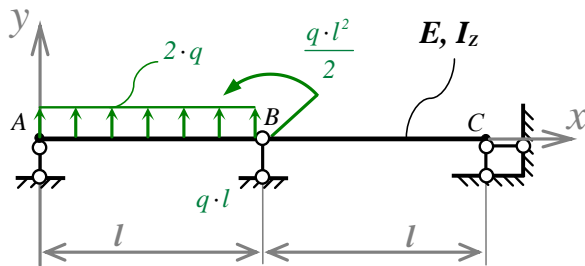


F-09 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: Шарнирно опёртая по краям и в центре балка постоянной жёсткости с шарниром врезанным над средней опорой, нагружена распределённой нагрузкой $2 \cdot q$ и моментом $q \cdot l^2 / 2$.

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-09](#)) даёт следующие решения:

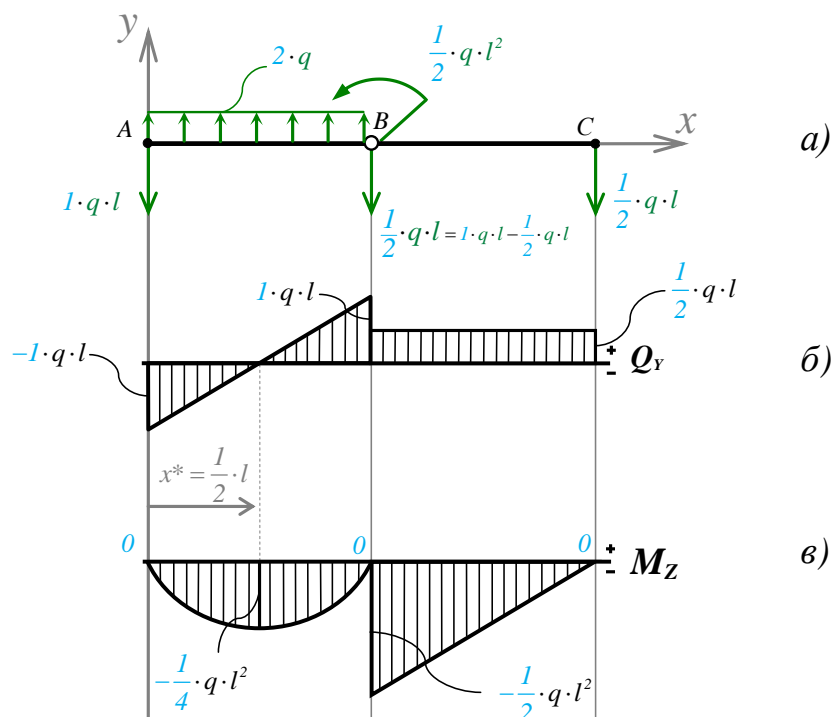
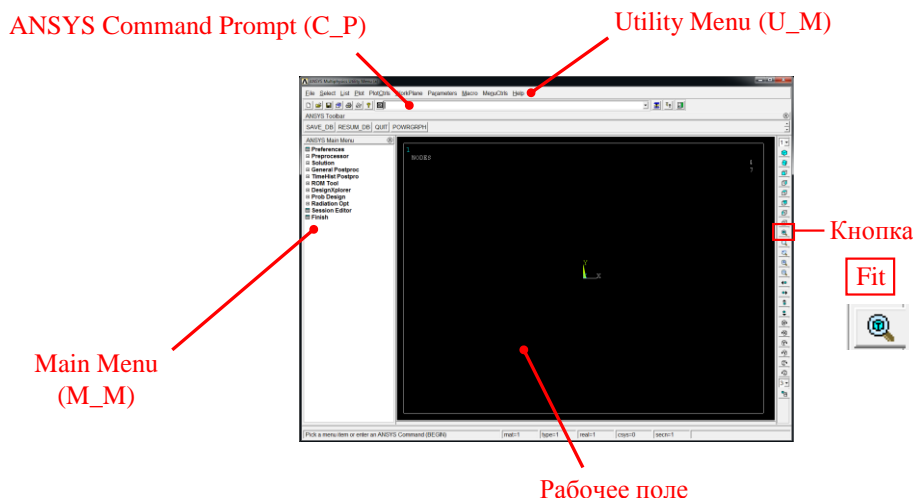


Рис. 1.

