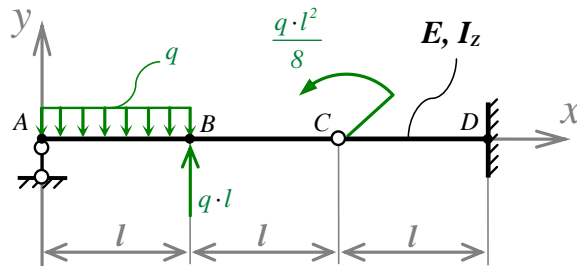


F-08 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: Балка постоянной жёсткости с врезанным шарниром; шарнирная опора на левом краю, заделка на правом; нагружена силой $q \cdot l$, распределённой нагрузкой q и моментом $q \cdot l^2/8$.

E – модуль упругости материала;

I_z – изгибный момент инерции.

Построить: Эпюру внутренней перерезывающей силы Q_y ;

Эпюру внутреннего изгибающего момента M_z .

Аналитический расчёт (см. [F-08](#)) даёт следующие решения:

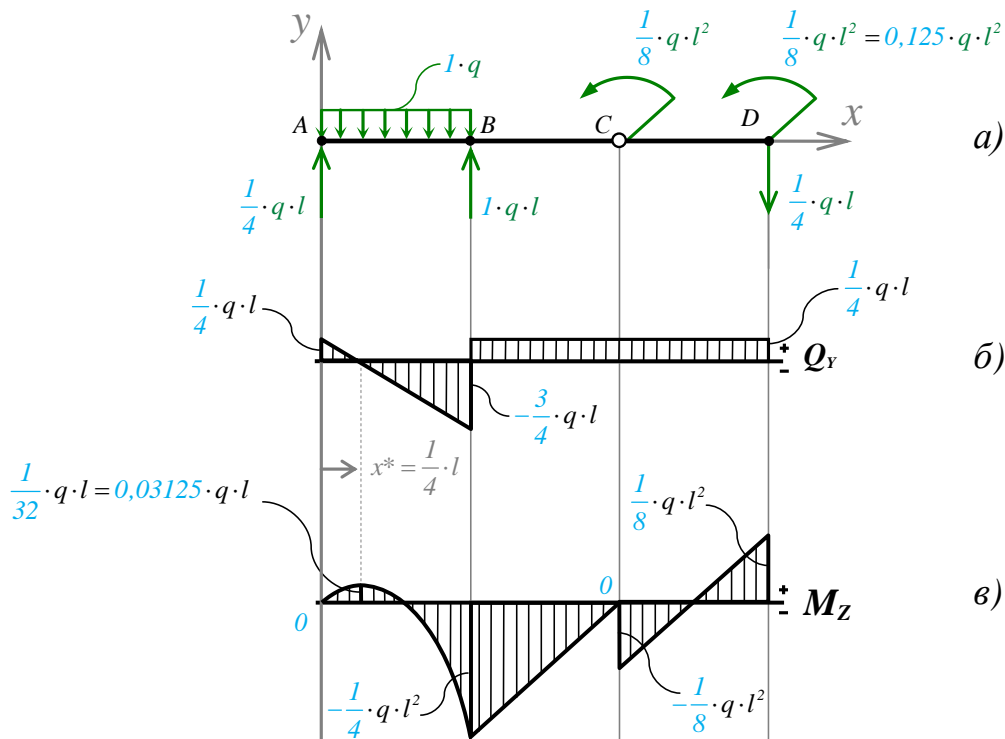
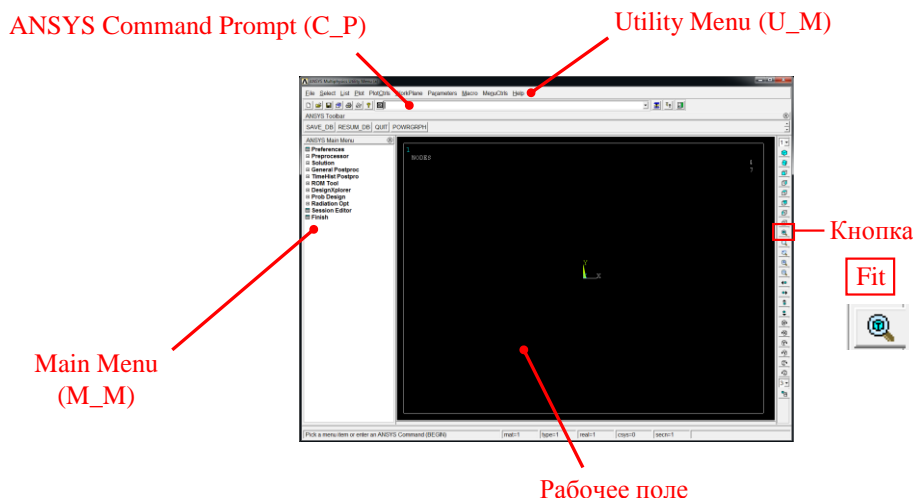


