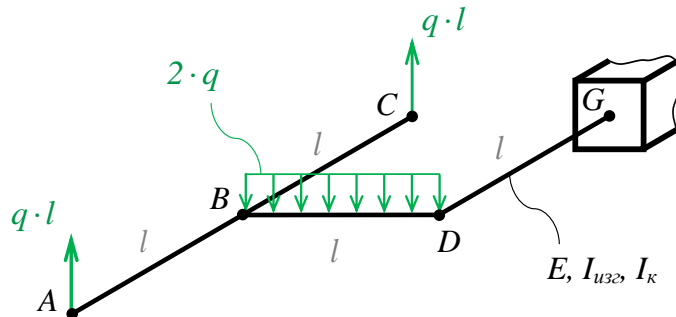


## N-03 (ANSYS)

Формулировка задачи:

Дано:  $E, q, l, I_{uz2}, I_k, \nu=0,25$  .



Консольная многосвязная  
плоскопространственная рама  
из стержней постоянного  
поперечного сечения,  
наружена двумя  
сосредоточенными силами и  
одной распределённой.

*Найти:* Построить эпюры внутреннего изгибающего  $M_z$  и внутреннего  
крутящего  $M_{кр}$  моментов в поперечных сечениях стержней рамы.

Аналитический расчёт (см. [N-03](#)) даёт следующие решения:

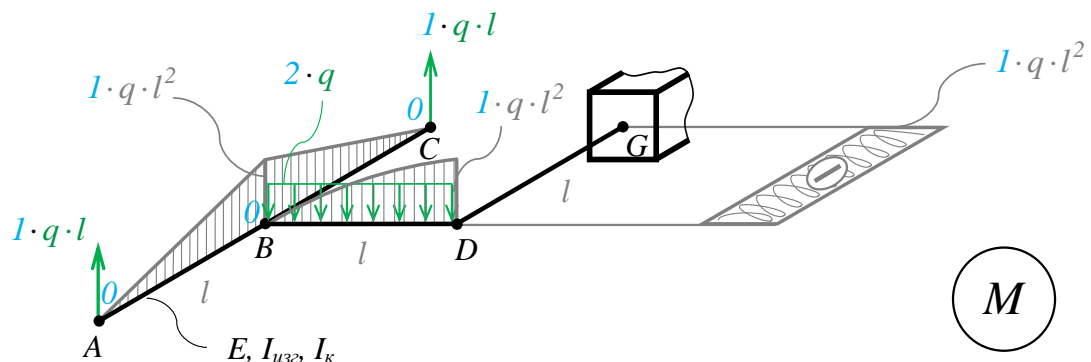
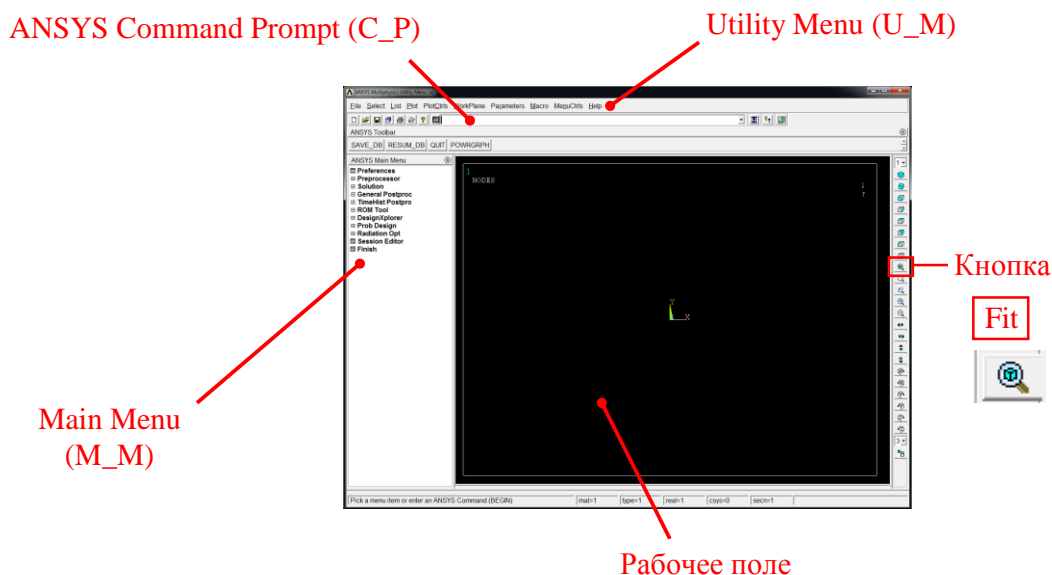


Рис.1.

