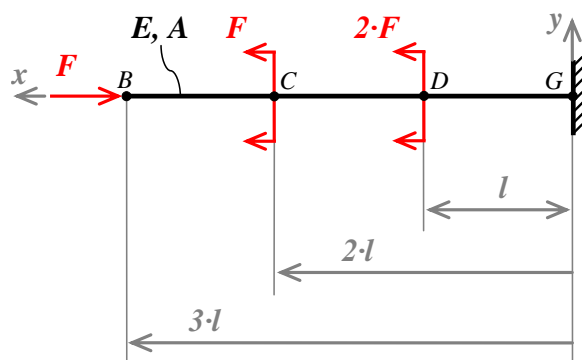


A-06 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: Консольный стержень нагружен системой осевых сил.

E – модуль упругости материала;

A – площадь поперечного сечения.

Найти: эпюры N , σ , ε , w ; значение U .

Аналитический расчёт (см. [A-06](#)) даёт следующие решения:

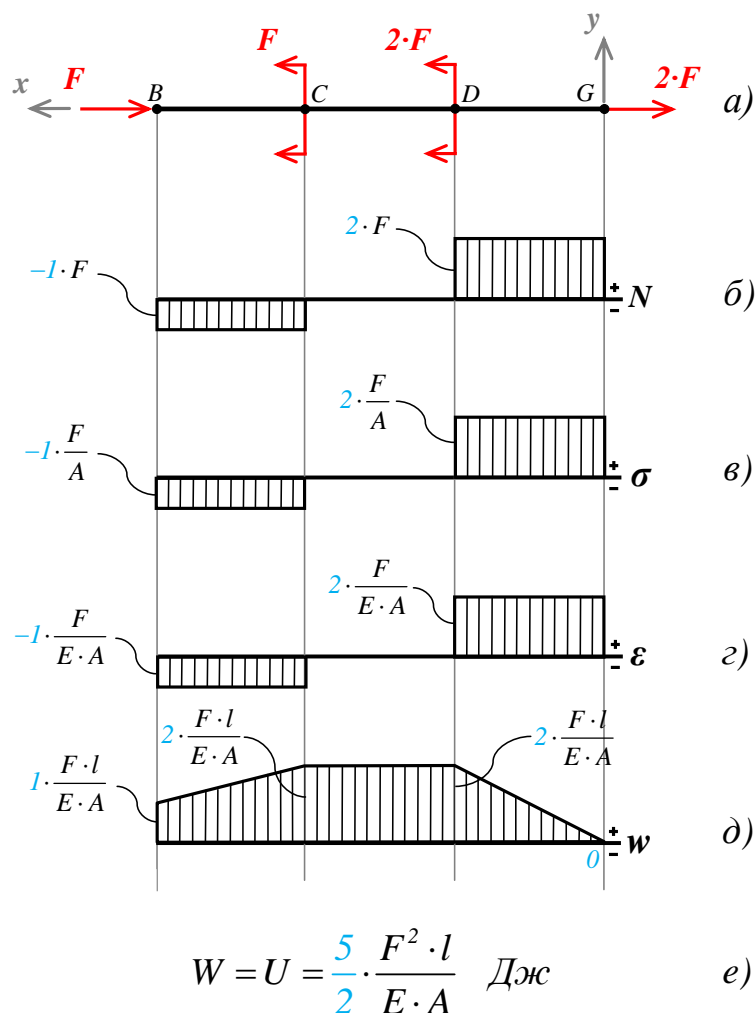
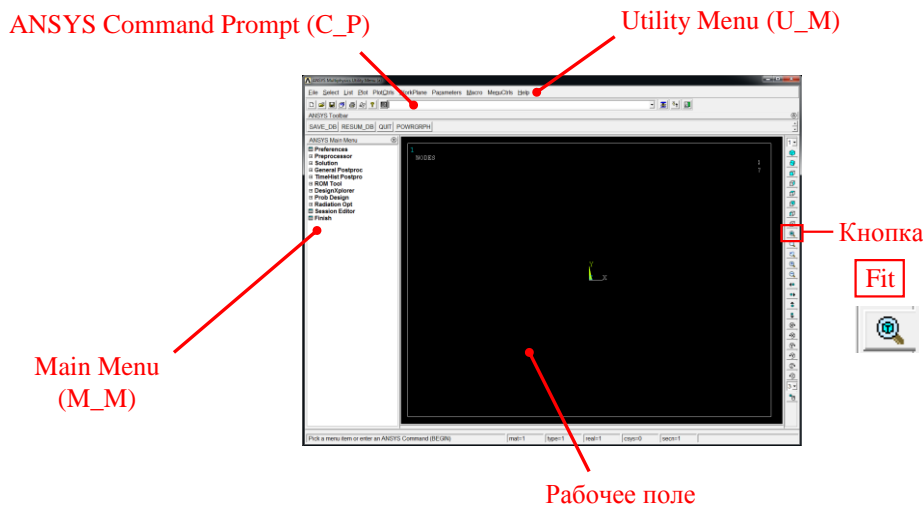


Рис. 1.