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multyphysics 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, 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
```

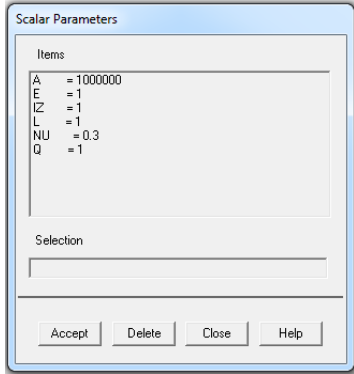
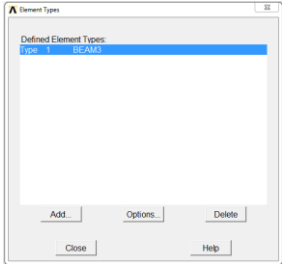
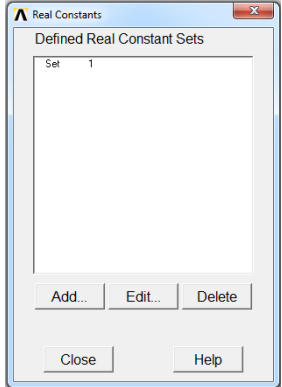
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```

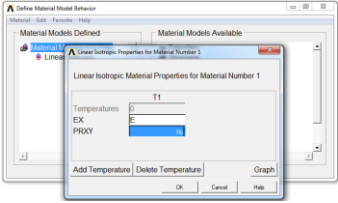
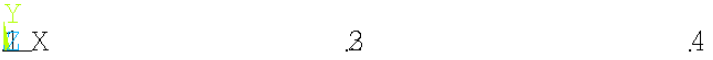

```
Установить «Размер» на «22» > OK
```

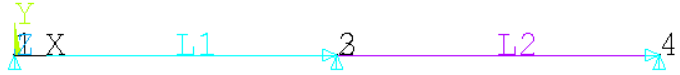
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

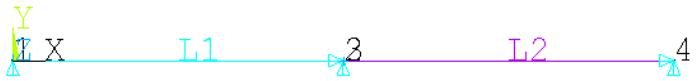


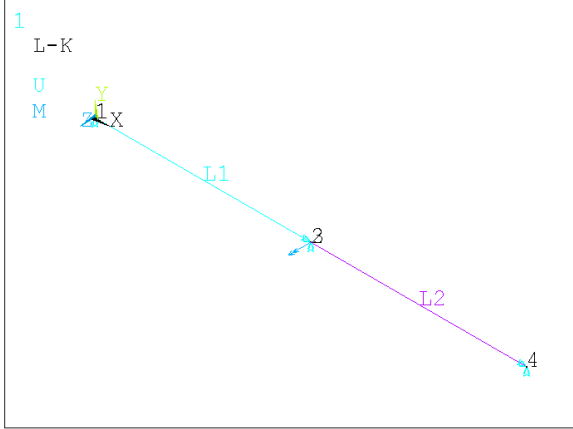
Решение задачи:

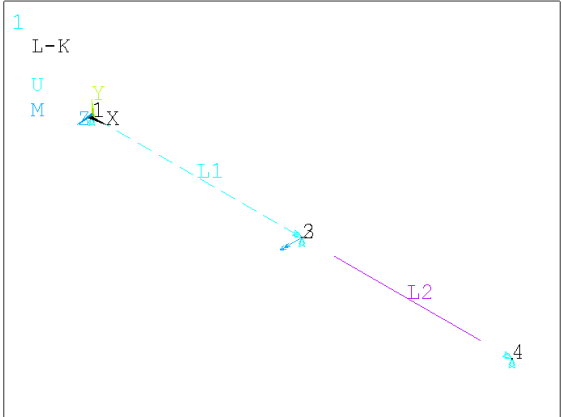
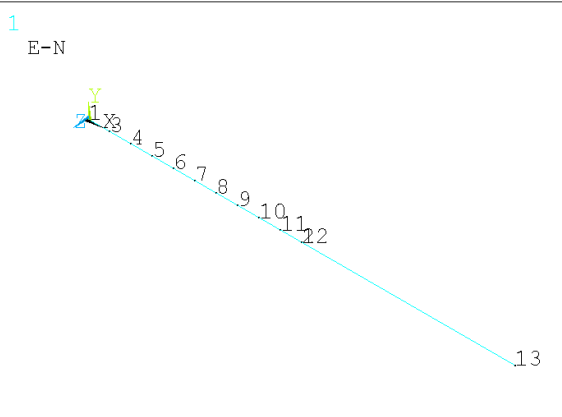
Приравняв E , I_z , q и l к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

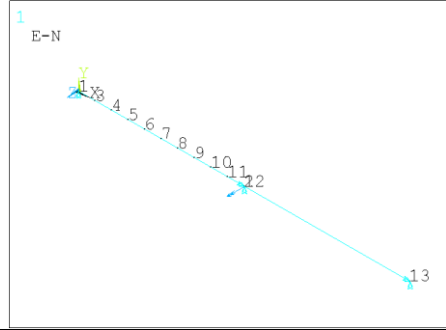
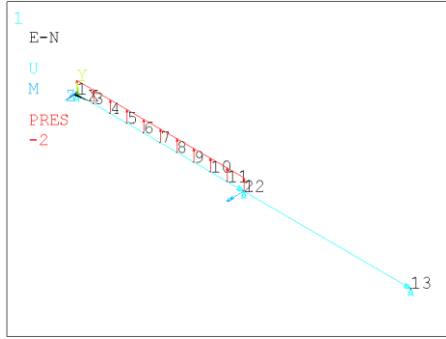
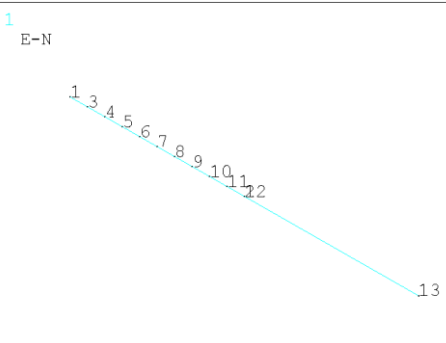
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters > E=1 > Accept > A=1e6 > Accept > Iz=1 > Accept > q=1 > Accept > l=1 > Accept > nu=0.3 > Accept > > Close</p>	
2	<p><i>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский 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 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 > R, 1, A, Iz, L/100 > Enter</p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант: M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Close</p>	

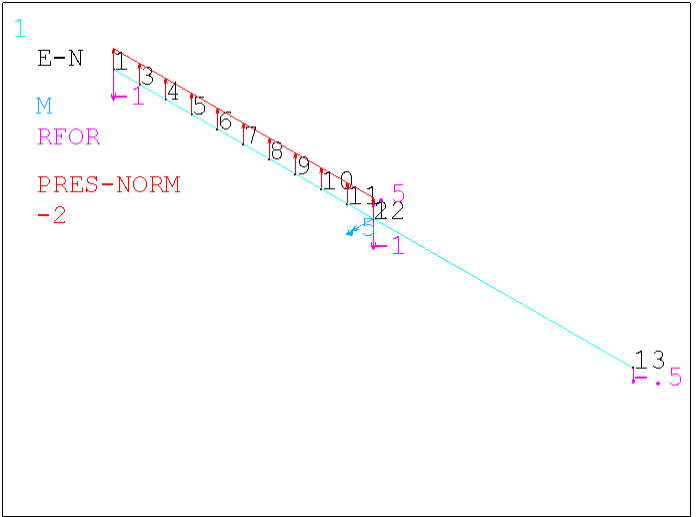
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic ></p> <p>В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu"</p> <p>> OK</p> <p>Закрываем окно «Deine Material Model Behavior».</p>	
Твердотельное моделирование		
5	<p><i>Ключевые точки – границы участков: A → 1, B_{LEFT} → 2, B_{RIGHT} → 3 и C → 4 :</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 l, 0, 0 > Apply ></p> <p>NPT пишем 4</p> <p>X, Y, Z пишем 2*l, 0, 0 > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
6	<p><i>Два участка – две линии:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line ></p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки:</p> <p>1 и 2 (появится окошко выбора точки «2 или 3 ?»)</p> <p>> Apply ></p> <p>3 и 4 (появится окошко выбора точки «2 или 3 ?»)</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	



