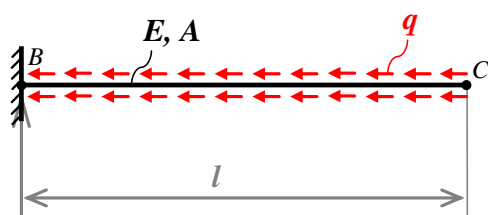


A-05 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: Консольный стержень нагружен распределённой осевой силой q .
 E – модуль упругости материала;
 A – площадь поперечного сечения.

Найти: эпюра N – внутренняя осевая растягивающая сила; эпюра σ – осевое напряжение; эпюра ϵ – осевая деформация; эпюра w – осевое перемещение сечений; потенциальная энергия упругого деформирования U .

Аналитический расчёт (см. A-05) даёт следующие решения:

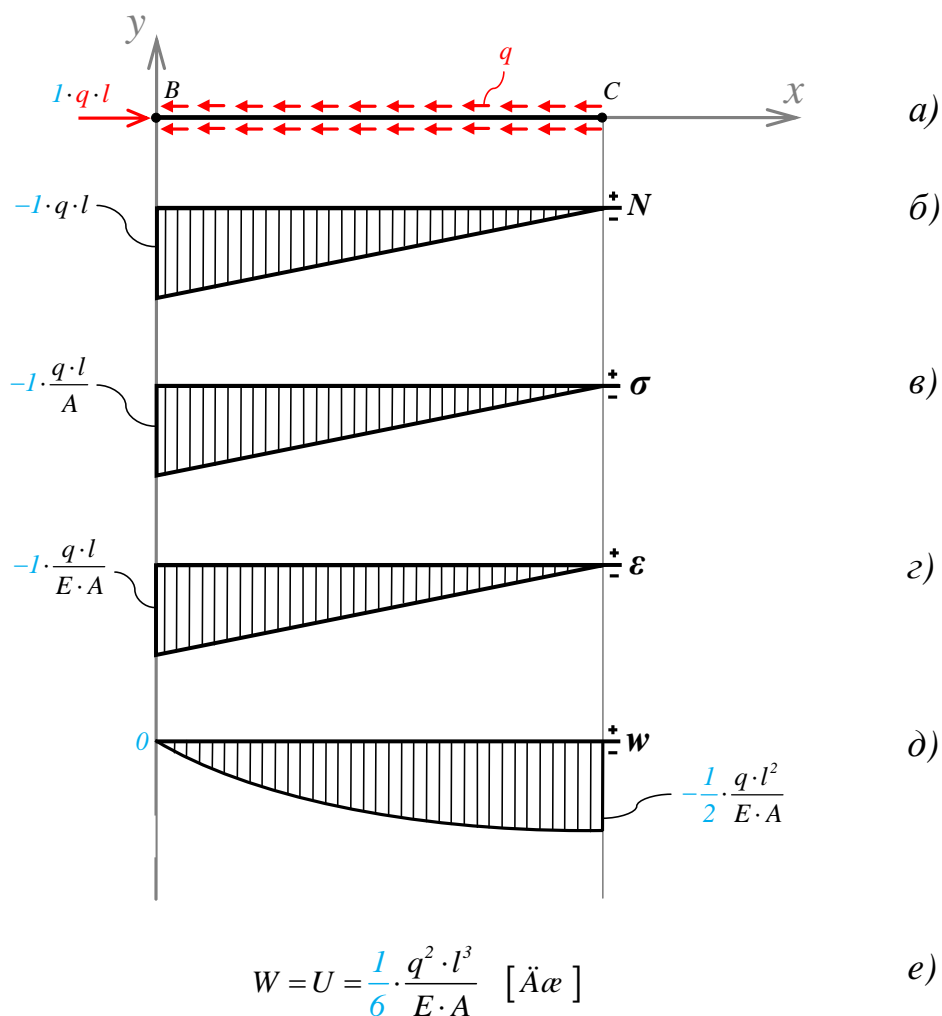
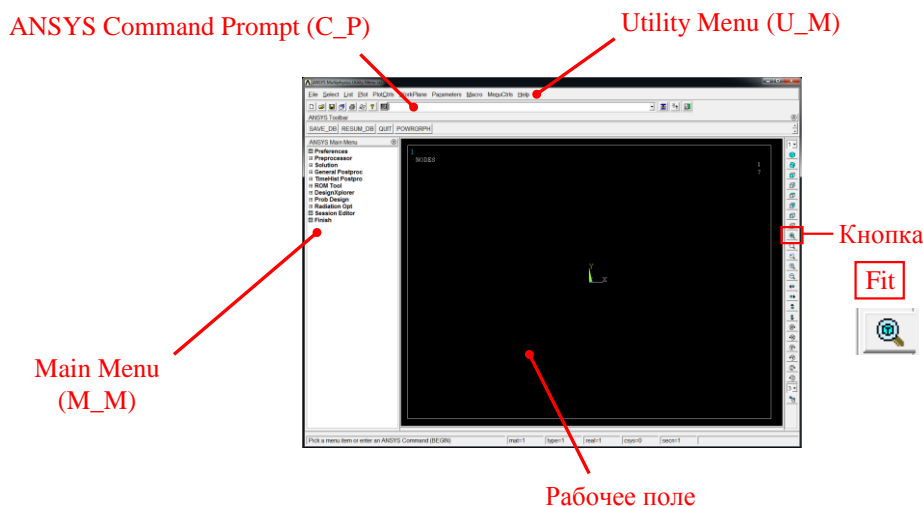