Рис. 1.

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multyphisics получить эти же эпюры 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
```

Оставить в меню только пункты, относящиеся к прочностным расчётам:

```
M_M > Preferences > Отметить "Structural" > OK
```

Нумеровать точки и линии 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
```

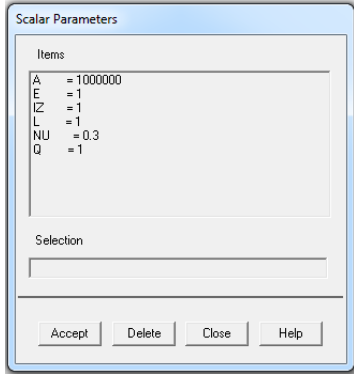
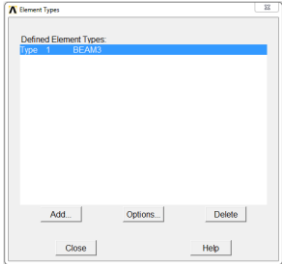
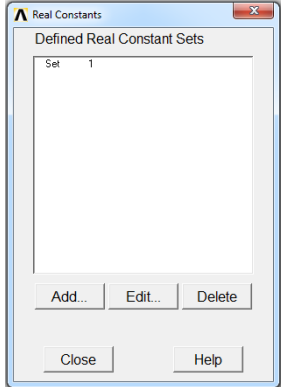
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```

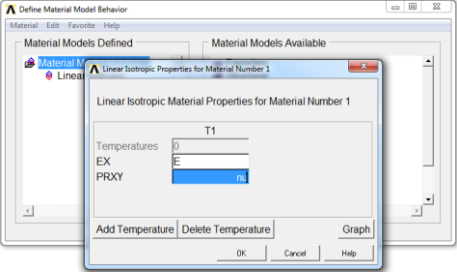


```
Установить «Размер» на «22» > OK
```

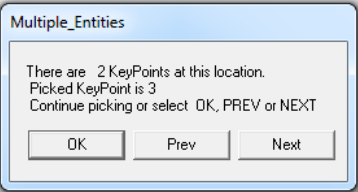
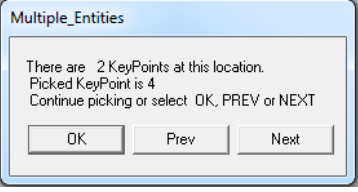
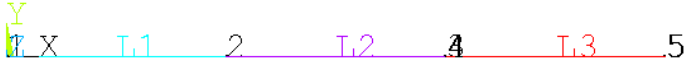
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

Решение задачи:

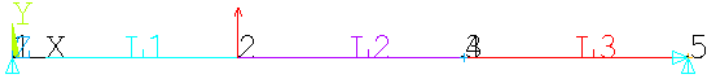


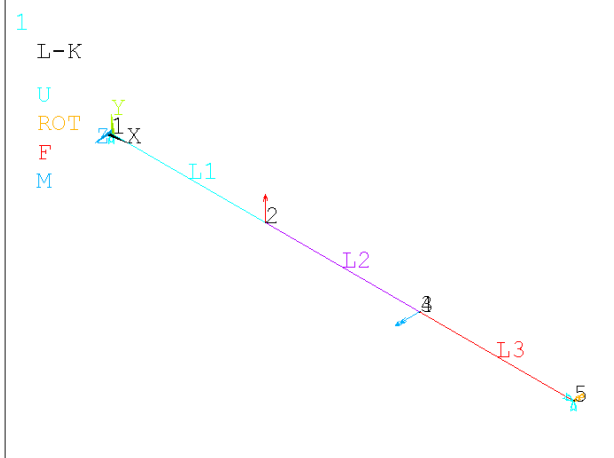
Приравняв E , I_z , q и l к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