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multiphysics 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, 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 >
```

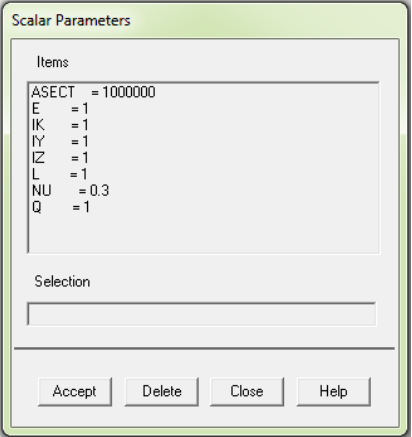
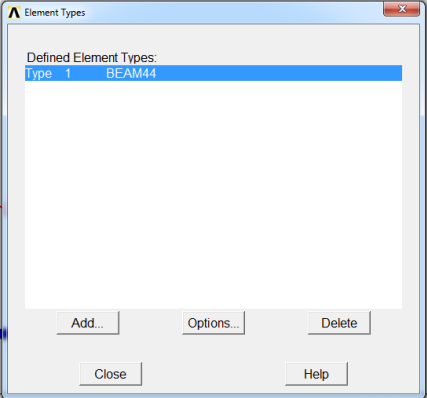
```
Установить «Размер» на «22»> OK
```

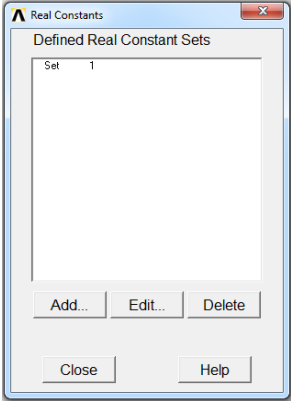
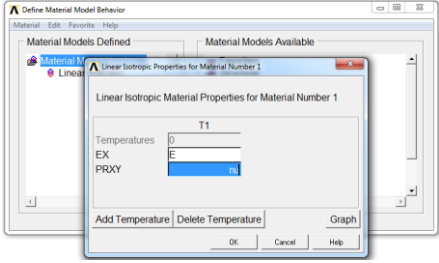
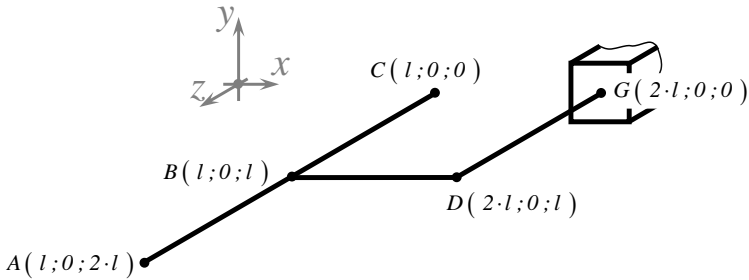
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.



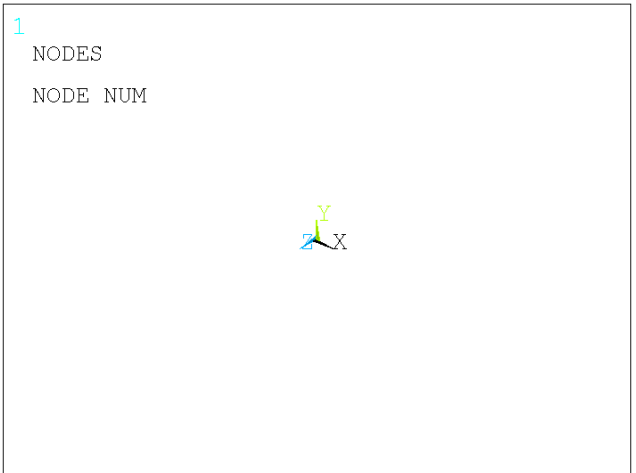

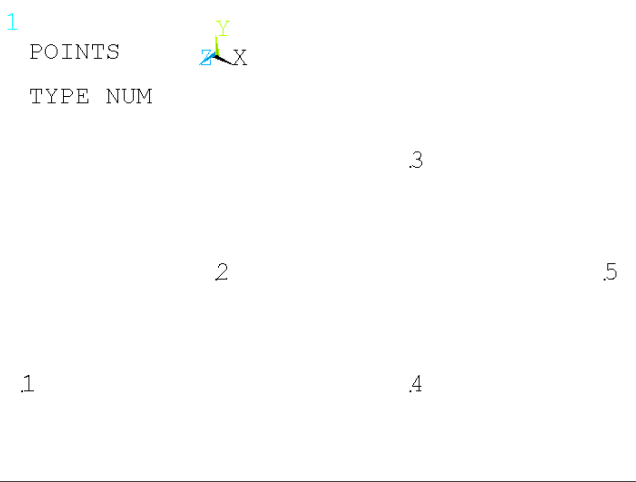
Решение задачи:

Параметрам задачи, входящим в формулы ( $q$  и  $l$ ) присваиваем значение  $1$ . Тогда результатами расчёта будут коэффициенты перед формулами (рис. 1., синим цветом).