Рис. 1.

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 и элементы 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

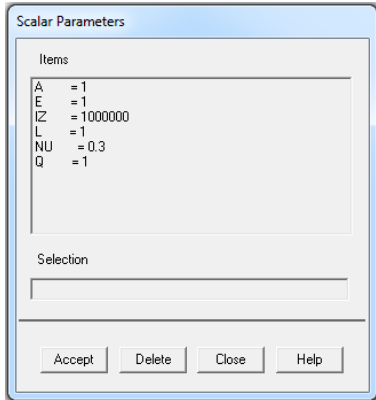
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```



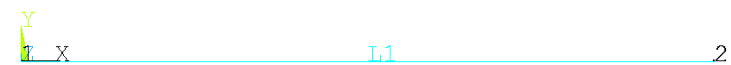
Установить «Размер» на «22» > OK

Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.


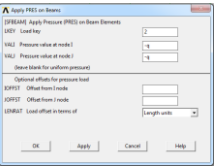
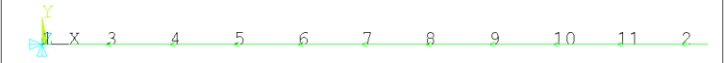
Решение задачи:

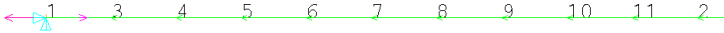
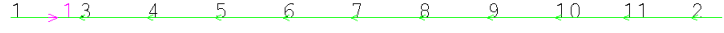
Приравняв E , A , q и l , к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на рис. 1. синим цветом.

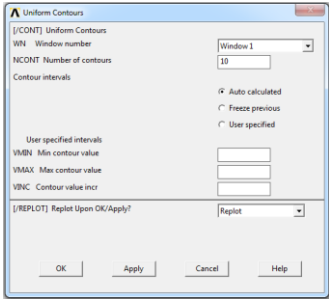
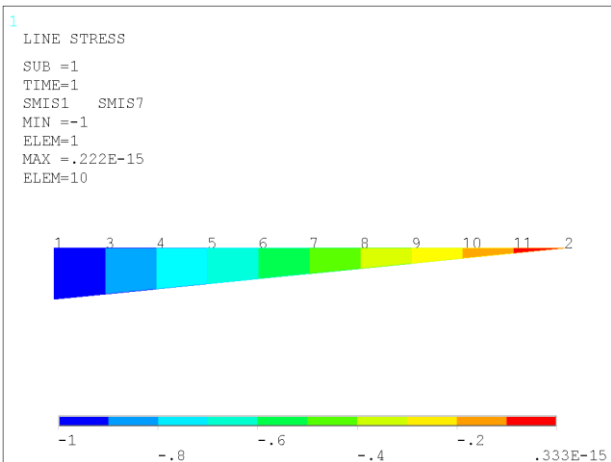
№	Действие	Результат
1	<p>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters > E=1 > Accept > A=1 > Accept > Iz=1e6 > Accept > q=1 > Accept > l=1 > Accept > nu=0.3 > Accept > Close</p> <p>Iz – изгибный момент инерции поперечного сечения; nu – коэффициент Пуассона для металлов.</p>	
2	<p>Первая строчка в таблице конечных элементов – плоский балочный тип BEAM3:</p> <p>M_M > Preprocessor 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 > Structural > Linear > Elastic > Isotropic > EX пишем "E", PRXY пишем "nu" > OK > Закрываем окно «Deine Material Model Behavior».</p>	