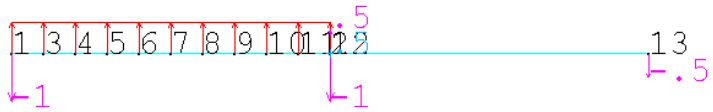
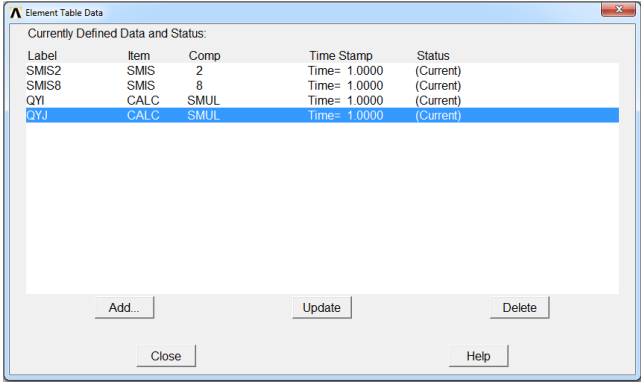
№	Действие	Результат
7	<p><i>Опоры:</i></p> <p>Левая: M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints > левой кнопкой мыши нажать на 1 ключевую точку > OK > Lab2 установить "UY" > OK</p> <p>Средняя (шарнир) – закрепляем обе точки (2 и 3), всё равно левая и правая части балки друг друга «не замечают»:</p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints > левой кнопкой мыши нажать на 2 ключевую точку Появится окошко выбора точки «2 или 3 ?», не обращайтесь на него внимание, снова кликните на том же месте, выберется точка 3 (ибо точка 2 уже выбрана) > OK > Lab2 установить "UX" и "UY" > OK</p> <p>Правая: M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints > левой кнопкой мыши нажать на 4 ключевую точку > OK > Lab2 установить "UX" и "UY" > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

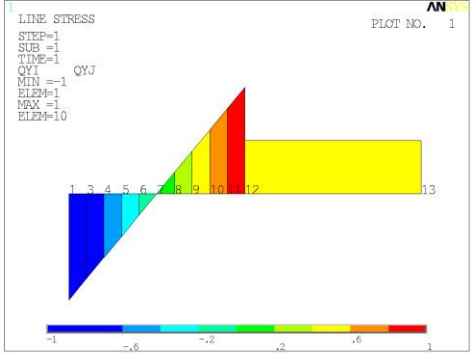

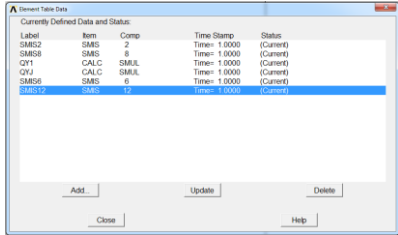
№	Действие	Результат
8	<p><i>Сосредоточенный внешний момент:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 3 ключевую точку; загорится окошко выбора точки «2 или 3»? Нажмите кнопку «Prev», появится номер «3», тогда нажмите ОК.</p> <p>> ОК ></p> <p>Lab установить "MZ"</p> <p>VALUE установить "$q \cdot l \cdot 2 / 2$"</p> <p>> ОК</p>	
9	<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>	
Конечноэлементная модель		
10	<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"</p> <p>> ОК</p>	

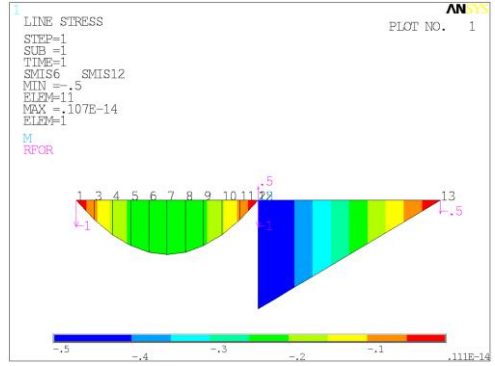
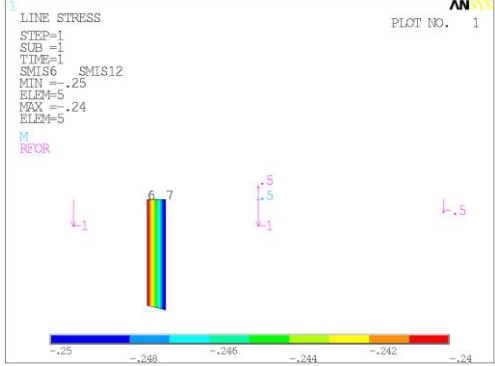
№	Действие	Результат
11	<p><i>Левый участок нагружен распределённой поперечной силой, его нужно разбить несколькими конечными элементами; участки без распределённых нагрузок можно битть одним конечным элементом:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Lines > Picked Lines ></p> <p>Левой кнопкой мыши кликаем на линию L1 > OK</p> <p>NDIV пишем 10 > Apply ></p> <p>Левой кнопкой мыши кликаем на линию L2 > OK</p> <p>NDIV пишем 1 > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	 <p>The screenshot shows a 2D coordinate system with X, Y, and Z axes. A line is drawn from node 1 to node 4. The line is divided into two segments: L1 (cyan) from node 1 to node 3, and L2 (purple) from node 3 to node 4. Node 1 is at the top left, node 3 is in the middle, and node 4 is at the bottom right.</p>
