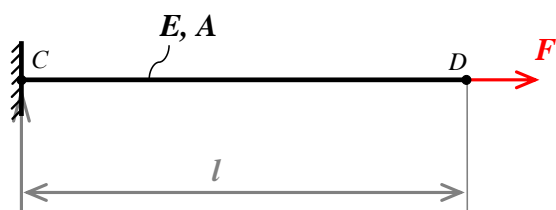


A-04 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: Консольный стержень нагружен

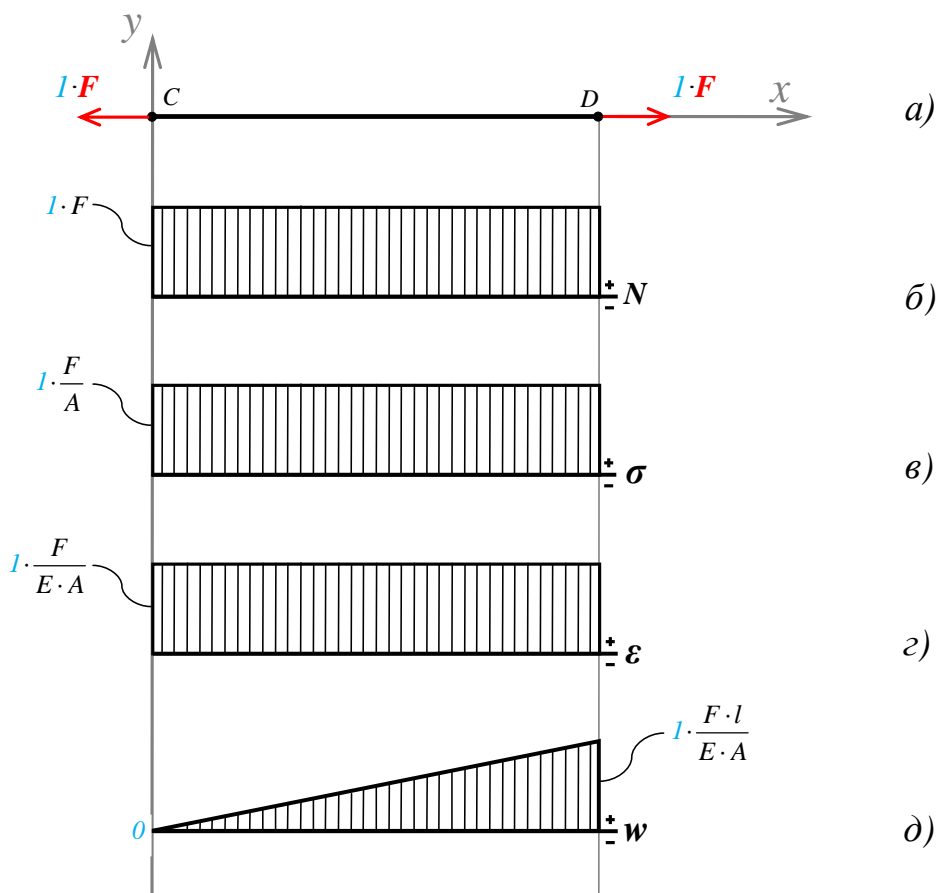
осевой силой F в точке D .

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-04) даёт следующие решения:



$$W = U = \frac{l}{2} \cdot \frac{F^2 \cdot l}{E \cdot A} \quad [\text{Дж}] \quad e)$$

Рис. 1.

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multyphysics получить эти же решения методом конечных элементов.