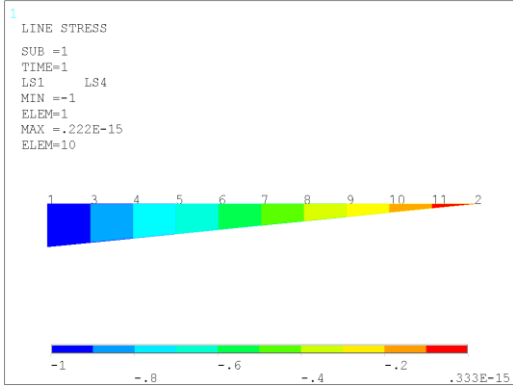
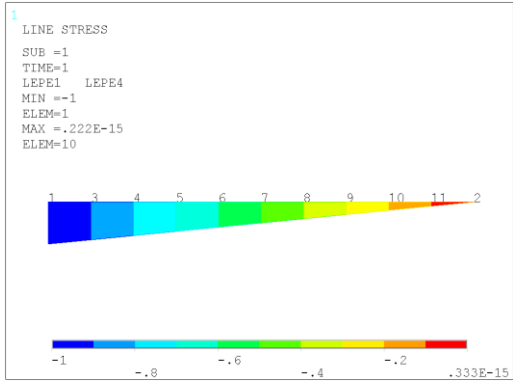
№	Действие	Результат
Твердотельное моделирование		
5	<p><i>Ключевые точки – границы участков (две точки):</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS ></p> <p>NPT пишем 1 X,Y,Z пишем 0,0,0</p> <p>> Apply ></p> <p>NPT пишем 2 X,Y,Z пишем 1,0,0</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p>	
6	<p><i>Один участок – одна линия между точками:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать последовательно на 1 ключевую точку, потом на 2</p> <p>> OK</p>	
7	<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" > OK</p>	

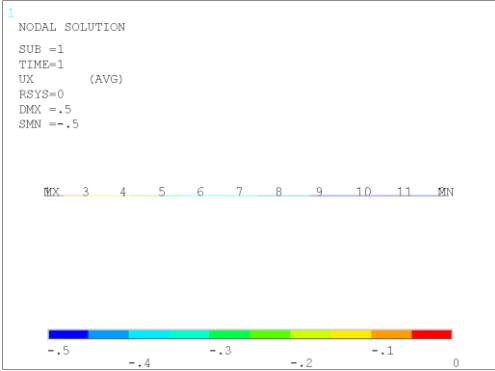
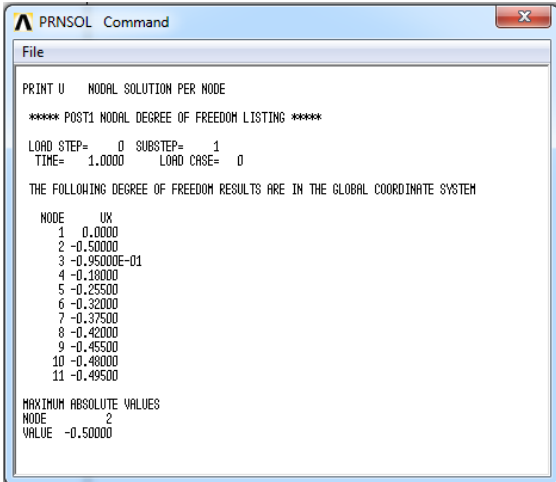
№	Действие	Результат
Конечноэлементная модель		
8	<p><i>Указываем материал, реальные константы и тип элементов, на которые будут разбиты линии твердотельной модели:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Lines >левой кнопкой мыши нажать на линию L1 > OK > MAT установить "1" REAL установить "1" TYPE установить "1 BEAM3" > OK</p>	
9	<p><i>Участок с распределённой нагрузкой нужно бить несколькими конечными элементами (чем их больше, тем выше точность и меньше наглядность):</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Lines > Picked Lines> левой кнопкой мыши нажать на линию L1 > OK > NDIV пишем 10 > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
10	<p><i>Разбиваем линию на элементы (в данном случае, десять элементов):</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > левой кнопкой мыши нажать на линию L1 > OK ></p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Elements</p>	