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multiphysics получить эти же решения 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:

```
U_M > PlotCtrls > Style > Colors > Reverse Video
```

Убрать пункты меню, не относящиеся к прочностным расчётам:

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

Нумеровать точки и линии твердотельной модели, узлы модели конечноэлементной:

```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить KP, LINE, NODE,
Установить Elem на "No numbering",
Установить [/NUM] на "Colors & numbers" >
> OK
```

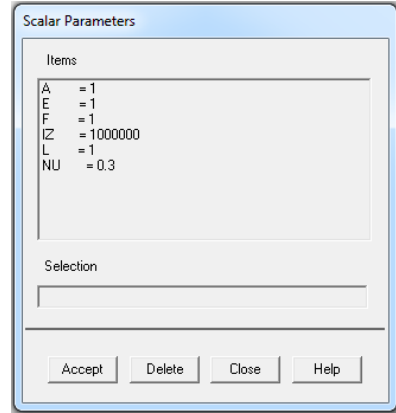
Увеличить размер шрифта:



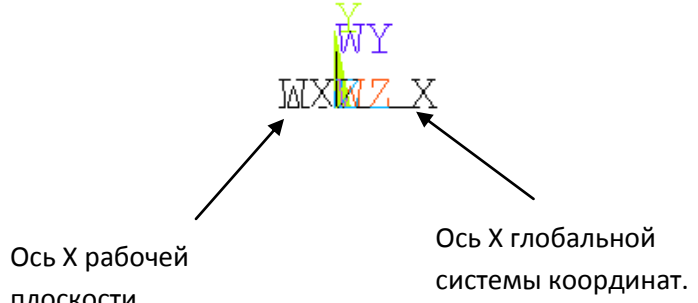
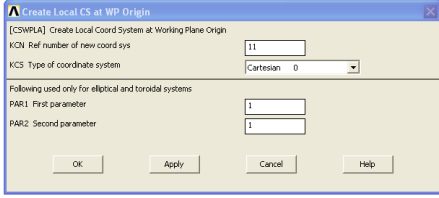
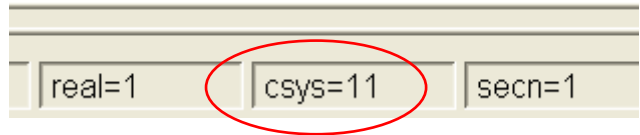
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font > Установить
«Размер» на «22» > OK
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font > Установить
«Размер» на «22» > OK
```

Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.


