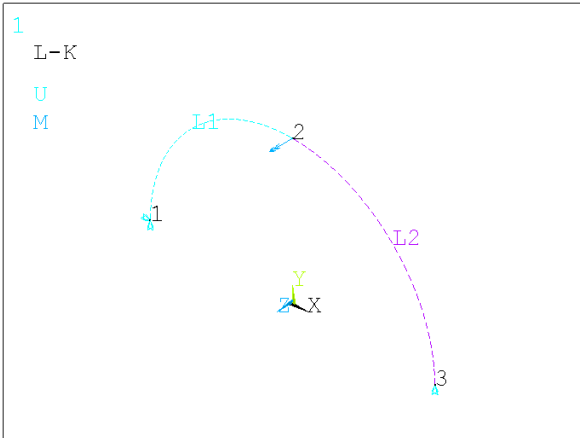
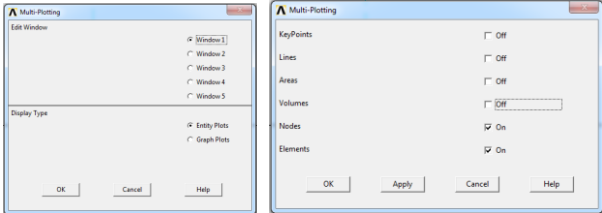
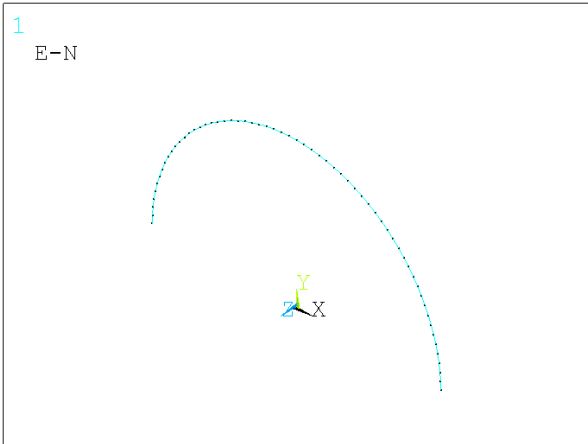
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters > E=1 > Accept > A=1e6 > Accept > Iz=1 > Accept > F=1 > Accept > R=1 > Accept > nu=0.3 > Accept > > Close</p>	
2	<p><i>Первая строчка в таблице конечных элементов – плоский балочный тип BEAM3:</i></p> <p>M_M > Preprocessor C_P > ET, 1, BEAM3 > Enter</p> <p>Посмотрим таблицу конечных элементов: M_M > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > 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 > R, 1, A, Iz, R/100 > Enter</p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант: M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Close</p>	

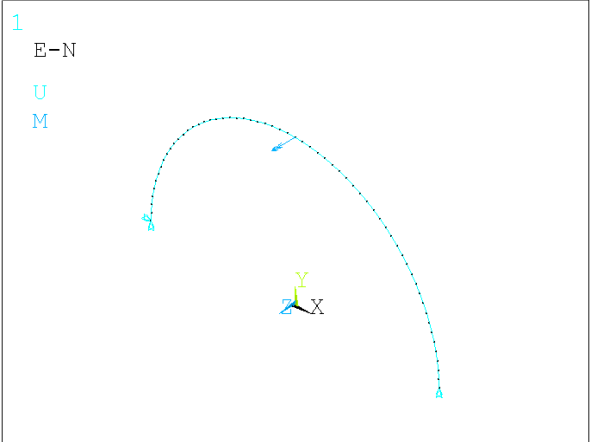
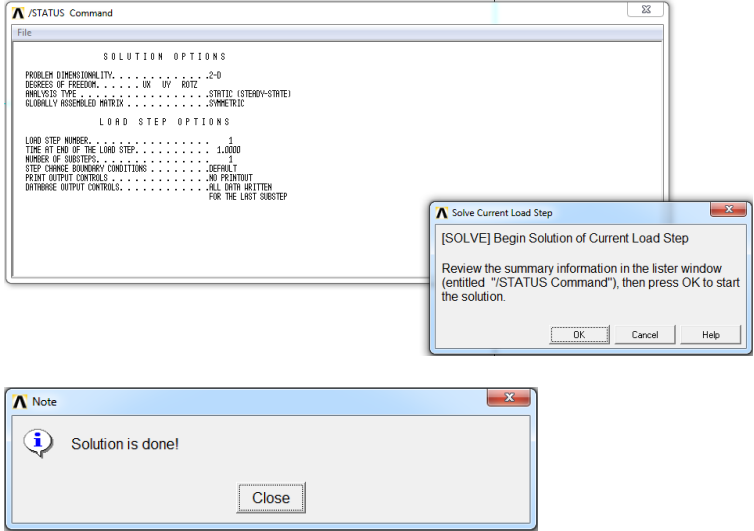
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic ></p> <p>В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu"</p> <p>> OK</p> <p>Закрываем окно «Define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