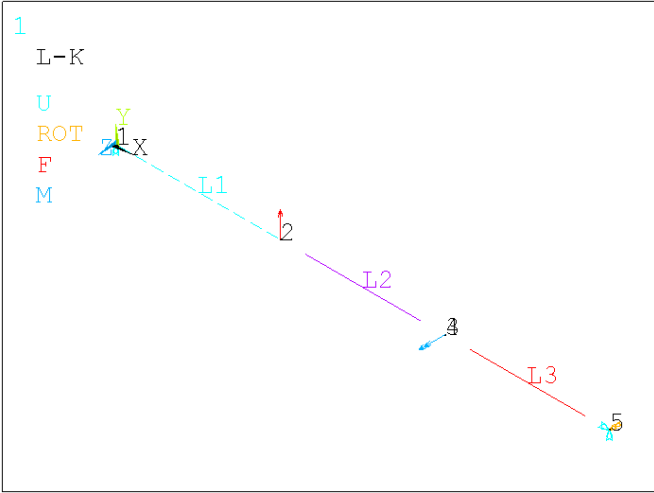
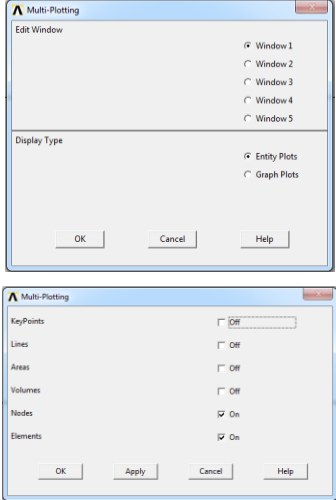
№	Действие	Результат
1	<p>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters > E=1 > Accept > A=1e6 > Accept > Iz=1 > Accept > q=1 > Accept > l=1 > Accept > nu=0.3 > Accept > > Close</p>	
2	<p>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский балочный тип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

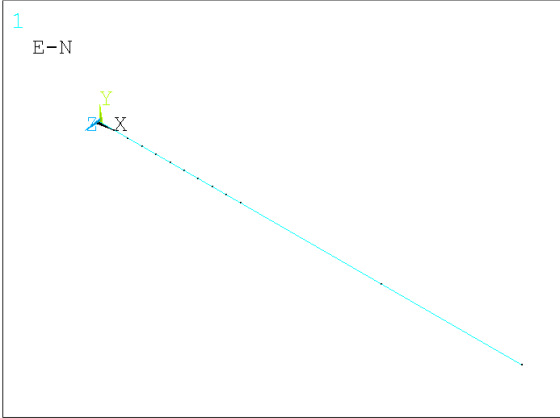
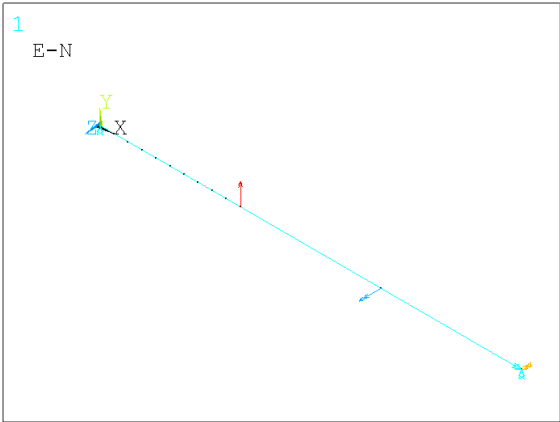
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic ></p> <p>В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu"</p> <p>> OK</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
Твердотельное моделирование		
5	<p><i>Ключевые точки – границы участков: A →1, B→2, C_{LEFT}→3, C_{RIGHT}→4 и D→5:</i></p> <p>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Keypoints> In Active CS></p> <p>NPT пишем 1</p> <p>X,Y,Z пишем 0,0,0 > Apply ></p> <p>NPT пишем 2</p> <p>X,Y,Z пишем l,0,0 > Apply ></p> <p>NPT пишем 3</p> <p>X,Y,Z пишем 2*l,0,0 > Apply ></p> <p>NPT пишем 4</p> <p>X,Y,Z пишем 2*l,0,0 > Apply ></p> <p>NPT пишем 5</p> <p>X,Y,Z пишем 3*l,0,0 > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p>	

