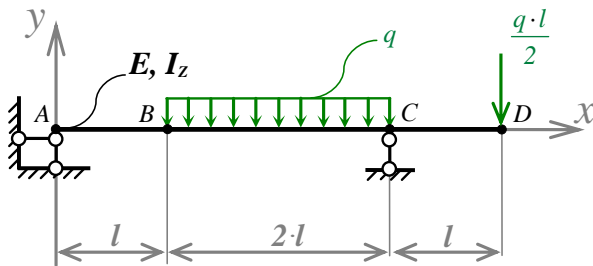


F-07 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: Стержень постоянной жёсткости с шарнирными опорами по краям нагружен распределённой силой q и сосредоточенной силой $q \cdot l$.
 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-07](#)) даёт следующие решения:

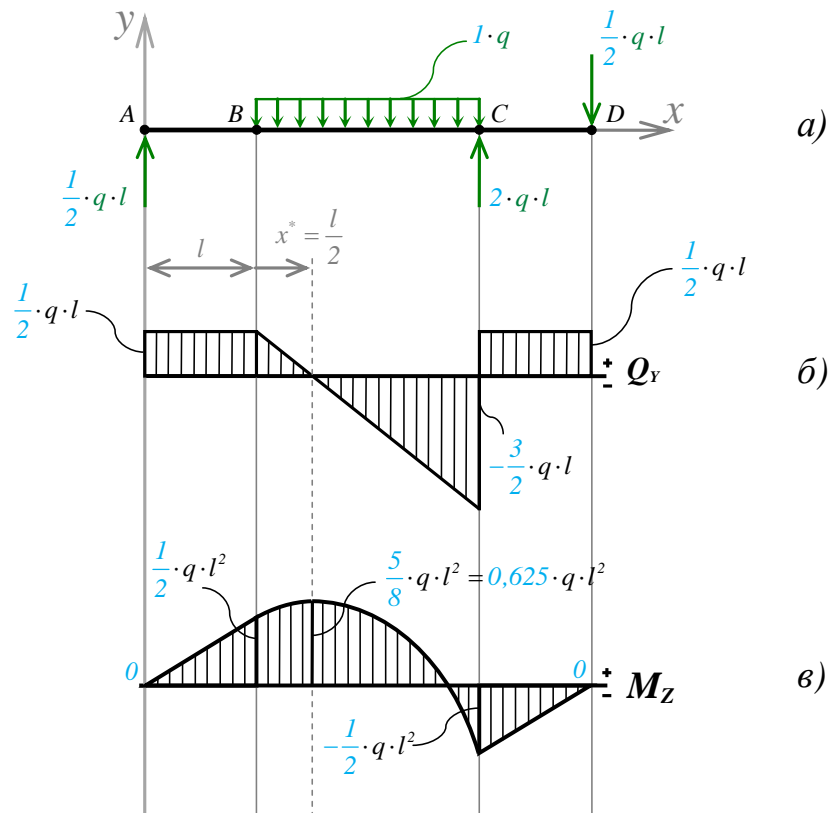
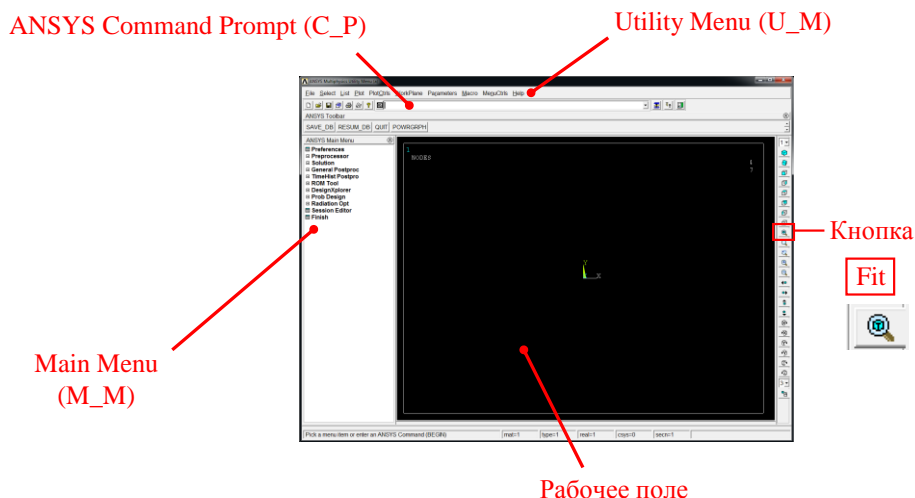


Рис. 1.