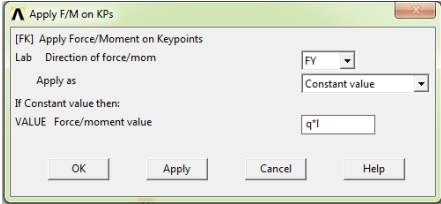
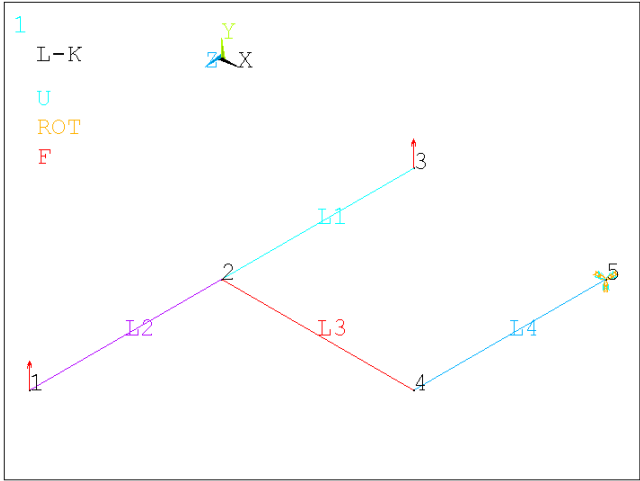
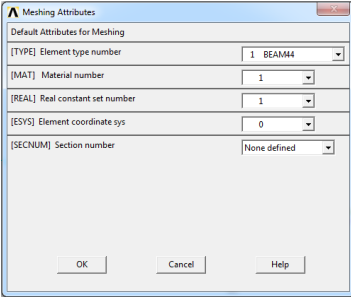
Параметры  $E$ ,  $A$ ,  $I_{yz}$  (относительно обеих поперечных осей элемента  $y$  и  $z$ )  $I_{xp}$  и  $\nu$  на результат не влияют, но формально должны быть заданы положительными. Например, тоже единицами.

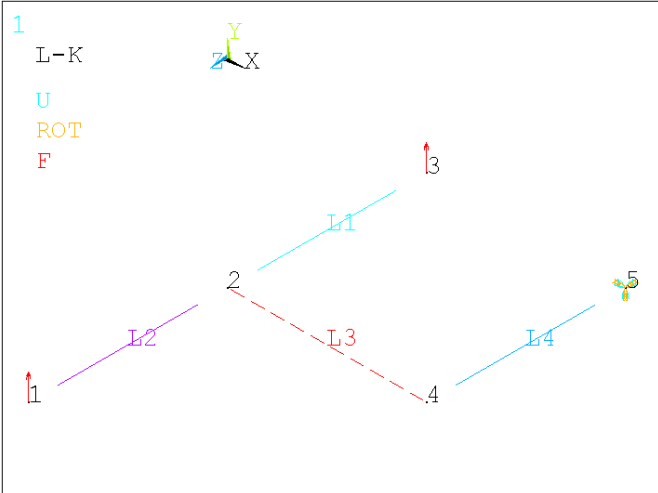
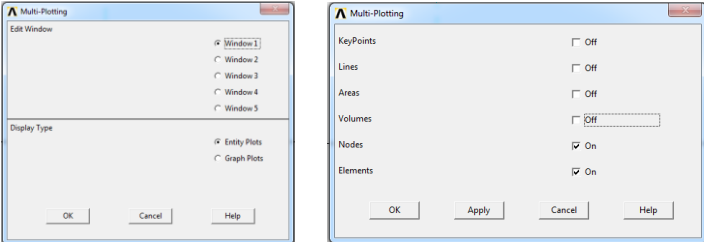
№	Действие	Результат
1	<p>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;</p> <p>q=1 &gt; Accept &gt;</p> <p>l=1 &gt; Accept &gt;</p> <p>E=1 &gt; Accept &gt;</p> <p>ASect =1e6 &gt; Accept &gt;</p> <p>Iz=1 &gt; Accept &gt;</p> <p>Iy=1 &gt; Accept &gt;</p> <p>Ik=1 &gt; Accept &gt;</p> <p>nu=0.25 &gt; Accept &gt;</p> <p>&gt; Close</p>	
2	<p>Первая строка в таблице конечных элементов – балочный тип BEAM44:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor</p> <p>C_P &gt; ET, 1, BEAM44 &gt; <b>Enter</b></p> <p>Посмотрим таблицу конечных элементов:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Element Type &gt; Add/Edit/Delete &gt; Close</p>	

№	Действие	Результат