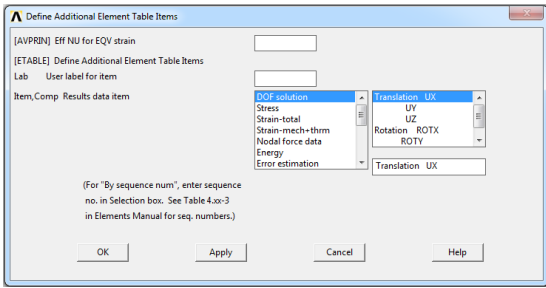
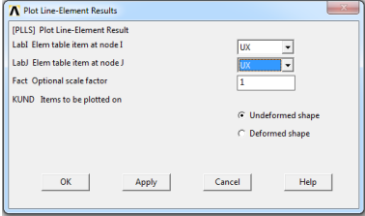
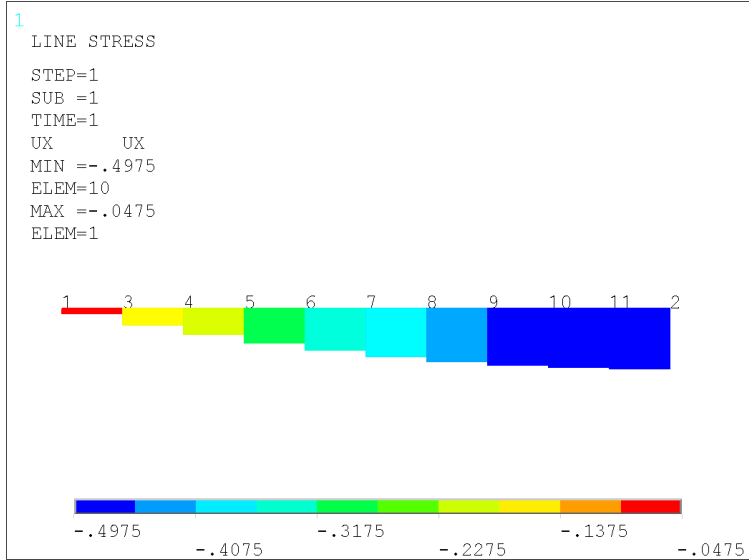
№	Действие	Результат
11	<p><i>Переносим на конечноэлементную модель закрепления с модели твердотельной:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Operate > Transfer to FE > All Solid Lds > OK</p>	
12	<p><i>Распределённую осевую нагрузку q прикладываем непосредственно к балочным элементам. Элементы ориентированы по твердотельной линии L1, а линия – от т.1 до т.2, то есть, слева направо. Значит, распределённая нагрузка, направленная справа налево должна быть отрицательна:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Beams ></p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать из каждый из 10 балочных элементов > OK ></p> <p>LKEY пишем 2</p> <p>VALI пишем -q</p> <p>VALJ пишем -q</p> <p>> OK</p>  <p>Окно “Both solid model and finite element...” просто закройте, если появится.</p>	
Расчёт		
13	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M > 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>	