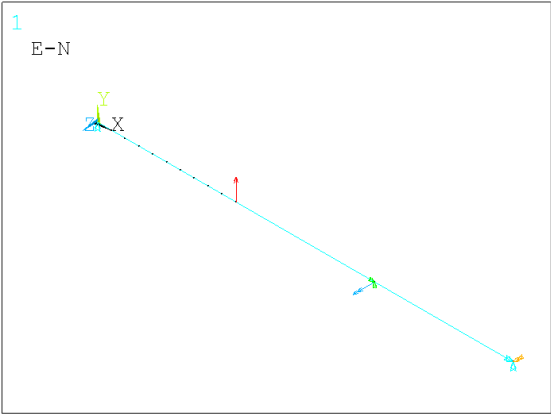
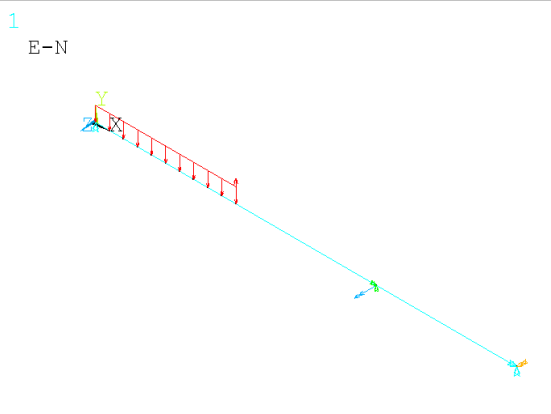
№	Действие	Результат
6	<p><i>Три участка – три линии:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line ></p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки: 1 и 2 2 и 3 (загорится окошко выбора точки: «3 или 4»?)</p>  <p>Сразу будет светиться номер «3», поэтому сразу нажимайте ОК.</p> <p>Таким образом, становится понятно, что в качестве конечной выбрана точка 3.</p> <p>> Apply ></p> <p>4 и 5 (загорится окошко выбора точки: «3 или 4»?)</p>  <p>Нажмите кнопку «Prev», появится номер «4», тогда нажмите ОК.</p> <p>Таким образом, становится понятно, что в качестве начальной выбрана точка 4.</p> <p>> ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

№	Действие	Результат
7	<p><i>Опоры:</i></p> <p>Левая (шарнир): M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints > Левой кнопкой мыши нажать на 1 ключевую точку > OK > Lab2 установить "UY" > OK</p> <p>Правая (заделка): M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints > Левой кнопкой мыши нажать на 5 ключевую точку > OK > Lab2 установить "All DOF" > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
8	<p><i>Сосредоточенная внешняя сила:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints > Левой кнопкой мыши нажать на 2 ключевую точку > OK > Lab установить "FY" VALUE установить "q*1" > OK</p>	

№	Действие	Результат
9	<p><i>Сосредоточенный внешний момент:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 4 ключевую точку; загорится окошко выбора точки: «3 или 4»? Нажмите кнопку «Prev», появится номер «4», тогда нажмите ОК.</p> <p>> ОК ></p> <p>Lab установить "MZ"</p> <p>VALUE установить "$q \cdot l^2 / 8$"</p> <p>> ОК</p>	
10	<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>	
Конечноэлементная модель		
11	<p><i>Указываем материал, реальные константы и тип элементов:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Lines ></p> <p>MAT установить "1"</p> <p>REAL установить "1"</p> <p>TYPE установить "1 BEAM3" > ОК</p>	