3	<p><i>Реальные константы для элемента BEAM44:</i></p> <p>C_P &gt; R,1,ASect,Iz,Iy,L/100,L/100,Ik &gt; <b>Enter</b></p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Real Constants &gt; Add/Edit/Delete &gt; Close</p>	
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; ОК</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
<b>Основная система. Трёхмерное моделирование:</b>		
5	<p><i>Координаты узлов рамы:</i></p> <p>Создаём трёхмерную модель в плоскости x-z.</p> <p>Определяемся с положением узлов рамы относительно глобальной декартовой системы координат.</p>	

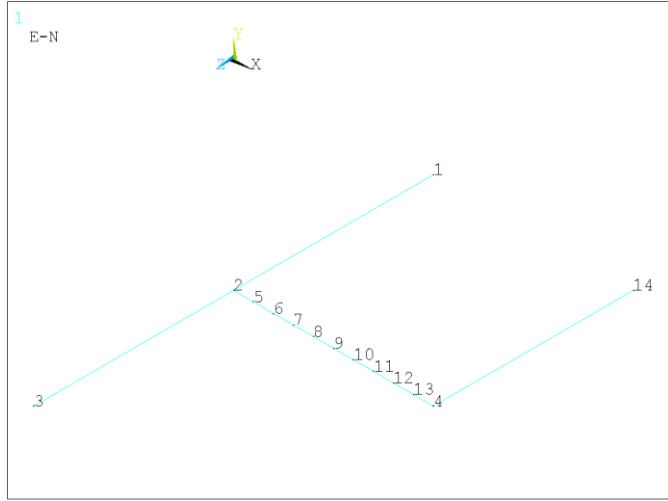
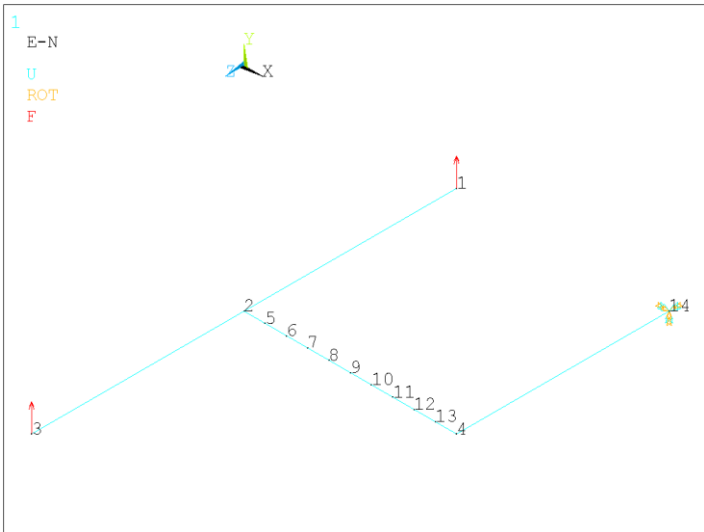
№	Действие	Результат
6	<p><i>Изометрия:</i></p>  - изометрия;  - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).	
7	<p><i>Ключевые точки A→1, B→2, C→3, D→4 и G→5:</i></p> <p>M_M&gt; Preprocessor&gt; Modeling&gt; Create&gt; Keypoints&gt; In Active CS&gt;  NPT пишем 1  X,Y,Z пишем 1,0,2*l &gt; Apply &gt;  NPT пишем 2  X,Y,Z пишем 1,0,l &gt; Apply &gt;  NPT пишем 3  X,Y,Z пишем 1,0,0 &gt; Apply &gt;  NPT пишем 4  X,Y,Z пишем 2*l,0,l &gt; Apply &gt;  NPT пишем 5  X,Y,Z пишем 2*l,0,0 &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:  U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>  - автоформат.	