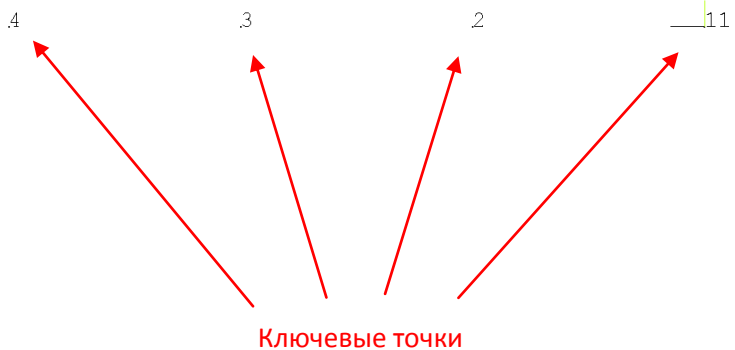
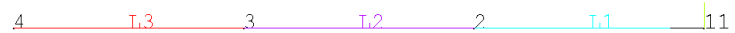
Решение задачи:


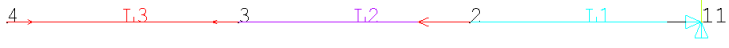
Приравняв E , A , F и l , к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на рис. 1. синим цветом.

№	Действие	Результат
1	<p>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters ></p> <p>E=1 > Accept ></p> <p>A=1 > Accept ></p> <p>Iz=1e6 > Accept ></p> <p>F=1 > Accept ></p> <p>l=1 > Accept ></p> <p>nu=0.3 > Accept ></p> <p>Iz – изгибный момент инерции поперечного сечения;</p> <p>nu – коэффициент Пуассона для металлов.</p>	
2	<p>Первая строчка в таблице конечных элементов – плоский балочный тип BEAM3:</p> <p>M_M > Preprocessor</p> <p>C_P > ET,1,BEAM3 > Enter</p>	
3	<p>Первая строчка в таблице реальных констант: площадь A; момент инерции Iz; высота $l/10$.</p> <p>C_P > R,1,A,Iz,L/10 > Enter</p>	
4	<p>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</p> <p>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models ></p> <p>Structural > Linear > Elastic > Isotropic ></p> <p>EX пишем "E",</p> <p>PRXY пишем "nu"</p> <p>> OK > Закрываем окно «Deine Material Model Behavior».</p>	



№	Действие	Результат
Твердотельное моделирование		
5	<p><i>Разворот рабочей плоскости:</i></p> <p>Прорисовываем систему координат рабочей плоскости. Сейчас она ориентирована по глобальной системе координат:</p> <p>U_M > WorkPlane > Display Working Plane</p> <p>Поворачиваем рабочую плоскость на 180 градусов вокруг оси Y с тем, чтобы её ось X была направлена справа налево:</p> <p>U_M > WorkPlane > Offset WP by Increments ></p> <p>Шесть раз нажимаем на появившейся панельке кнопку , наблюдая, как система координат рабочей плоскости с каждым нажатием поворачивается вокруг оси Y на тридцать градусов.</p> 	 <p>Ось X рабочей плоскости</p> <p>Ось X глобальной системы координат.</p>
6	<p><i>Рабочая система координат №11 (ось x направлена влево):</i></p> <p>U_M > WorkPlane > Local Coordinate Systems > Create Local CS > At WP Origin ></p> <p>KCN пишем 11</p> <p>KCS установить Cartesian > OK</p>  <p>Активная система координат автоматически меняется с глобальной (декартова система №0, ось X вправо) на установленную нами (декартова №11, ось X влево). Можете заметить, как внизу надпись «csys=0» изменилась на «csys=11». Тем не менее, оси глобальной системы координат продолжают отображаться.</p>	



№	Действие	Результат