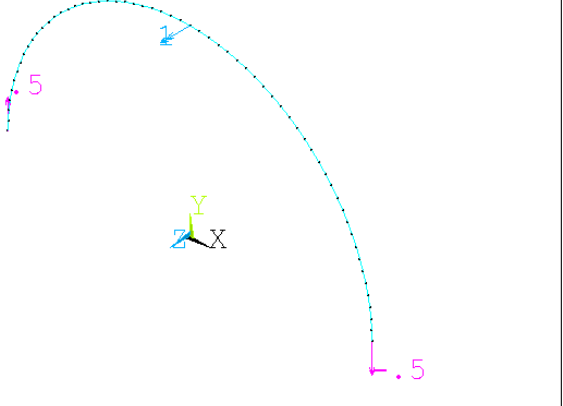
№	Действие	Результат
7	<p><i>Ключевые точки – границы участков: $A \rightarrow 1, B \rightarrow 2$ и $C \rightarrow 3$:</i></p> <p>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Keypoints> In Active CS> NPT пишем 1 X, Y, Z пишем R, 180, 0 > Apply > NPT пишем 2 X, Y, Z пишем R, 90, 0 > Apply > NPT пишем 3 X, Y,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



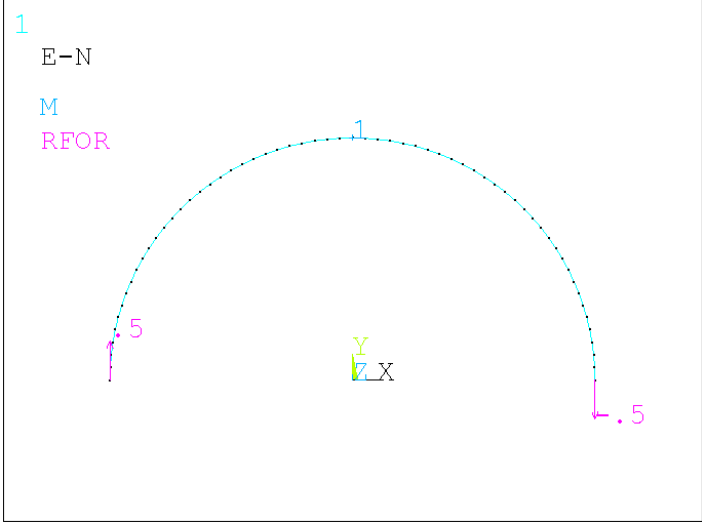
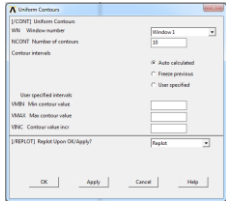
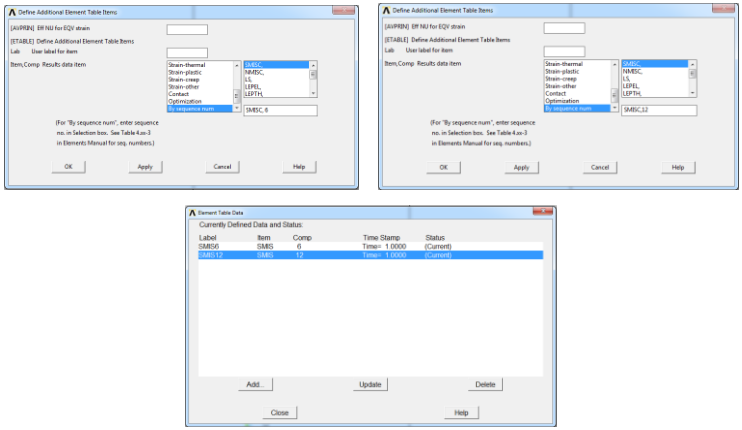
№	Действие	Результат
10	<p><i>Изометрия:</i></p> <p>До сих пор модели мы рассматривали, используя фронтальный вид («сбоку»). Вектор изгибающего момента при этом виден плохо, а его направление не определяется вовсе. Меняем угол зрения: справа от рабочего поля нажимаем кнопки</p> <p> - изометрия;</p> 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