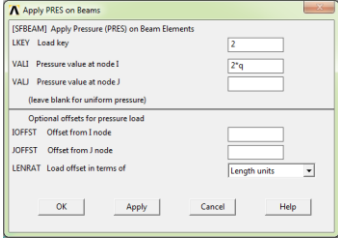
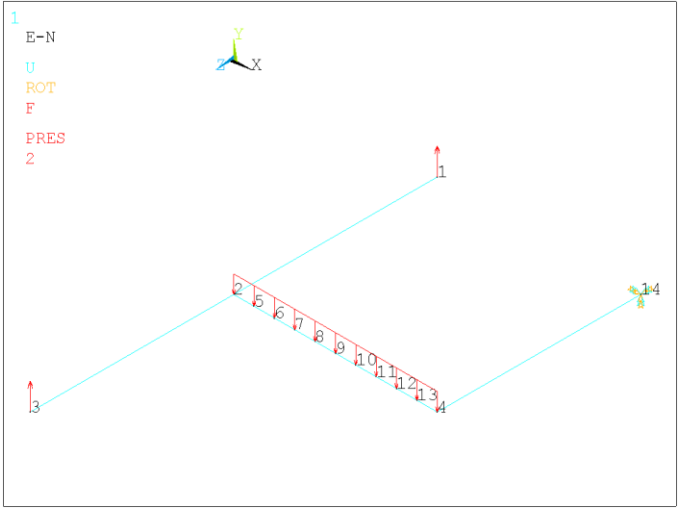
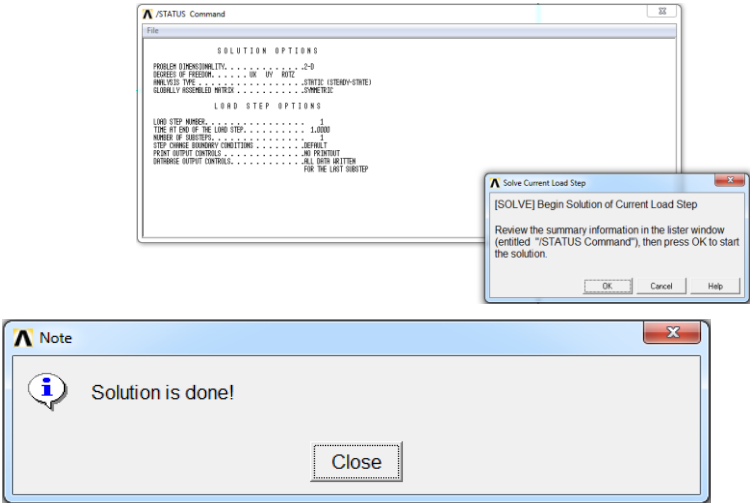
№	Действие	Результат
8	<p><i>Оси стержней рамы:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Lines &gt; Lines &gt; Straight Line &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки:  3 и 2  2 и 1  2 и 4  5 и 4  &gt; ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:  U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
9	<p><i>Заделка в точке G:</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 5 ключевую точку  &gt; ОК &gt;</p> <p>Lab2 установить "All DOF"  &gt; ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:  U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	



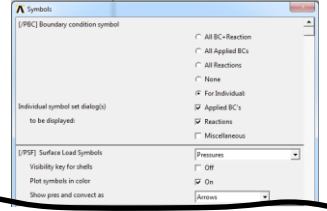
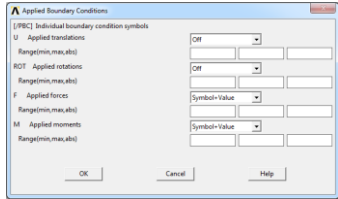
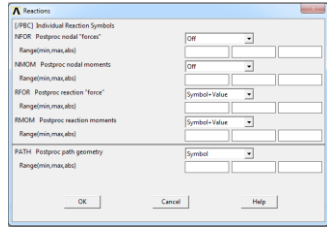
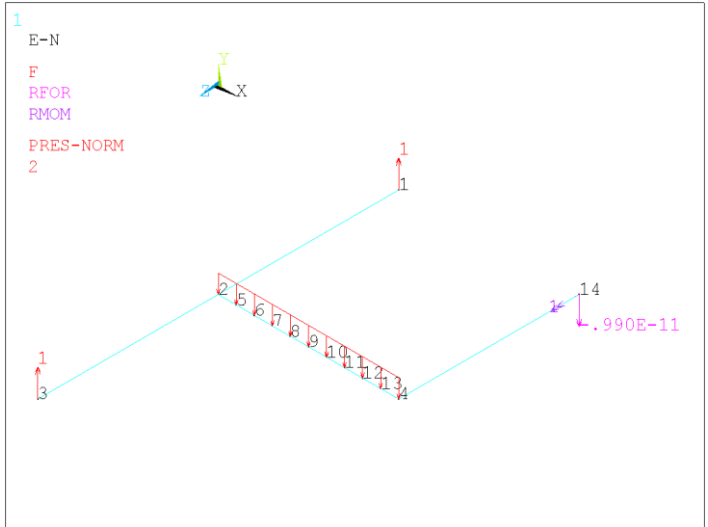
№	Действие	Результат
10	<p><i>Сосредоточенные силы:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Force/Moment &gt; On Keypoints &gt;             Left mouse button click on 1 and 3 keypoint points            &gt; OK &gt;            Lab установить "FY"            VALU пишем q*1            &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:            U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	
<b>Конечноэлементная модель основной системы.</b>		
11	<p><i>Указываем материал, тип элементов и номер поперечного сечения:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh Attributes &gt; All Lines &gt;            [TYPE] установить "1 BEAM44"            [MAT] установить "1"            [REAL] установить "1"            &gt; OK</p>	



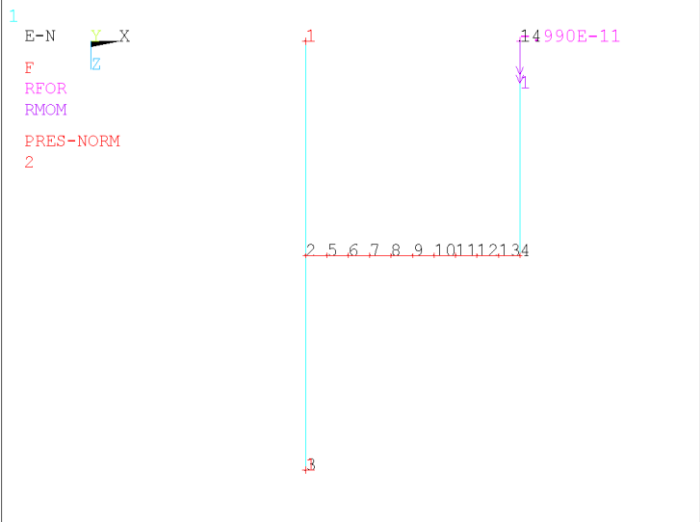
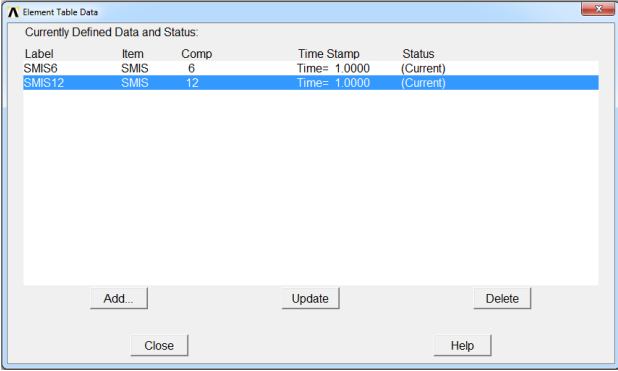
№	Действие	Результат