Предварительные настройки:

Для решения задачи используется ANSYS Multiphysics 14.0:

ANSYS Command Prompt (C_P)

Utility Menu (U_M)

Main Menu
(M_M)

Кнопка

Fit

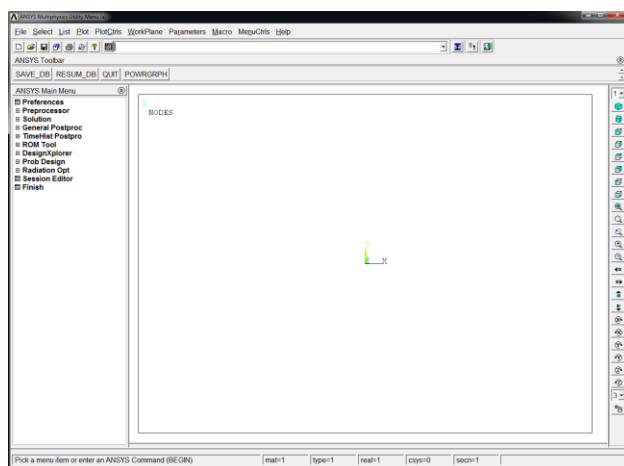
Рабочее поле

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**.

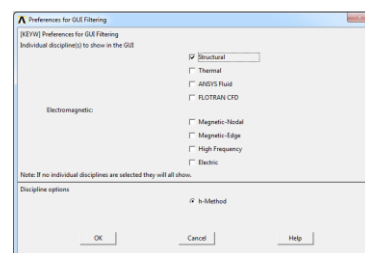
Чёрное рабочее поле не всегда приятно для глаза. Кроме того, оно неудобно для печати рисунков. Меняем чёрный цвет фона на белый следующими действиями:

U_M > PlotCtrls > Style > Colors
> Reverse Video



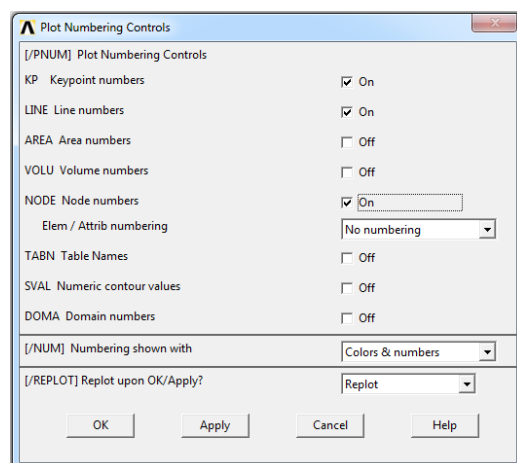
Убрать пункты меню, относящиеся к расплавам, магнитам и так далее, оставить только относящиеся к прочностным расчётам:

M_M > Preferences > Отметить "Structural" > OK



При построениях полезно видеть номера точек и линий твердотельной модели а также номера узлов модели конечноэлементной:

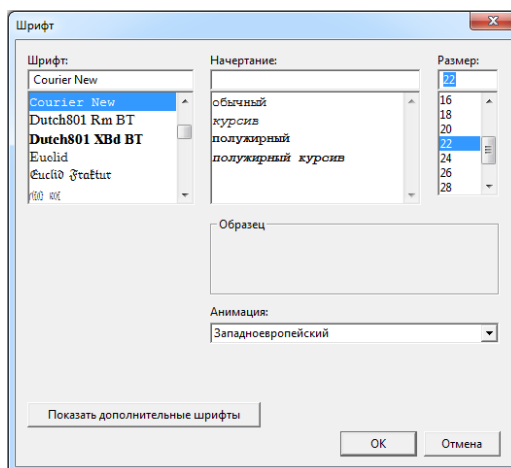
```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить KP, LINE, NODE ;
Установить Elem на "No numbering";
Установить [/NUM] на "Colors & numbers"
> OK
```



Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

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

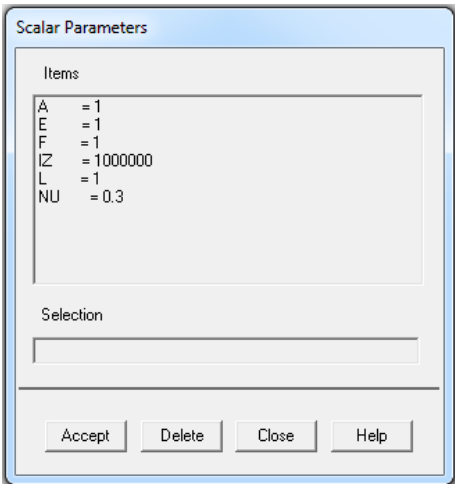
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
Установить «Размер» на «22»
> OK
```

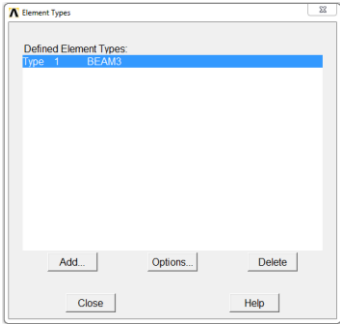
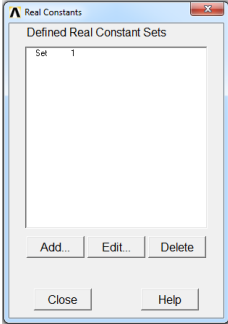
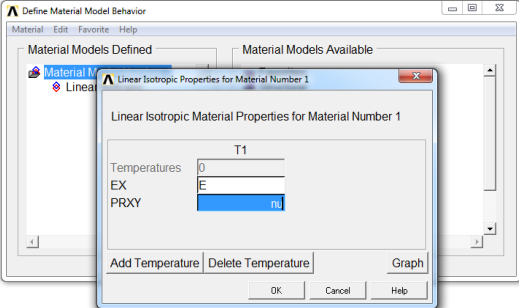


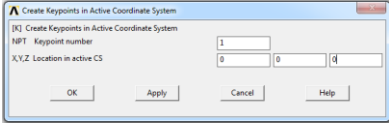
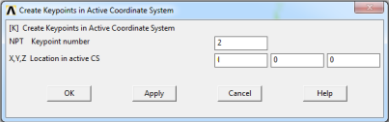



Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

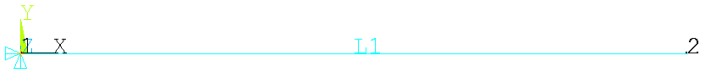

Решение задачи:

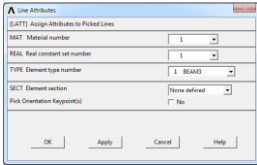
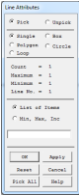
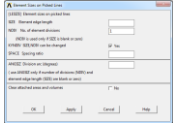
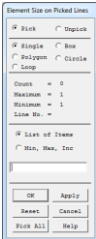



Обратите внимание: конечноэлементный метод решения задач *численный*, он принимает и выдаёт только *числа*. Задача же сформулирована *в общем виде* – в буквенных обозначениях, из которых потом складываются формулы. Выход можно найти, приравняв базовые величины задачи *E, A, F* и *l*, к единице. Тогда результаты мы получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

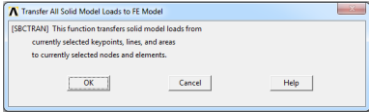


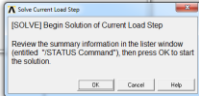
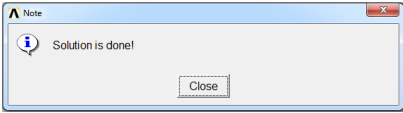
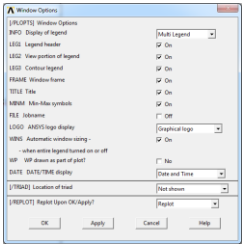

№	Действие	Результат
1	<p>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters ></p> <p>В строке "Selection" последовательно набрать (всё латиницей!):</p> <p>E=1 > Accept > A=1 > Accept > Iz=1e6 > Accept > F=1 > Accept > l=1 > Accept > nu=0.3 > Accept ></p> <p>Iz – изгибный момент инерции поперечного сечения стержня; должен быть очень большим для того, чтобы стержень не гнулся а только сжимался и растягивался; nu – коэффициент Пуассона для металлов.</p> <p>После нажатия клавиши Ассепт, введенный параметр добавляется в список Items. Закреть окно ввода параметров:</p> <p>> Close</p>	