Просмотр результатов		
14	<p><i>Скрываем оси системы координат:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Window Controls > Window Options > [/Triad] установить "Not Shown"</p> <p>> OK</p>	
15	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous"</p> <p>[/PSF] устанавливаем в положение "Pressures"</p> <p>> OK ></p> <p>В окне "Applied Boundary Conditions" U установить "Off"</p> <p>Rot установить "Off"</p> <p>F установить "Symbol+Value"</p> <p>M установить "Symbol+Value"</p> <p>> OK ></p> <p>В окне "Reactions" NFOR установить "Off"</p> <p>NMOM установить "Off"</p> <p>RFOR установить "Symbol+Value"</p> <p>RMOM установить "Symbol+Value"</p> <p>> OK ></p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Elements</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1а</i>.</p> <p>Зелёным цветом указана внешняя распределённая сила q, малиновым цветом – реакция.</p>	

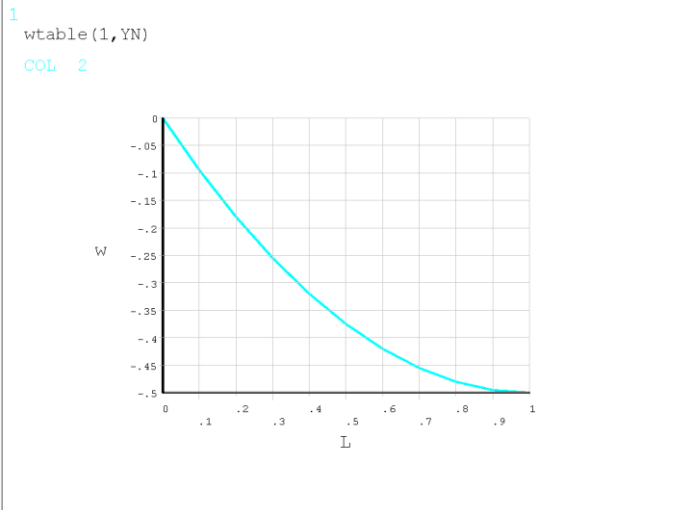
№	Действие	Результат
16	<p><i>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10 > OK</p>	
17	<p><i>Составление эпюры внутренней растягивающей осевой силы:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC," , "1" > Apply > "By sequence num", "SMISC," , "7" > OK > Close</p>	
18	<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>. Точно нуль у ANSYS не получился, получилось очень малое число $0,333 \cdot 10^{-15}$. Видим эпюру, высота каждого столбика которой можно определить по его цвету. Цифры 1...11 есть номера узлов конечноэлементной модели (см. действие №10).</p>	

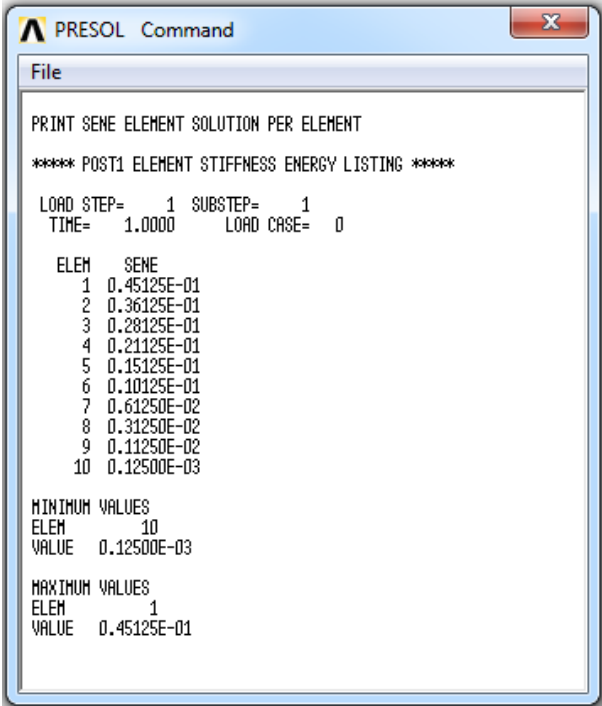
№	Действие	Результат
19	<p><i>Составление эпюры осевого напряжения:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "LS,", "1" > Apply > "By sequence num", "LS,", "4" > OK > Close</p>	
20	<p><i>Прорисовка эпюры осевого напряжения:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > LabI установить "LS1" > LabJ установить "LS4" > OK</p> <p>Получаем тот же результат, что и на рис. 1в. (только числа, выделенные на рис. 1в. синим цветом). Эпюра MIN=-1, MAX≈0.</p>	
21	<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>	
22	<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 рис. 1г. (только числа, выделенные на рис. 1г. синим цветом). Эпюра MIN=-1, MAX≈0..</p>	