№	Действие	Результат
12	<p><i>Левый участок нагружен распределённой поперечной силой, его нужно разбить несколькими конечными элементами; участки без распределённых нагрузок можно битть одним конечным элементом:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Lines > Picked Lines ></p> <p>Левой кнопкой мыши кликаем на линию L1 > OK</p> <p>NDIV пишем 10 > Apply ></p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно кликаем на линии L2и L3 > OK</p> <p>NDIV пишем 1 > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
13	<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>	

14	<p><i>Рабиваем линии на элементы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Pick All</p> <p><i>Обновляем изображение:</i></p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Бирюзовым цветом изображены балочные элементы. Чёрные точки – это их узлы.</p>	
15	<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>	

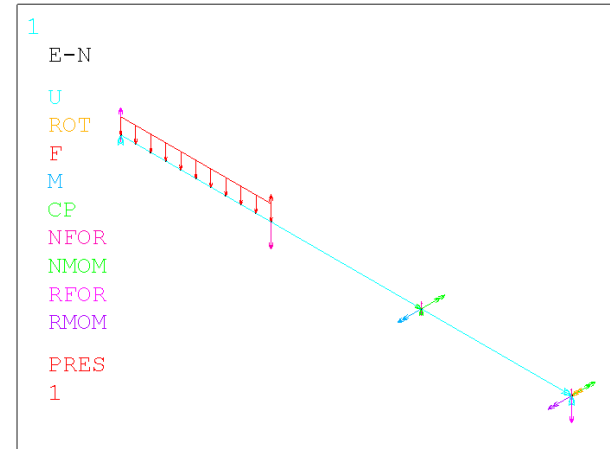
<p>16</p>	<p><i>Шарнир в точке С:</i> В точке С балки установлен врезанный шарнир (рис. 1а). Моделируется он так: при разбиении твердотельной модели в ключевых точках 3 и 4 образовалось по одному узлу модели конечноэлементной, координаты этих узлов совпадают; свяжем совпадающие узлы по двум поступательным степеням свободы UX и UY, по угловому перемещению узлы останутся развязаны.</p> <p>M_M > Preprocessor > Coupling/Ceqn > Coincident Nodes > Lab установить «UX» > OK ></p> <p>M_M > Preprocessor > Coupling/Ceqn > Coincident Nodes > Lab установить «UY» > OK</p>	
<p>17</p>	<p><i>Поперечная распределённая нагрузка q:</i> M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Beams > Левой кнопкой мыши отмечаем 10 элементов левого участка > Apply > LKEY пишем 1 VALI пишем q > OK</p>	
<p>Расчёт</p>		
<p>18</p>	<p><i>Запускаем расчёт:</i> M_M > Solution > Solve > Current LS Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p>	