12	<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>	
13	<p><i>Рабиваем линии на элементы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Pick All</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Бирюзовым цветом изображены балочные элементы. Чёрные точки – это их узлы.</p>	 <p>The screenshot shows the same 2D coordinate system. The line from node 1 to node 13 is now fully meshed with 12 elements, numbered 1 through 12. The elements are colored cyan. Node 13 is at the bottom right. The nodes are numbered 1 through 13 along the line.</p>

14	<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>	
15	<p><i>Поперечная распределённая нагрузка 2·q:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Beams ></p> <p>Левой кнопкой мыши отмечаем 10 элементов левого участка > Apply ></p> <p>LKEY пишем 1 VAL1 пишем $-2 \cdot q$ > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
Расчёт		
16	<p><i>Запускаем расчёт:</i> M_M > Solution > Solve > Current LS</p>	
Просмотр результатов		
17	<p><i>Скрываем оси системы координат:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Window Controls > Window Options > [/Triad] установить "Not Shown" > OK</p>	

18	<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: - Красным цветом начерчена распределённая нагрузка; - Синим цветом начерчен вектор внешнего момента; - Малиновым цветом нарисованы реактивные силы.</p>	 <p>The diagram shows a beam element with nodes 1 and 13.5. A distributed load is applied along the top surface, represented by red arrows and numbers 1 through 13.5. A blue arrow representing a moment M is applied at node 1. Pink arrows representing reaction forces are shown at nodes 1, 2, and 13.5. The legend on the left indicates: E-N (blue), M (blue), RFOR (pink), PRES-NORM (red), and -2 (red).</p>
19	<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
20	<p><i>Фронтальный вид:</i></p>  - вид спереди;  - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).	
21	<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>	