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
```

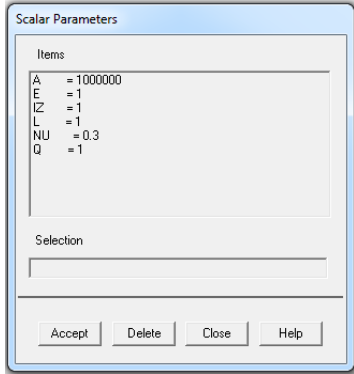
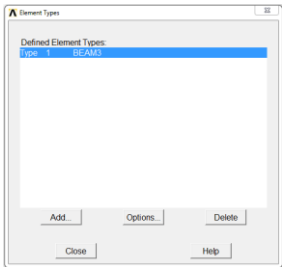
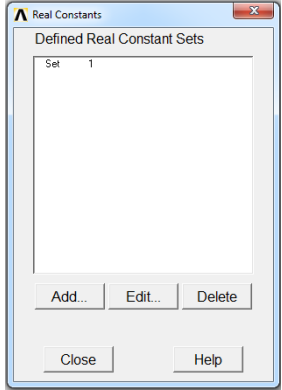
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```

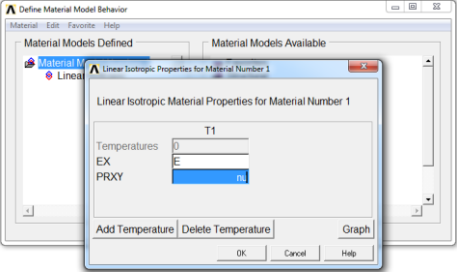


```
Установить «Размер» на «22» > OK
```

Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

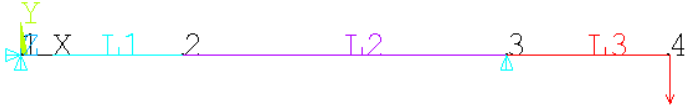
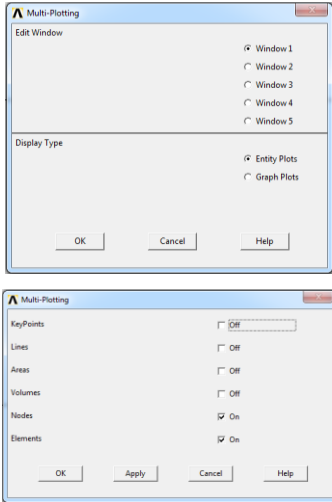
Решение задачи:



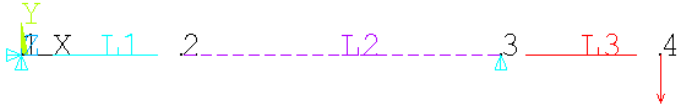
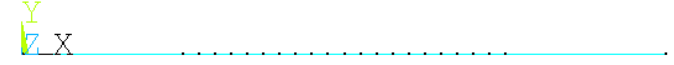
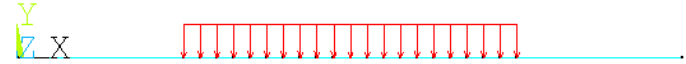
Приравняв E , I_z , q и l к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

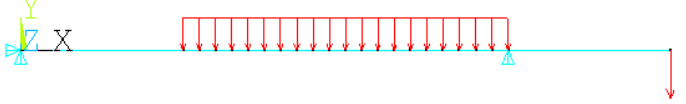
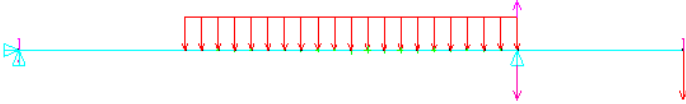
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters > E=1 > Accept > A=1e6 > Accept > Iz=1 > Accept > q=1 > Accept > l=1 > Accept > nu=0.3 > Accept > > Close</p>	
2	<p><i>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский 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>	

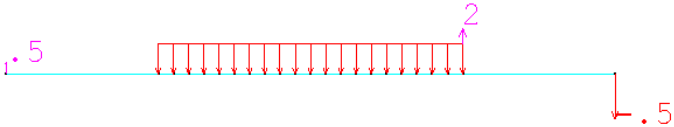
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic ></p> <p>В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu"</p> <p>> OK</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
Твердотельное моделирование		
5	<p><i>Ключевые точки – границы участков: A → 1, B → 2, C → 3 и D → 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 3*l, 0, 0 > Apply ></p> <p>NPT пишем 4</p> <p>X, Y, Z пишем 4*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>	

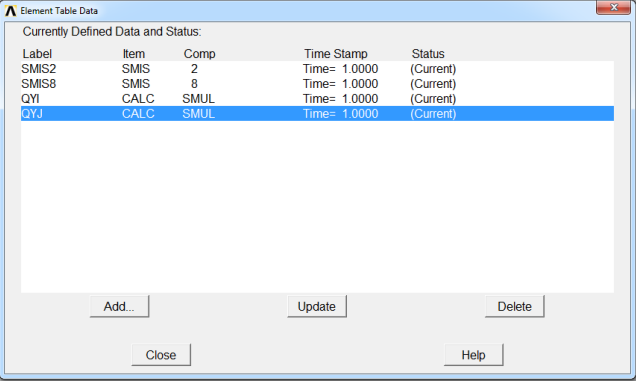
№	Действие	Результат
6	<p><i>Три участка – три линии:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line ></p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки: 1 и 2 2 и 3 3 и 4 > ОК</p>	
7	<p><i>Опоры:</i></p> <p>Левая:</p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 1 ключевую точку > ОК ></p> <p>Lab2 установить "UX" Lab2 установить "UY" > ОК</p> <p>Правая:</p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 3 ключевую точку > ОК ></p> <p>Lab2 установить "UY" > ОК</p>	

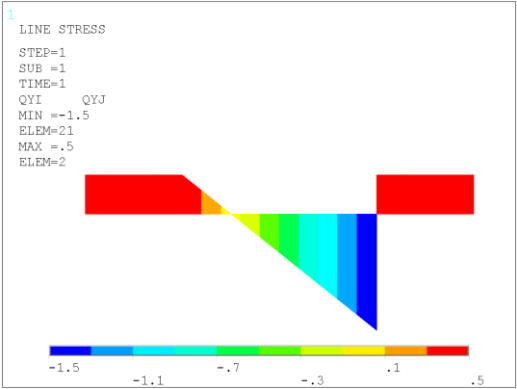
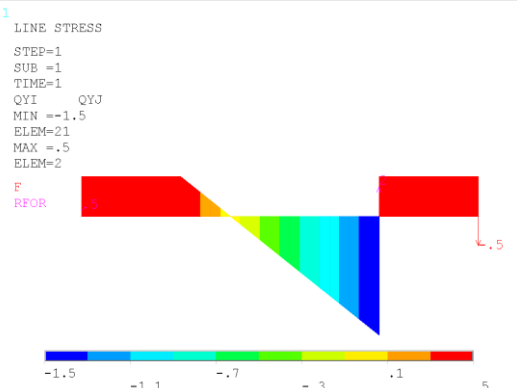