7	<p>Гасим в рабочем поле оси рабочей плоскости и оси глобальной системы координат, прорисовываем оси локальной рабочей системы координат №11 (ось x):</p> <p>U_M > PlotCtrls > Window Controls > Window Options > [/Triad] установить "Not Shown" > OK</p> <p>U_M > WorkPlane > Display Working Plane</p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [CS] установить в положение "on" > OK ></p> <div data-bbox="920 635 1220 1086"></div> <p>На рабочем поле остаётся рисунок осей рабочей системы кеоординат и её номер «11».</p> <p>Оси локальных систем не подписываются, только по цвету можно определить их названия: X – чёрная ось; Y – зелёная ось; Z – синяя ось.</p> <p>Сейчас в рабочем поле мы видим оси X (влево) и Y (вверх). Ось Z направлена от нас и не видна.</p>	<div data-bbox="1375 592 2114 1152"></div>

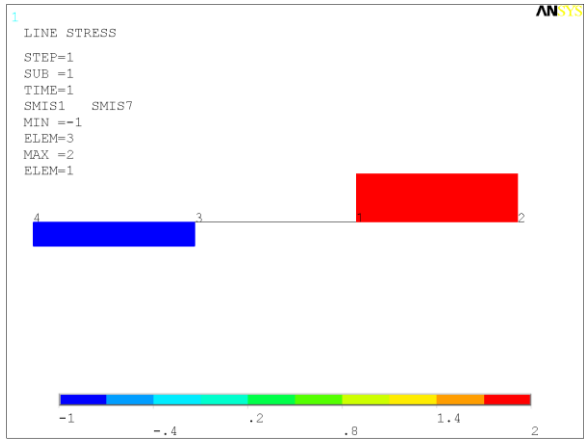
№	Действие	Результат
8	<p><i>Ключевые точки G, D, C и B:</i></p> <p>М_М > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > NPT пишем 1 X,Y,Z пишем 0,0,0 > Apply > NPT пишем 2 X,Y,Z пишем 1,0,0 > Apply > NPT пишем 3 X,Y,Z пишем 2*1,0,0 > Apply > NPT пишем 4 X,Y,Z пишем 3*1,0,0 > Apply > > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_М > Plot > Multi-Plots</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p> <p>Номер точки 1 сливается с первой цифрой номера системы координат 11, поэтому не виден.</p>	 <p>Ключевые точки</p>
9	<p><i>Три участка – три линии между точками:</i></p> <p>М_М > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line > Левой кнопкой мыши последовательно кликаем на точки 2 и 1 3 и 2 4 и 3 > OK</p>	

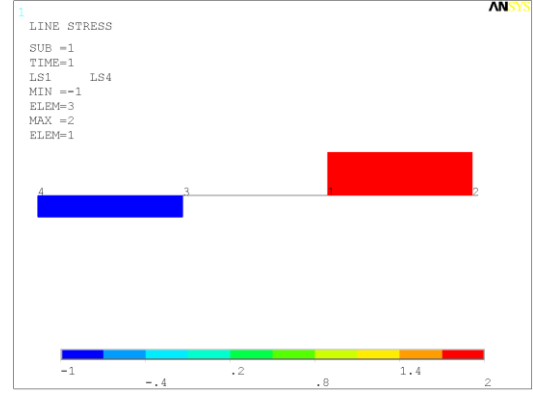
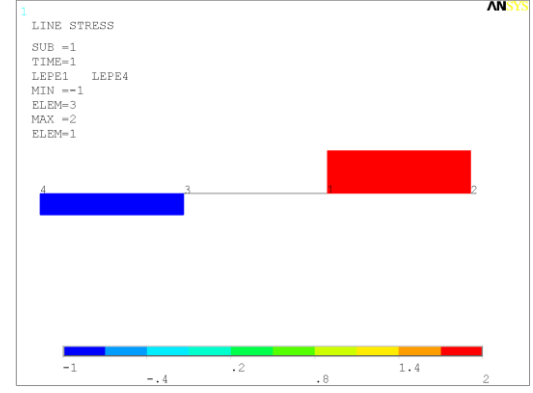
№	Действие	Результат
10	<p><i>Заделка:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 1 ключевую точку > OK ></p> <p>Lab2 установить "All DOF"</p> <p>> OK</p>	
11	<p><i>К ключевым точкам прикладываем внешние сосредоточенные силы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажимаем на точку 2 > OK ></p> <p>Lab установить "FX"</p> <p>VALUE пишем $-2 \cdot F$</p> <p>> Apply ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажимаем на точку 3 > OK ></p> <p>Lab установить "FX"</p> <p>VALUE пишем $-F$</p> <p>> Apply ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажимаем на точку 4 > OK ></p> <p>Lab установить "FX"</p> <p>VALUE пишем F</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