12	<p><i>Размер элементов:</i></p> <p>Линия L3 нагружена распределённой поперечной силой, её нужно разбить несколькими (например, десятью) конечными элементами; остальные линии без распределённых нагрузок можно бить одним конечным элементом:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Size Cntrl &gt; ManualSize &gt; Lines &gt; Picked Lines &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши кликаем на линию L3 &gt; OK NDIV пишем 10 &gt; Apply &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши кликаем на линии L1, L2 и L4 &gt; OK &gt; NDIV пишем 1 &gt; OK</p> <p><i>Обновляем изображение:</i> U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
13	<p><i>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Multi-Plot Controls... &gt;</p> <p>Появляется первое окно Multi-Plotting &gt; OK &gt;</p> <p>Появляется второе окно Multi-Plotting &gt;</p> <p>Оставляем в нём отметки только напротив Nodes и Elements &gt; OK</p>	

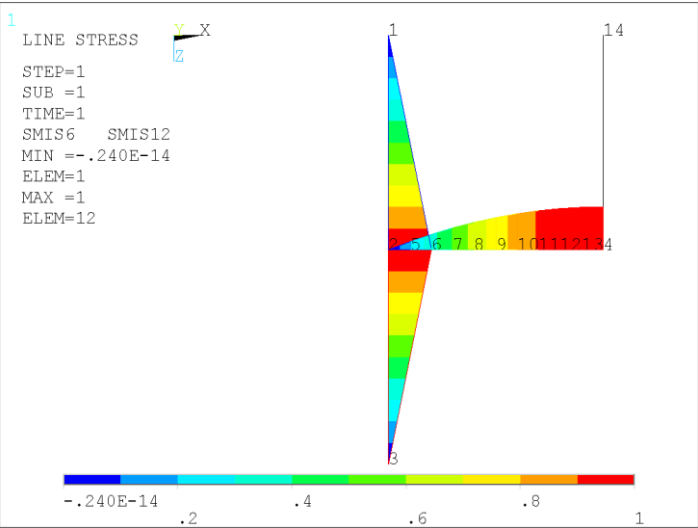
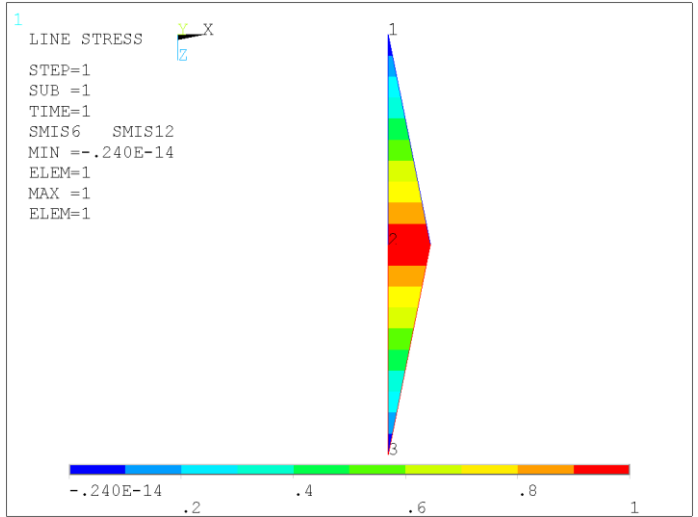


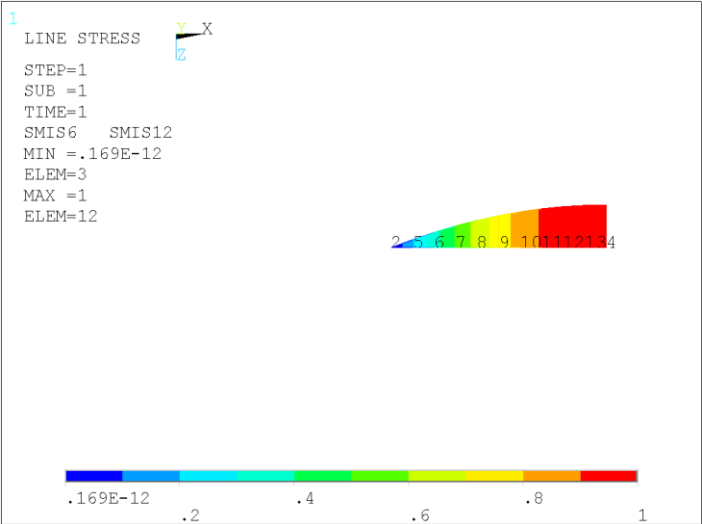
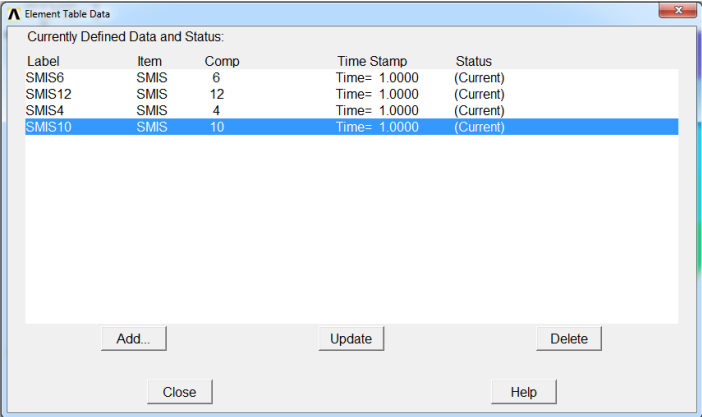
<p><b>14</b></p>	<p><i>Рабиваем линии на элементы:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh &gt; Lines &gt; Pick All</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
<p><b>15</b></p>	<p><i>Переносим на конечноэлементную модель нагрузки и закрепления с модели твердотельной:</i></p> <p>M_M &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Operate &gt; Transfer to FE &gt; All Solid Lds &gt; OK</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

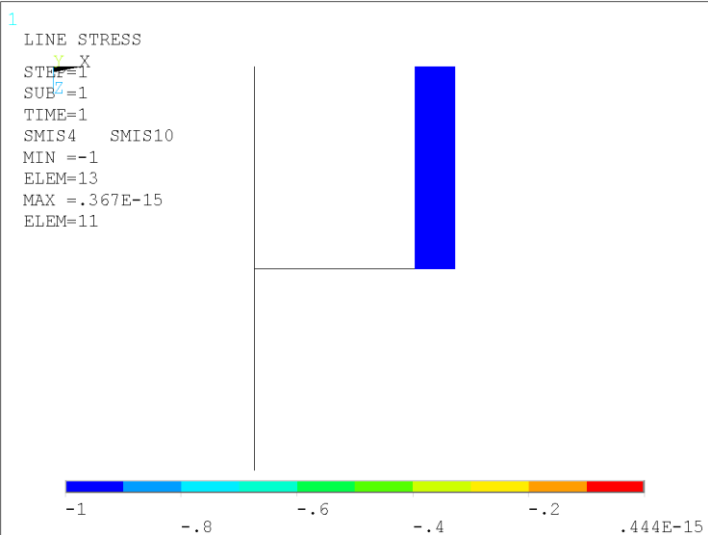
№	Действие	Результат
16	<p><i>Распределённая нагрузка <math>\cdot 2 \cdot q</math>:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Pressure &gt; On Beams &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши отмечаем 10 элементов поперечины &gt; Apply &gt;</p> <p>LKEY пишем 2</p> <p>VAL1 пишем <math>2 \cdot q</math></p> <p>&gt; OK</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	