№	Действие	Результат
	<p>Осевые перемещения (<i>рис.10.</i>) 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) Дискретная эпюра (перемещение по всей длине элемента осредняется);</p> <p>г) Эпюра (линейная интерполяция).</p> <p>Последнее – наиболее наглядно, но и наиболее трудоёмко. Просмотрим перемещения всеми тремя способами.</p>	
23	<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...11 есть номера узлов конечноэлементной модели (см. действие №10).</p>	
24	<p><i>Осевые перемещения сечений стержня (таблица):</i></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 (“+” – по оси X, “-” - против). Для того, чтобы вспомнить, где какой узел, выбираем:</p> <p>U_M > Plot > Nodes</p>	

№	Действие	Результат
25	<p><i>Вычисление дискретной эпюры осевых перемещений:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > В левом списке выбрать "DOF solution" потом в правом верхнем списке выбрать "Translation UX" > OK > Close</p>	
26	<p><i>Прорисовка дискретной эпюры осевых перемещений:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > LabI установить "UX" LabJ установить "UX" > OK</p>  <p>В рабочем поле появляется столбчатая диаграмма, аппроксимирующая эпюру осевых перемещений <i>рис. 1д</i>. Ширина столбика соответствует длине элемента, на котором он рисуется, высота указывается цветом (внизу рабочего поля приведена цветовая шкала), соответствует алгебраическому среднему перемещений w начального и конечного узлов элемента. Это легко проверить по таблице из действия 24.</p> <p>Чем больше будет количество элементов, на которые разбит рассматриваемый участок стержня, тем ближе эпюра, которую мы видим в рабочем поле, будет к эпюре <i>рис. 1д</i>.</p>	 <p>1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 UX UX MIN =- .4975 ELEM=10 MAX =- .0475 ELEM=1</p> <p>1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 2</p> <p>- .4975 - .4075 - .3175 - .2275 - .1375 - .0475</p>

№	Действие	Результат																																																		
27	<p>Осевые перемещения сечений стержня (подготовка эпюры):</p> <p>Создаём массив-таблицу с названием, например, <i>wtable</i> :</p> <pre>U_M > Parameters > Array Parameters > Define/Edit > Add > Par="wtable" Type="Table" I,J,K = 11,2,1 > OK > Edit ></pre> <p>Нумеруем столбец и строки массива.</p> <p>Заполняем массив вручную. Первый столбец – координаты узлов по возрастанию, то есть координаты узлов 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 2. Расстояния между соседними узлами по <i>l/10</i> то есть по <i>0,1</i>. Второй столбец - перемещения UX узлов (см. действие №24).</p> <p>Все 11 строк на одной странице не умещаются. Пользуйтесь кнопками для перелистывания в верхнем правом углу окна.</p> <pre>> File > Apply/Quit > Close</pre>	<div><div>Table Array: WTABLE = f(Row,Column,Plane)</div><div><div>File Help</div><div>Page Increment Full Page</div><div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><table><tr><td></td><td></td><td>Column</td></tr><tr><td></td><td></td><td>12</td></tr><tr><td rowspan="9">Row</td><td>1</td><td>00</td></tr><tr><td>2</td><td>0.1-0.095</td></tr><tr><td>3</td><td>0.2-0.18</td></tr><tr><td>4</td><td>0.3-0.255</td></tr><tr><td>5</td><td>0.4-0.32</td></tr><tr><td>6</td><td>0.5-0.375</td></tr><tr><td>7</td><td>0.6-0.42</td></tr><tr><td>8</td><td>0.7-0.455</td></tr><tr><td>9</td><td>0.8-0.48</td></tr></table></div></div> <div><div>Table Array: WTABLE = f(Row,Column,Plane)</div><div><div>File Help</div><div>Page Increment Full Page</div><div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><table><tr><td></td><td></td><td>Column</td></tr><tr><td></td><td></td><td>12</td></tr><tr><td rowspan="11">Row</td><td>3</td><td>0.2-0.18</td></tr><tr><td>4</td><td>0.3-0.255</td></tr><tr><td>5</td><td>0.4-0.32</td></tr><tr><td>6</td><td>0.5-0.375</td></tr><tr><td>7</td><td>0.6-0.42</td></tr><tr><td>8</td><td>0.7-0.455</td></tr><tr><td>9</td><td>0.8-0.48</td></tr><tr><td>10</td><td>0.9-0.495</td></tr><tr><td>11</td><td>1-0.5</td></tr></table></div></div>			Column			12	Row	1	00	2	0.1-0.095	3	0.2-0.18	4	0.3-0.255	5	0.4-0.32	6	0.5-0.375	7	0.6-0.42	8	0.7-0.455	9	0.8-0.48			Column			12	Row	3	0.2-0.18	4	0.3-0.255	5	0.4-0.32	6	0.5-0.375	7	0.6-0.42	8	0.7-0.455	9	0.8-0.48	10	0.9-0.495	11	1-0.5
		Column																																																		
		12																																																		
Row	1	00																																																		
	2	0.1-0.095																																																		
	3	0.2-0.18																																																		
	4	0.3-0.255																																																		
	5	0.4-0.32																																																		
	6	0.5-0.375																																																		
	7	0.6-0.42																																																		
	8	0.7-0.455																																																		
	9	0.8-0.48																																																		
		Column																																																		
		12																																																		
Row	3	0.2-0.18																																																		
	4	0.3-0.255																																																		
	5	0.4-0.32																																																		
	6	0.5-0.375																																																		
	7	0.6-0.42																																																		
	8	0.7-0.455																																																		
	9	0.8-0.48																																																		
	10	0.9-0.495																																																		
	11	1-0.5																																																		