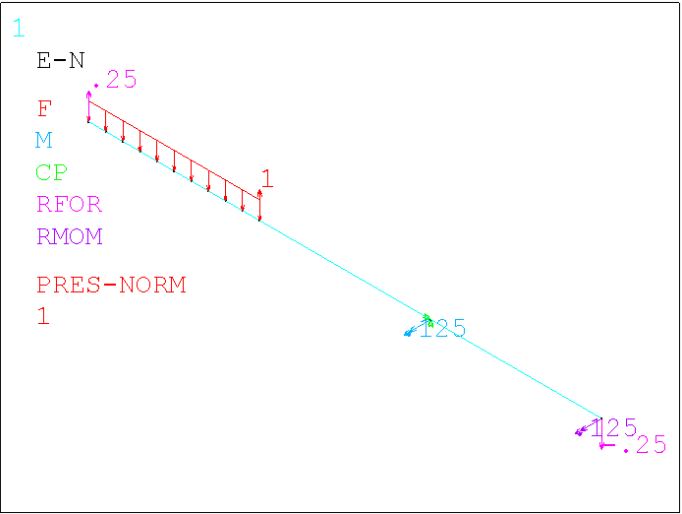
Просмотр результатов



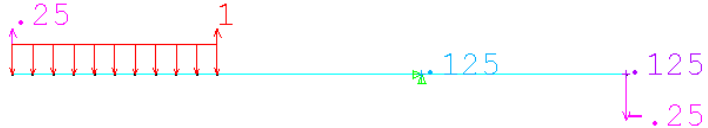
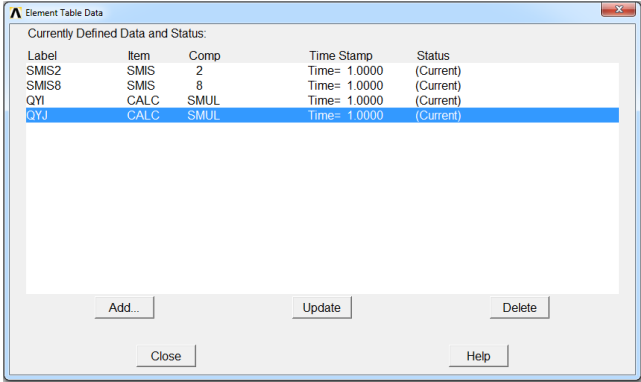
19

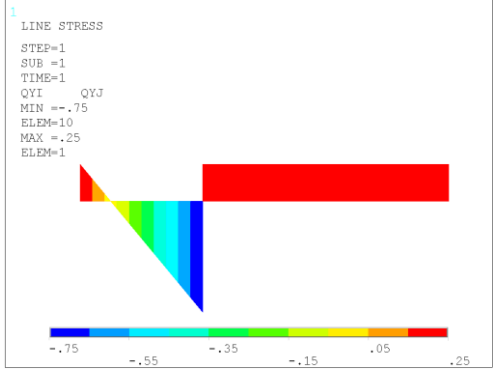
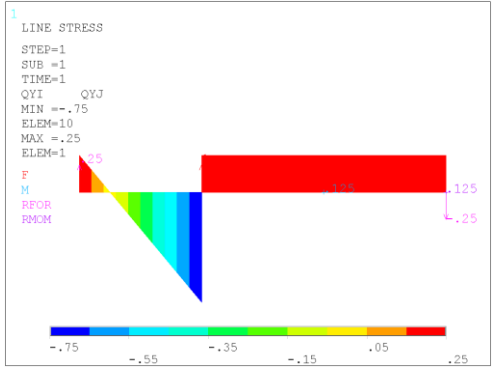
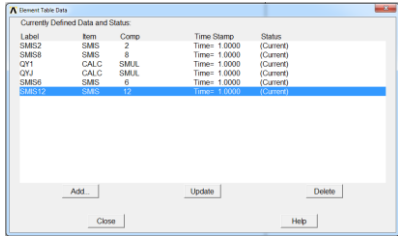
Скрываем оси системы координат:

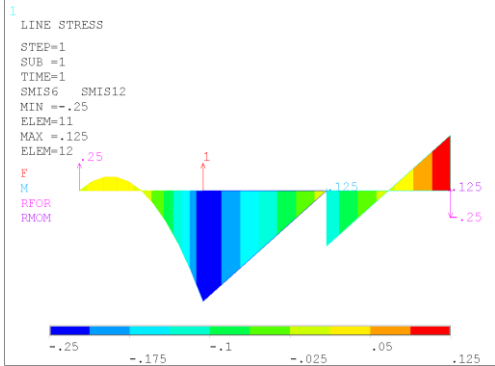

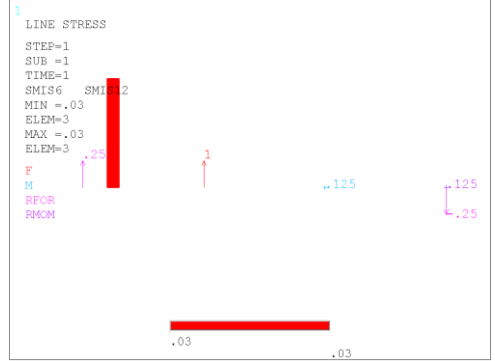
```
U_M > PlotCtrls > Window Controls > Window Options >  
[/Triad] установить "Not Shown"  
> OK
```



20	<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. 1а</i>. (числа, выделенные синим цветом). В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Красным цветом начерчены внешняя сила и распределённая нагрузка; - Синим цветом начерчен вектор внешнего момента; - Малиновым цветом нарисованы реактивные силы; - Фиолетовым цветом изображён вектор реактивного момента. 	
21	<p><i>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10 > OK</p>	