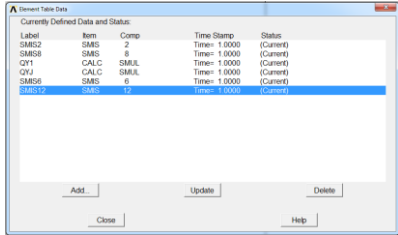
№	Действие	Результат
8	<p><i>Сосредоточенная сила:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints > Left mouse button click on 2 keypoint > > OK > Lab set "FY" VALUE set "-1/2" > OK</p>	
Конечноэлементная модель		
9	<p><i>Указываем материал, реальные константы и тип элементов:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Lines > MAT set "1" REAL set "1" TYPE set "1 BEAM3" > OK</p>	
10	<p><i>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Multi-Plot Controls > Multi-Plotting window appears > > OK > Multi-Plotting window appears again > Leave marks only opposite Nodes and Elements > > OK</p>	

№	Действие	Результат
11	<p><i>Участки без распределённых нагрузок можно бить одним конечным элементом, участок с распределённой нагрузкой (длиной 2*l) разобьём на 20 элементов:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Lines > Picked Lines ></p> <p>Левой кнопкой мыши кликаем на линии L1 и L3 > OK</p> <p>NDIV пишем 1 > Apply ></p> <p>Левой кнопкой мыши кликаем на линии L2 > OK</p> <p>NDIV пишем 20 > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Lines</p> <p>При необходимости корректируйте масштаб:  или .</p>	
12	<p><i>Рабиваем 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 конечные элементы, чёрные точки – их узлы.</p>	
13	<p><i>Поперечная распределённая нагрузка q:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Beams ></p> <p>Левой кнопкой мыши отмечаем 20 элементов среднего участка > Apply ></p> <p>LKEY пишем 1 VALI пишем q > OK</p>	

<p>14</p>	<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>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
<p>Расчёт</p>		
<p>15</p>	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p>	
<p>Просмотр результатов</p>		
<p>16</p>	<p><i>Скрываем оси системы координат:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Window Controls > Window Options > [/Triad] установить "Not Shown" > OK</p>	