22	<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>	

№	Действие	Результат
23	<p><i>Прорисовка эпюры внутренней перерезывающей силы:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > Установить LabI в положение "QYI" Установить LabJ в положение "QYJ" > OK</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1б</i> (только числа, выделенные синим цветом). Высоту прямоугольника можно приблизительно определить по цвету (жёлтый интервал - между $0,4 \cdot q \cdot l$ и $0,6 \cdot q \cdot l$) или точно, выделив правый элемент и перерисовав эпюру (см. действие №26). Можете рисунок эпюры сделать крупнее: коэффициент Fact установите 2 или 3.</p>	
24	<p><i>Для того, чтобы лучше понимать, каким точкам стержня какое значение эпюры соответствует, повторите действие №18. Увидите, совмещённые с эпюрой внешние силы (кроме распределённых, увы) и реакции.</i></p>	
25	<p><i>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "6" > Apply > "By sequence num", "SMISC,", "12" > OK > > Close</p> <p>Смотрим таблицу результатов: M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Close</p>	

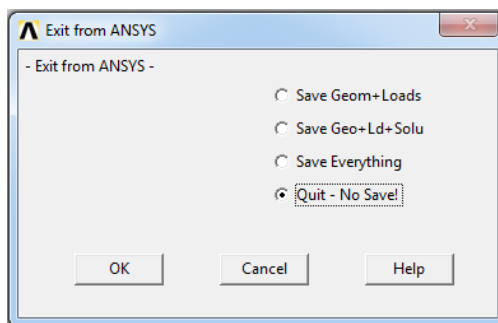
26	<p><i>Прорисовка эпюры внутреннего изгибающего момента:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > LabI установить "SMIS6" LabJ установить "SMIS12" Fact пишем 1 > OK</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1в.</i> (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала.</p> <p>Можете рисунок эпюры сделать крупнее: коэффициент Fact установите 2 или 3.</p>	
27	<p><i>Величина экстремума параболы:</i></p> <p>U_M > Select > Entities... > В окошке Select Entities установить в окошках "Elements" "By Num/Pick" Точку селектора установить на «From Full» > OK ></p> <p>Левой кнопкой мыши кликнуть на элемент, визуально содержащий вершину (пятый слева) > OK</p> <p>Перерисовываем эпюру. Теперь на одном только этом элементе: U_M > Plot > Replot</p> <p>Виден минимум: $-0,25 \cdot q \cdot l^2$, что полностью совпадает с данными <i>рис. 1в.</i> Узел, в котором экстремум наблюдается, располагается ровно посередине участка (длины всех элементов одинаковы), значит координата экстремума:</p> $x^* = \frac{l}{2} \cdot l.$	

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.