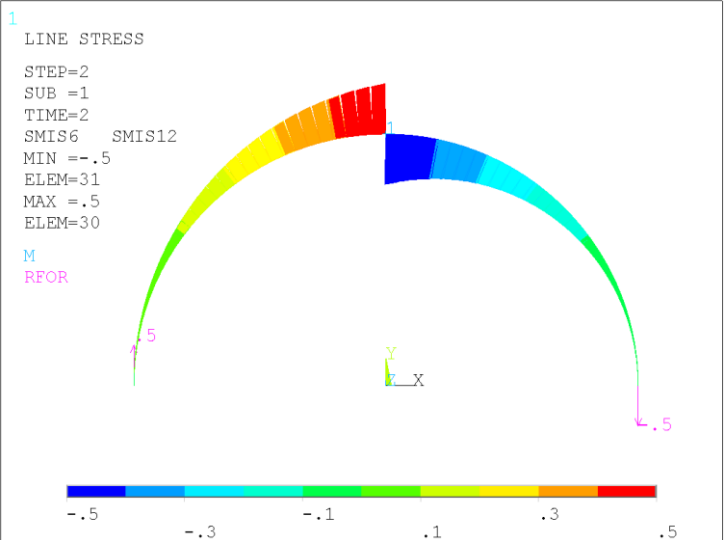
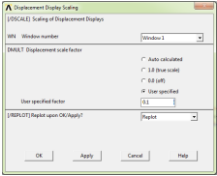

№	Действие	Результат
12	<p><i>Опоры в точках A и C:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints > Left mouse button click on 1 keypoint > OK > Lab2 check "UX" and "UY" > Apply > Left mouse button click on 3 keypoint > OK > Lab2 check "UY" > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
Конечноэлементная модель		
13	<p><i>Указываем материал, реальные константы и тип элементов:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Lines > MAT set to "1"
 REAL set to "1"
 TYPE set to "1 BEAM3"
 > OK</p>	