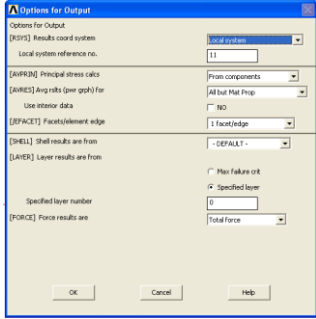
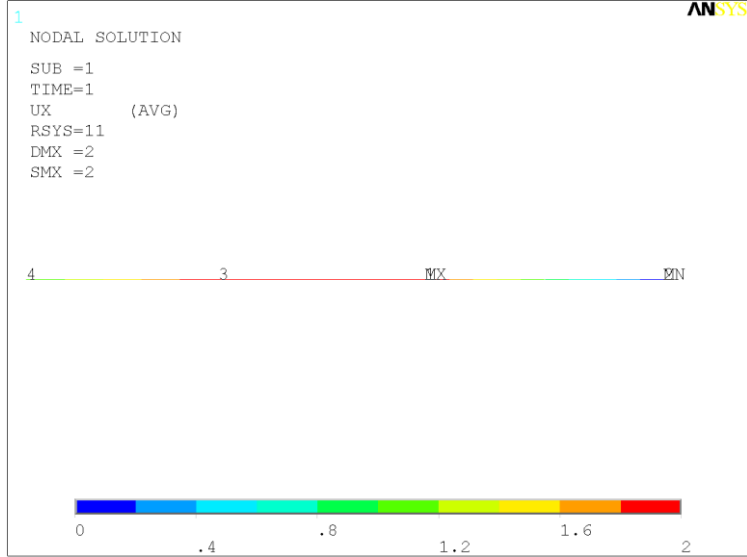
№	Действие	Результат
Конечноэлементная модель		
12	<p><i>Указываем материал, реальные константы и тип элементов, на которые будут разбиты линии твердотельной модели:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Lines >левой кнопкой мыши нажать последовательно на каждую линию L1, L2 и L3 > OK > MAT установить "1" REAL установить "1" TYPE установить "1 BEAM3" > OK</p>	
13	<p><i>Участки без распределённой нагрузки можно бить одним элементом:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Lines > Picked Lines> левой кнопкой мыши последовательно нажать на каждую линию L1, L2 и L3 > OK > NDIV пишем 1 > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

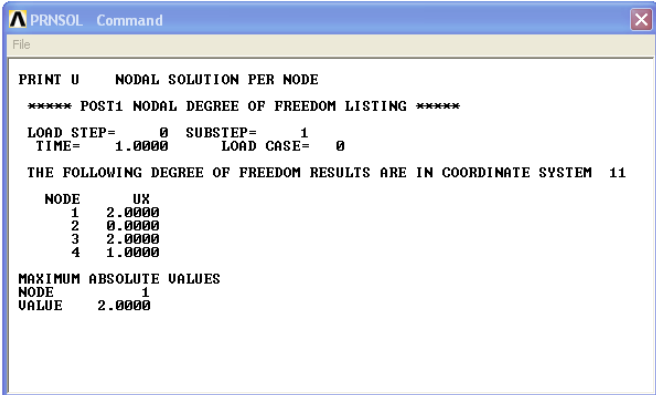
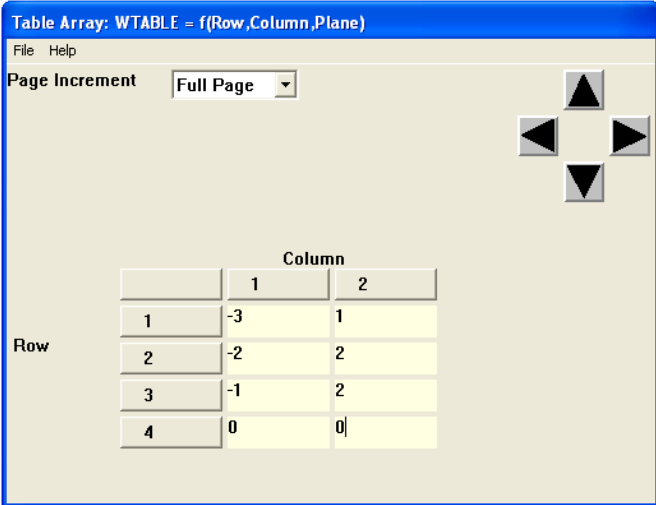
14	<p><i>Рабиваем линии на элементы:</i></p> <p>М_М > Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Левой кнопкой мыши последовательно нажать на каждую линию L1, L2 и L3 > OK ></p> <p>Обновляем изображение: U_М > Plot > Elements</p>	
15	<p><i>Переносим на конечноэлементную модель нагрузки и закрепления с модели твердотельной:</i></p> <p>М_М > Loads > Define Loads > Operate > Transfer to FE > All Solid Lds > OK</p>	
Расчёт		
16	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>М_М > 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>	

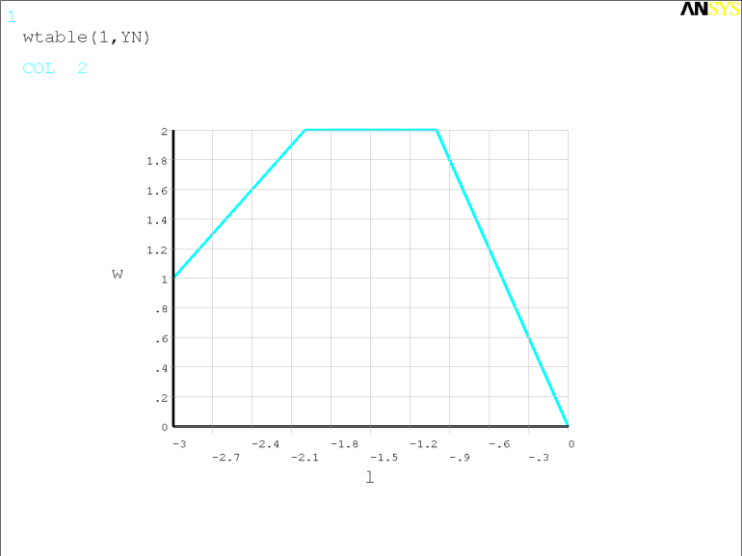
№	Действие	Результат
Просмотр результатов		
17	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual" Убираем галочку с "Miscellaneous" [/PSF] Show pres and convect as устанавливаем в положение "Arrows" [CS] установить в положение "off" > OK ></p> <p>В окне "Applied Boundary Conditions" U установить "Off" Rot установить "Off" F установить "Symbol+Value" M установить "Symbol+Value"</p> <p>> OK ></p> <p>В окне "Reactions" NFOR установить "Off" NMOM установить "Off" RFOR установить "Symbol+Value" RMOM установить "Symbol+Value"</p> <p>> OK ></p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Elements</p> <p>Если рисунок не помещается в рабочее поле, уменьшите его: справа от рабочего поля нажимаем кнопку Zoom Out .</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1а</i>. Красным цветом указаны внешние силы, малиновым цветом – реакция.</p>	

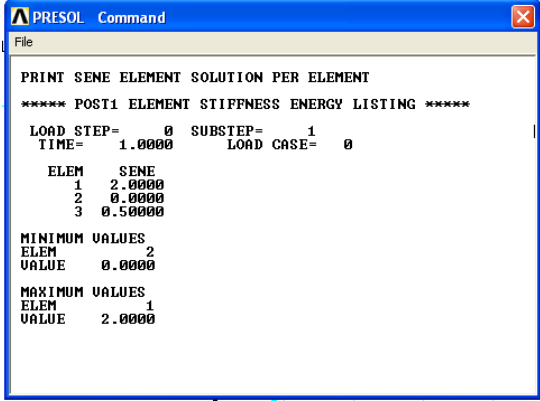
№	Действие	Результат