<p>17</p>	<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 начерчены внешняя сила и распределённая нагрузка; - Малиновым цветом нарисованы реактивные силы.</p>	 <p>The diagram shows a horizontal beam with a cyan line. A red distributed load is applied downwards along the center. A red arrow labeled '2' points upwards at the right end of the beam. A red arrow labeled '.5' points downwards at the left end of the beam. A red arrow labeled '.5' points downwards at the right end of the beam.</p>
<p>18</p>	<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																									
19	<p><i>Составление эюры 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>																										
20	<p><i>Инвертирование эюры внутренней перерезывающей силы:</i></p> <p>Строчку SMISC2 умножаем на -1, получаем строчку QYI: M_M > General Postproc > Element Table > Multiply LabR пишем QYI ФАКТ1 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 ФАКТ1 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"> <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>SMS</td> <td>2</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS8</td> <td>SMS</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 style="background-color: #e6f2ff;"> <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	SMS	2	Time= 1.0000	(Current)	SMIS8	SMS	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	SMS	2	Time= 1.0000	(Current)																							
SMIS8	SMS	8	Time= 1.0000	(Current)																							
QYI	CALC	SMUL	Time= 1.0000	(Current)																							
QYJ	CALC	SMUL	Time= 1.0000	(Current)																							

№	Действие	Результат
21	<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" Установить LabJ в положение "QYJ" > 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>	
22	<p><i>Для того, чтобы лучше понимать, каким точкам стержня какое значение эпюры соответствует, повторите действие №17. Увидите, совмещённые с эпюрой внешние силы (кроме распределённых, увы) и реакции.</i></p>	
23	<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>	

24

Прорисовка эпюры внутреннего изгибающего момента:

M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot
> Line Elem Res >

LabI установить "SMIS6"

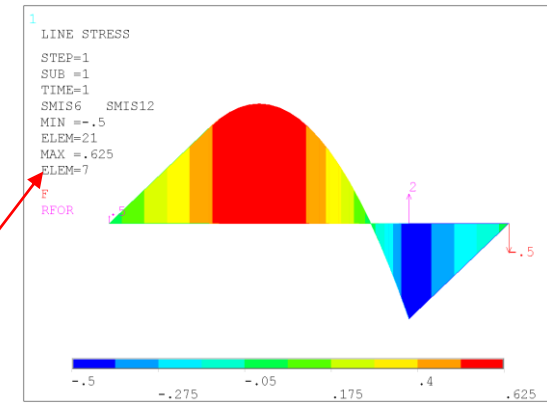
LabJ установить "SMIS12"

Fact пишем 1

> OK

Получаем тот же результат, что и на рис. 1в. (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала.