№	Действие	Результат																									
22	<p><i>Фронтальный вид:</i></p>  - вид спереди;  - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).																										
23	<p><i>Составление эпюры внутренней перерезывающей силы:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "2" > Apply > "By sequence num", "SMISC,", "8" > OK > OK > Close</p>																										
24	<p><i>Инвертирование эпюры внутренней перерезывающей силы:</i></p> <p>Строчку SMISC2 умножаем на -1, получаем строчку QYI: M_M > General Postproc > Element Table > Multiply LabR пишем QYI FACT1 пишем -1 Lab1 устанавливаем SMIS2 Lab2 устанавливаем -none- > Apply</p> <p>Строчку SMISC8 умножаем на -1, получаем строчку QYJ: M_M > General Postproc > Element Table > Multiply LabR пишем QYJ FACT1 пишем -1 Lab1 устанавливаем SMIS8 Lab2 устанавливаем -none- > OK</p> <p>Смотрим таблицу результатов: M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Close</p>	 <table border="1" data-bbox="1424 911 2063 1294"> <thead> <tr> <th>Label</th> <th>Item</th> <th>Comp</th> <th>Time Stamp</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SMIS2</td> <td>SMIS</td> <td>2</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS8</td> <td>SMIS</td> <td>8</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>QYI</td> <td>CALC</td> <td>SMUL</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>QYJ</td> <td>CALC</td> <td>SMUL</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> </tbody> </table>	Label	Item	Comp	Time Stamp	Status	SMIS2	SMIS	2	Time= 1.0000	(Current)	SMIS8	SMIS	8	Time= 1.0000	(Current)	QYI	CALC	SMUL	Time= 1.0000	(Current)	QYJ	CALC	SMUL	Time= 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status																							
SMIS2	SMIS	2	Time= 1.0000	(Current)																							
SMIS8	SMIS	8	Time= 1.0000	(Current)																							
QYI	CALC	SMUL	Time= 1.0000	(Current)																							
QYJ	CALC	SMUL	Time= 1.0000	(Current)																							

№	Действие	Результат																																			
25	<p><i>Прорисовка эпюры внутренней перерезывающей силы:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res ></p> <p>Установить LabI в положение "QYI"</p> <p>Установить LabJ в положение "QYJ"</p> <p>> OK</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1б</i> (только числа, выделенные синим цветом).</p> <p>Можете рисунок эпюры сделать крупнее: коэффициент Fact установите 2 или 3.</p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 QYI QYJ MIN=-.75 ELEM=10 MAX =.25 ELEM=1 </pre>																																			
26	<p><i>Для того, чтобы лучше понимать, каким точкам стержня какое значение эпюры соответствует, повторите действие №20. Увидите, совмещённые с эпюрой внешние силы (кроме распределённых, увы) и реакции.</i></p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 QYI QYJ MIN=-.75 ELEM=10 MAX =.25 ELEM=1 F M RFOR RMCM </pre>																																			
27	<p><i>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add ></p> <p>"By sequence num", "SMISC,", "6" > Apply ></p> <p>"By sequence num", "SMISC,", "12" > OK ></p> <p>> Close</p> <p>Смотрим таблицу результатов:</p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > 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>SMIS2</td> <td>SMIS</td> <td>2</td> <td>Time: 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS8</td> <td>SMIS</td> <td>8</td> <td>Time: 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>QY1</td> <td>CALC</td> <td>SMUL</td> <td>Time: 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>QYJ</td> <td>CALC</td> <td>SMUL</td> <td>Time: 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS6</td> <td>SMIS</td> <td>6</td> <td>Time: 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS12</td> <td>SMIS</td> <td>12</td> <td>Time: 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> </tbody> </table>	Label	Item	Comp	Time Stamp	Status	SMIS2	SMIS	2	Time: 1.0000	(Current)	SMIS8	SMIS	8	Time: 1.0000	(Current)	QY1	CALC	SMUL	Time: 1.0000	(Current)	QYJ	CALC	SMUL	Time: 1.0000	(Current)	SMIS6	SMIS	6	Time: 1.0000	(Current)	SMIS12	SMIS	12	Time: 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status																																	
SMIS2	SMIS	2	Time: 1.0000	(Current)																																	
SMIS8	SMIS	8	Time: 1.0000	(Current)																																	
QY1	CALC	SMUL	Time: 1.0000	(Current)																																	
QYJ	CALC	SMUL	Time: 1.0000	(Current)																																	
SMIS6	SMIS	6	Time: 1.0000	(Current)																																	
SMIS12	SMIS	12	Time: 1.0000	(Current)																																	