18	<p><i>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10 > OK</p>	
19	<p><i>Составление эпюры внутренней растягивающей осевой силы:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC," , "1" > Apply > "By sequence num", "SMISC," , "7" > OK > Close</p>	
20	<p><i>Прорисовка эпюры внутренней растягивающей осевой силы:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > LabI установить "SMIS1" LabJ установить "SMIS7" > OK</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1б</i>. Видим эпюру, состоящую из двух прямоугольников. Высоту каждого можно определить по его цвету: левый прямоугольник высотой -1, правый прямоугольник высотой +2. Цифры 1...4 есть номера узлов конечноэлементной модели (см. действие №14).</p>	

№	Действие	Результат
21	<p><i>Составление эпюры осевого напряжения:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "LS,", "1" > Apply > "By sequence num", "LS,", "4" > OK > Close</p>	
22	<p><i>Прорисовка эпюры осевого напряжения:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > LabI установить "LS1" > LabJ установить "LS4" > OK</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1в.</i> (только числа, выделенные на <i>рис. 1в.</i> синим цветом).</p>	
23	<p><i>Составление эпюры линейной осевой деформации:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "LEPEL,", "1" > Apply > "By sequence num", "LEPEL,", "4" > OK > Close</p>	
24	<p><i>Прорисовка эпюры линейной осевой деформации:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > LabI установить "LEPE1" > LabJ установить "LEPE4" > OK</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1г.</i> (только числа, выделенные на <i>рис. 1г.</i> синим цветом).</p>	

№	Действие	Результат
25	<p>Положительным в данной задаче считается перемещение ВЛЕВО, значит выводить результаты w следует в локальной системе координат №11. Укажем это:</p> <p>M_M > General Postproc > Options for Outp > [RSYS] установить "Local system" Local system reference no. пишем 11 > OK</p>	
	<p>Осевые перемещения (рис.1d.) в можно получить только дискретно, в узлах модели. Просмотреть результат можно тремя способами:</p> <p>а) Цветовая диаграмма (между узлами решение линейно интерполируется);</p> <p>б) Таблица перемещений в узлах;</p> <p>в) Эпюра (линейная интерполяция).</p> <p>Последнее – наиболее наглядно, но и наиболее трудоёмко. Просмотрим перемещения всеми тремя способами.</p>	