<b>Расчёт</b>		
17	<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.</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p> <p>Расчёт окончен.</p>	

№	Действие	Результат
18	<p>Силовая схема:</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>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>&gt; OK &gt;</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>&gt; OK &gt;</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Elements</p> <p>При необходимости корректируйте масштаб кнопками  или .</p> <p>Реакции в заделке хорошо согласуются со значением внутренних моментов в точке D на <i>рис. 1</i>.</p> <p>В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Красным цветом начерчены внешние силы (сосредоточенные и распределённые);</li> <li>- Фиолетовым цветом начерчен вектор реактивного момента;</li> <li>- Малиновым цветом нарисована реактивная сила.</li> </ul>	   

№	Действие	Результат
19	<p>Вид сверху:</p>  - вид сверху;  - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).	
20	<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 &gt; OK</p>	
21	<p>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента Мизг:</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: M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Close</p>	

№	Действие	Результат
22	<p><i>Прорисовка эпюры Мизг:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Contour Plot &gt; Line Elem Res &gt; LabI установить "SMIS6" &gt; LabJ установить "SMIS12" &gt; 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>	
23	<p><i>Эпюра на левых конечных элементах:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M &gt; Plot &gt; Replot</p> <p>Выделяем нужные конечные элементы:</p> <p>U_M &gt; Select &gt; Entities &gt; Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick"</p> <p>Селектор на "From Full"</p> <p>&gt; OK</p> <p>Кликаем левой кнопкой мыши на конечные элементы с узлами 1-2 и 2-3</p> <p>&gt; OK</p> <p>Прорисовываем: U_M &gt; Plot &gt; Replot</p> <p>Видим часть общей эпюры на выделенном элементе. Значение показывают MIN и MAX.