<p>28</p>	<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. 1в.</i> (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала.</p> <p>Можете рисунок эпюры сделать крупнее: коэффициент Fact установите 2 или 3.</p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS6 SMIS12 MIN =-.25 ELEM=11 MAX =.125 ELEM=12 F M RFOR RMCM </pre>
<p>29</p>	<p><i>Величина экстремума параболы:</i></p> <p>U_M > Select > Entities... > В окошке Select Entities установить в окошках "Elements" "By Num/Pick" "From Full" Точку селектора установить на «From Full» > OK ></p>  <p>Левой кнопкой мыши кликнуть на элемент, визуально содержащий вершину (третий слева) > OK</p> <p>Перерисовываем эпюру. Теперь на одном только этом элементе: U_M > Plot > Replot</p> <p>Эпюра на элементе прямоугольна, и в левом и в правом узле выделенного элемента её значение равно 0,03. На <i>рис. 1в.</i> Экстремум указан точно 0,03125. Погрешность составляет 4%.</p> <p>Погрешность будет тем меньше, чем меньше размер элемента (то есть, чем на большее количество элементов разбит участок).</p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS6 SMIS12 MIN =.03 ELEM=3 MAX =.03 ELEM=3 F M RFOR RMCM </pre>

Координата экстремума параболы:

Номера узлов выделенного элемента – 4 и 5:

U_M > List > Elements > Nodes+Attributes

Координаты четвертого и пятого узлов – $x_4=0,2$; $x_5=0,3$:

U_M > List > Nodes > ОК

Если значения момента в этих узлах одинаковы (по $0,03 \cdot q \cdot l^2$), значит экстремум находится строго между ними и его координата:

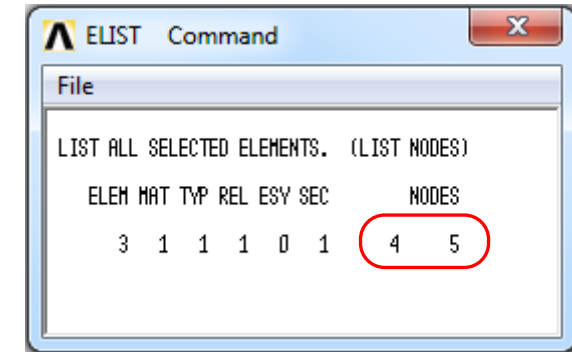
$$30 \quad x^* = \frac{x_4 + x_5}{2} = \frac{0,2 + 0,3}{2} = 0,25 = \frac{1}{4} \cdot l$$

...что в точности соответствует значению x^* на рис. 1.

Снова прорисовываем полностью эпюру внутреннего изгибающего момента:

U_M > Select > Everything

U_M > Plot > Multi-Plots



NLIST Command

File

LIST ALL SELECTED NODES. DSYS= 0
SORT TABLE ON NODE NODE NODE

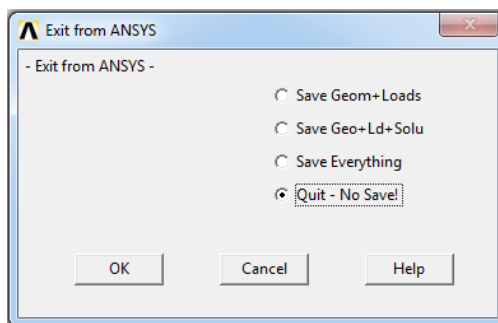
NODE	X	Y	Z	THXY	THYZ	THZX
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
2	1.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
3	0.10000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
4	0.20000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
5	0.30000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
6	0.40000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
7	0.50000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
8	0.60000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
9	0.70000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
10	0.80000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
11	0.90000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
12	2.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
13	2.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
14	3.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00

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.