26	<p><i>Осевые перемещения сечений стержня (цветовая шкала):</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu > Nodal Solution > DOF Solution > X-Component of displacement > OK</p> <p>Цифры 1...4 есть номера узлов конечноэлементной модели (см. действие №14).</p> <p>Видно, что в узле 2 перемещение равно минимуму (по цветовой шкале это 0), в узле 1 перемещение максимально (по цветовой шкале это 2) и от узла 1 до узла 3 так максимальным и остаётся (весь средний участок красного цвета). От узла 3 к узлу 4 перемещение уменьшается, но не до нуля, а до зелёного цвета (это от 0,8 до 1,2 по цветовой шкале).</p> <p>Пожалуй, это вся информация, которую можно извлечь из рисунка.</p>	

№	Действие	Результат																					
27	<p>Осевые перемещения сечений стержня (таблица):</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > X-Component of displacement > OK</p> <p>Получаем окно “PRNSOL Command” с табличкой, где NODE – номер узла конечноэлементной модели, а UX – его перемещение по горизонтали. Для того, чтобы вспомнить, где какой узел, выбираем:</p> <p>U_M > Plot > Nodes</p>	 <pre>PRNSOL Command File PRINT U NODAL SOLUTION PER NODE ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ***** LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN COORDINATE SYSTEM 11 NODE UX 1 2.0000 2 0.0000 3 2.0000 4 1.0000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 1 VALUE 2.0000</pre>																					
28	<p>Осевые перемещения сечений стержня (подготовка эпюры):</p> <p>Создаём массив-таблицу с названием, например, <i>wtable</i> :</p> <p>U_M > Parameters > Array Parameters > Define/Edit > Add > Par="wtable" Type="Table" I,J,K = 4,2,1 > OK > Edit ></p> <p>Нумеруем столбец и строки массива. Заполняем массив вручную. Первый столбец – координаты узлов по возрастанию, то есть координаты узлов 2, 1, 3, 4. Расстояния между соседними узлами по <i>l</i> то есть по <i>I</i>. Причём, для того, чтобы эпюра изображалась справа налево, как на <i>рис. 1d</i>, координаты узлов указываем в глобальной системе координат в порядке возрастания. Второй столбец - перемещения UX узлов (см. действие №27). > File > Apply/Quit > Close</p>	 <p>Table Array: WTABLE = f(Row,Column,Plane)</p> <p>File Help</p> <p>Page Increment Full Page</p> <table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="2">Column</th></tr><tr><th colspan="2"></th><th>1</th><th>2</th></tr><tr><th rowspan="4">Row</th><th>1</th><td>-3</td><td>1</td></tr><tr><th>2</th><td>-2</td><td>2</td></tr><tr><th>3</th><td>-1</td><td>2</td></tr><tr><th>4</th><td>0</td><td>0</td></tr></table>			Column				1	2	Row	1	-3	1	2	-2	2	3	-1	2	4	0	0