</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M &gt; Select &gt; Everything</p>	

№	Действие	Результат
24	<p><i>Эпюра на центральных конечных элементах:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M &gt; Plot &gt; Replot</p> <p>Выделяем нужные конечные элементы:</p> <p>U_M &gt; Select &gt; Entities &gt;</p> <p>Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick"</p> <p>Селектор на "From Full"</p> <p>&gt; OK</p> <p>Кликаем левой кнопкой мыши на десять конечных элементов между узлами 2 и 4</p> <p>&gt; OK</p> <p>Прорисовываем: U_M &gt; Plot &gt; Replot</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M &gt; Select &gt; Everything</p>	
25	<p><i>Составление эпюры внутреннего крутящего момента Mкр:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Add &gt;</p> <p>"By sequence num", "SMISC,", "4"</p> <p>&gt; Apply &gt;</p> <p>"By sequence num", "SMISC,", "10"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>&gt; Close</p> <p>Смотрим таблицу результатов:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Close</p>	

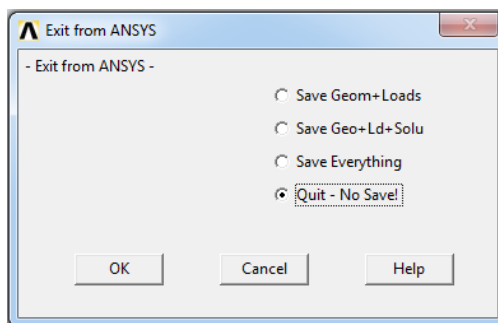
№	Действие	Результат
26	<p><i>Прорисовка этюры Мкр:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Contour Plot &gt;            Line Elem Res &gt;            LabI установить "SMIS4"            LabJ установить "SMIS10"            Fact пишем 1            &gt; ОК</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1</i>. (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала.</p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEI=1 SUB=1 TIME=1 SMIS4 SMIS10 MIN=-1 ELEM=13 MAX=-.367E-15 ELEM=11 </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.