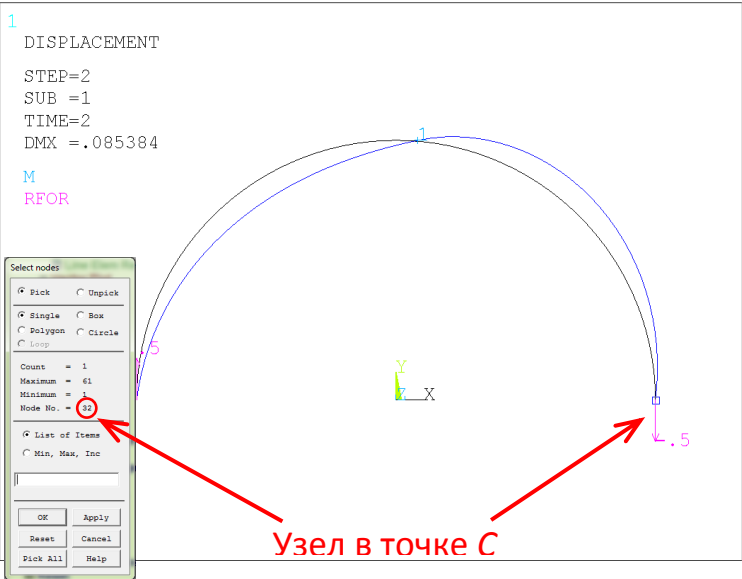
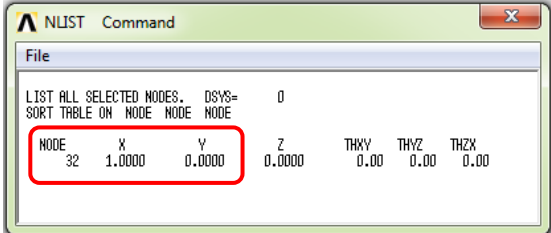
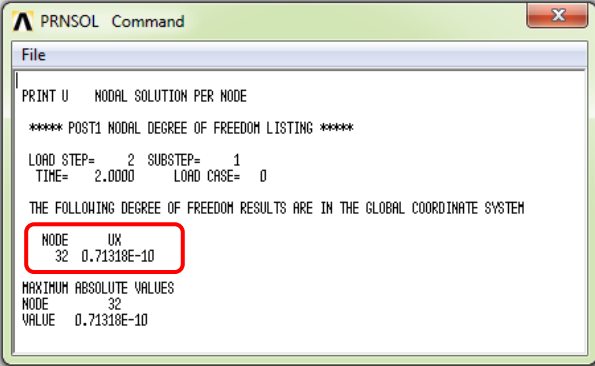
№	Действие	Результат
14	<p><i>Дуги следует разбивать на балочные конечные элементы, угловой размер которых не превышает 5°. Установим размер 3°:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Lines > Picked Lines > Pick All > ANGSIZ пишем 1 > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p> 	
15	<p><i>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Multi-Plot Controls... > Появляется первое окно Multi-Plotting > OK > Появляется второе окно Multi-Plotting > Оставляем в нём отметки только напротив Nodes и Elements > OK</p>	
16	<p><i>Разбиваем линии на элементы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Pick All</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Бирюзовым цветом изображены балочные элементы. Чёрные точки – это их узлы.</p>	

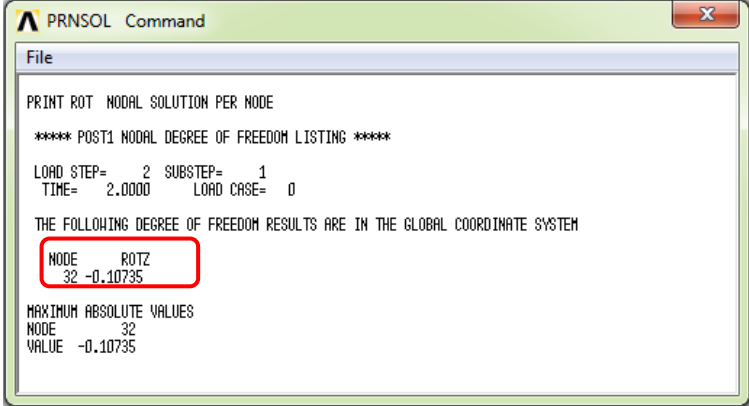
№	Действие	Результат
17	<p><i>Переносим на конечноэлементную модель нагрузки и закрепления с модели твердотельной:</i></p> <p>M_M > Loads > Define Loads > Operate > Transfer to FE > All Solid Lds > OK</p>	
Расчёт		
18	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS</p> <p>Синхронно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