		Column																					
		1	2																				
Row	1	-3	1																				
	2	-2	2																				
	3	-1	2																				
	4	0	0																				

№	Действие	Результат
29	<p><i>Осевые перемещения сечений стержня (прорисовка эпюры):</i></p> <p>Параметры, необходимые для построения эпюры: по горизонтальной оси будет откладываться первый столбец массива, по оси ординат – второй столбец массива.</p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters... > XN=1 > Accept > YN=2 > Accept > Close</p> <p>Сетка будет на обеих осях эпюры:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Graphs > Modify Grid > [/GRID] установить "X and Y lines" > OK</p> <p>Горизонтальную ось подписываем "L", вертикальную ось подписываем "w", интервал по горизонтальной оси устанавливаем от левого конца стержня до правого (0...L), а интервал по вертикальной оси таким, чтобы поместилась эпюра (-0,5...0):</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Graphs > Modify Axes > [/AXLAB] X-axis label пишем L [/AXLAB] Y-axis label пишем w [/XRANGE] установить "Specified range" XMIN, XMAX установить "-3*L" и "0" [/YRANGE] установить "Specified range" YMIN, YMAX установить "0" и "2*F*L/E/A" > OK</p> <p>Прорисовываем эпюру:</p> <p>U_M > Plot > Array Parameters ParX установить "wtable(1,XN)" ParY установить "wtable(1,YN)" > OK</p>	

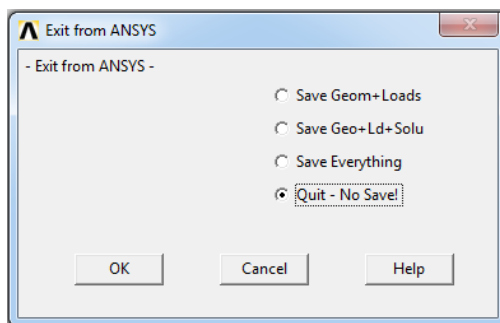
№	Действие	Результат
30	<p><i>Потенциальная энергия упругой деформации U:</i></p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Element Solution > Energy > Strain energy > OK</p> <p>Получаем список «Элемент-энергия». Суммируем энергию:</p> $U = 2 + 0 + 0,5 = 2,5 = \frac{5}{2}$ <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1е</i>. (только коэффициент перед формулой на <i>рис. 1е</i>).</p>	 <pre> PRESOL Command File PRINT SENE ELEMENT SOLUTION PER ELEMENT ***** POST1 ELEMENT STIFFNESS ENERGY LISTING ***** LOAD STEP= 0 SUBSTEP= 1 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0 ELEM SENE 1 2.0000 2 0.0000 3 0.50000 MINIMUM VALUES ELEM 2 VALUE 0.0000 MAXIMUM VALUES ELEM 1 VALUE 2.0000 </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.