Можете рисунок эпюры сделать крупнее: коэффициент Fact установите 2 или 3.



25

Поиск координаты x_{max} максимума эпюры:

Определить координату максимума мы можем с погрешностью, не превышающей размер конечного элемента. Чем меньше размер элемента на участке с максимумом (чем больше на этом участке элементов), тем точнее мы определим значение x_{max} .

Выделяем элемент, в одном из узлов которого внутренний изгибающий момент максимален (номер этого элемента 7 указан при прорисовке эпюры).

C_P > ESEL,S,,,7 >

U_M > Plot > Replot

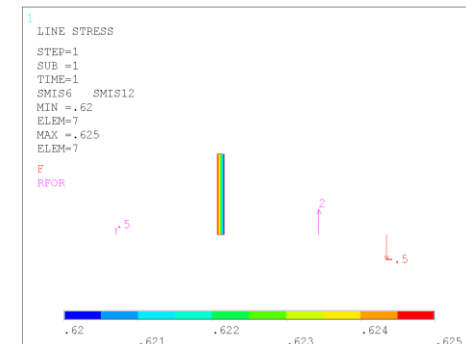
Видим кусочек эпюры только на выделенном элементе. Максимум на левом (то есть, начальном) узле. Номер начального узла выделенного элемента равен 8:

U_M > List > Elements > Nodes+Attributes

Координата узла №8 равна $x_8 = 1,5 * l \approx x_{max}$:

U_M > List > Elements > Nodes+Attributes

Как и должно быть (см. рис.1): $x_{max} = l + x^* = l + 0,5 * l = 1,5 * l$. Значит, в данном частном случае, максимум эпюры точно приходится на узел №8.



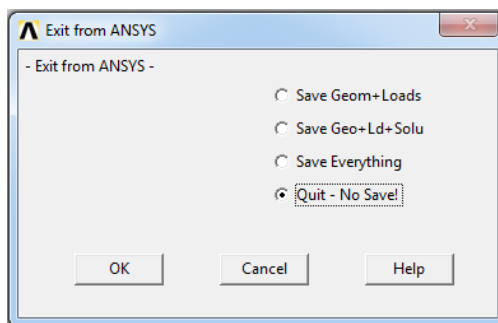
E/LIST Command		NLIST Command	
File	Command	File	Command
LIST ALL SELECTED ELEMENTS. (LIST NODES)		LIST ALL SELECTED NODES. (LIST NODES)	
ELEM MAT TYP REL ESYS SEC	NODES	NODE X Y Z THX1 THX2 THX3	
7 1 1 1 0 1	8 9	1 0.0000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00	
		2 1.0000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00	
		3 3.0000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00	
		4 1.0000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00	
		5 1.2000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00	
		6 1.3000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00	
		7 1.4000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00	
		8 1.5000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00	
		9 1.6000 0.0000 0.0000 0.00 0.00 0.00	
		10 1.7000 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.