№	Действие	Результат
Просмотр результатов расчёта		
19	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/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>> OK ></p> <p>В окне "Applied Boundary Conditions"</p> <p>U установить "Off"</p> <p>Rot установить "Off"</p> <p>F установить "Symbol+Value"</p> <p>M установить "Symbol+Value"</p> <p>> OK ></p> <p>В окне "Reactions"</p> <p>NFOR установить "Off"</p> <p>NMOM установить "Off"</p> <p>RFOR установить "Symbol+Value"</p> <p>RMOM установить "Symbol+Value"</p> <p>> OK ></p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > 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"> - Синим цветом начерчен вектор внешнего момента; - Малиновым цветом нарисованы реактивные силы. 	<div data-bbox="1370 625 2123 1184" 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 > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10</p> <p>> OK</p>	
22	<p>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента:</p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "6"</p> <p>> Apply ></p> <p>"By sequence num", "SMISC,", "12"</p> <p>> OK ></p> <p>> Close</p> <p>Закрываем таблицу результатов:</p> <p>Close</p>	

№	Действие	Результат
23	<p><i>Прорисовка эпюры внутреннего изгибающего момента:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > LabI установить "SMIS6" LabJ установить "SMIS12" Fact пишем 1 > 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 > Plot > Replot M_M > General Postproc > Plot Results > > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > OK</p> <p>Это точная форма изогнутой оси.</p> <p>Для наглядности увеличиваем масштаб:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Displacement Scaling > DMULT устанавливаем "User specified"</p> <p>User specified factor увеличиваем вчетверо с 0.0438 до 0.17 > OK</p> 	

№	Действие	Результат																																								
25	<p>Выделяем мышью узел конечноэлементной модели, соответствующий точке C:</p> <p>U_M > Select > Entities... > В окошке Select Entities установить "Nodes" "By Num/Pick" Точку селектора установить на «From Full» > OK ></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» > OK</p> <p>Проверяем, действительно ли выделен узел с координатой X=R=1 и Y=0</p> <p>U_M > List > Nodes... > 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>DISP</th> <th>ROT</th> <th>TEMP</th> <th>PLATE</th> <th>PLATE</th> <th>PLATE</th> <th>PLATE</th> </tr> <tr> <th>LIST ALL SELECTED NODES.</th> <th>DSYS=</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> <tr> <th>SORT TABLE ON</th> <th>NODE</th> <th>NODE</th> <th>NODE</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NODE</td> <td>X</td> <td>Y</td> <td>Z</td> <td>THXY</td> <td>THYZ</td> <td>THZX</td> <td></td> </tr> <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	DISP	ROT	TEMP	PLATE	PLATE	PLATE	PLATE	LIST ALL SELECTED NODES.	DSYS=							SORT TABLE ON	NODE	NODE	NODE					NODE	X	Y	Z	THXY	THYZ	THZX		32	1.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	
FILE	DISP	ROT	TEMP	PLATE	PLATE	PLATE	PLATE																																			
LIST ALL SELECTED NODES.	DSYS=																																									
SORT TABLE ON	NODE	NODE	NODE																																							
NODE	X	Y	Z	THXY	THYZ	THZX																																				
32	1.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00																																				
26	<p>Горизонтальное перемещения узла №32:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > X-Component of displacement > 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																																									

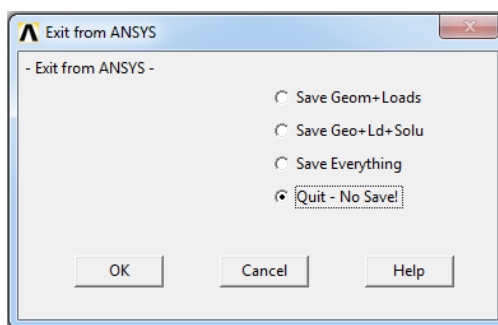
№	Действие	Результат
27	<p>Угловое перемещение узла №32:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Z-Component of rotation > > OK</p> <p>Пропечаталась величина углового перемещения узла №32:</p> $ROTZ = \theta = -0,1074 \cdot \frac{F \cdot R^2}{E \cdot I_z} \quad (<0, \text{ то есть по часовой стрелке});$ <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.