№	Действие	Результат
28	<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 "0" и "1" [/YRANGE] установить "Specified range" YMIN,YMAX установить "-0.5" и "0" > OK</p> <p>Прорисовываем эпюру:</p> <p>U_M > Plot > Array Parameters ParX установить "wtable(1,XN)" ParY установить "wtable(1,YN)" > OK</p>	 <p>1 wtable(1,YN) COL 2</p>

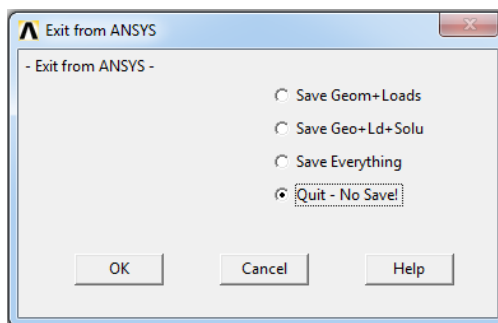
№	Действие	Результат
29	<p><i>Потенциальная энергия упругой деформации U:</i></p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Element Solution > Energy > Strain energy > OK</p> <p>Получаем список «Элемент-энергия». Суммируем энергию:</p> $U = 0,045125 + 0,036125 + 0,028125 + 0,021125 + 0,015125 + 0,010125 +$ $+ 0,006125 + 0,003125 + 0,001125 + 0,000125 =$ $= 0,16625 = \frac{1}{6,015} \cdot \frac{q^2 \cdot l^3}{E \cdot A} \quad [\text{Ä}\alpha]$ <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1е</i>. (только коэффициент перед формулой, выделенный на <i>рис. 1е</i> синим цветом).</p>	 <pre> PRESOL Command File PRINT SEWE ELEMENT SOLUTION PER ELEMENT **** POST1 ELEMENT STIFFNESS ENERGY LISTING **** LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0 ELEM SEWE 1 0.45125E-01 2 0.36125E-01 3 0.28125E-01 4 0.21125E-01 5 0.15125E-01 6 0.10125E-01 7 0.61250E-02 8 0.31250E-02 9 0.11250E-02 10 0.12500E-03 MINIMUM VALUES ELEM 10 VALUE 0.12500E-03 MAXIMUM VALUES ELEM 1 VALUE 0.45125E-01 </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.