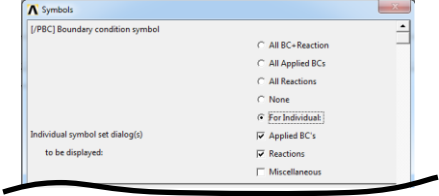
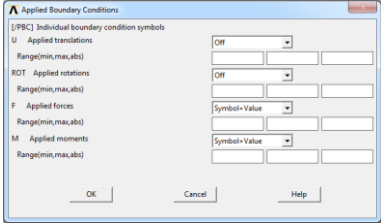
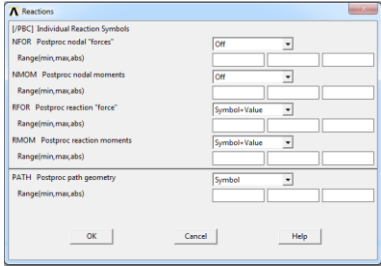
№	Действие	Результат
2	<p><i>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский балочный тип BEAM3:</i></p> <p>M_M > Preprocessor C_P > ET,1,BEAM3 > Enter</p> <p>Посмотрим таблицу конечных элементов:</p> <p>M_M > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Close</p>	
3	<p><i>Первая строка в таблице параметров («реальных констант») выбранного типа конечного элемента: Площадь поперечного сечения = A; момент инерции = Iz; высота = l/10 (не будем использовать, но формально надо что-то задать, например l/100).</i></p> <p>C_P > R,1,A,Iz,L/10 > Enter</p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант:</p> <p>M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Close</p>	
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 > в окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu" > OK</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	

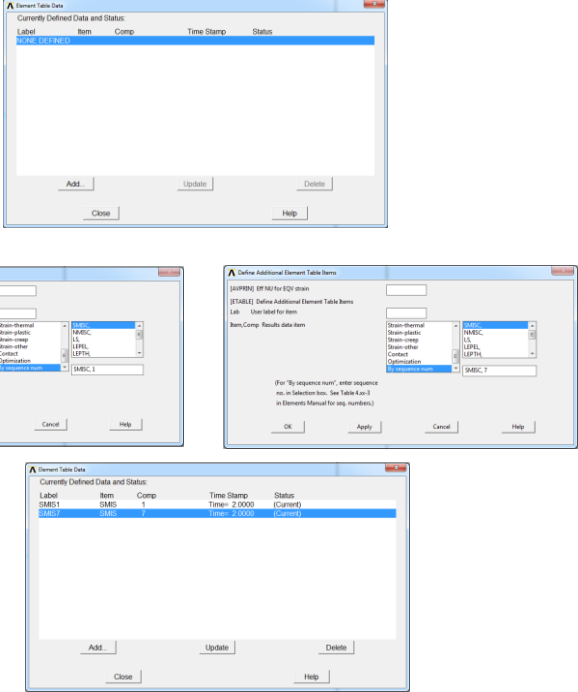

№	Действие	Результат
Твердотельное моделирование		
5	<p><i>Ключевые точки – границы участков (две точки):</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS ></p> <p>NPT пишем 1 X,Y,Z пишем 0,0,0</p>  <p>> Apply ></p> <p>NPT пишем 2 X,Y,Z пишем 1,0,0</p>  <p>> OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p>	 <div style="text-align: right;">2</div>
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>	 <div style="text-align: right;">2</div>



№	Действие	Результат
7	<p><i>Заделка:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints > Левой кнопкой мыши нажать на 1 ключевую точку > OK > Lab2 установить "All DOF" > OK</p>	
8	<p><i>Сосредоточенная горизонтальная сила, направленная против оси X, величиной F:</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 "FX" VALUE установить "F" > OK</p>	

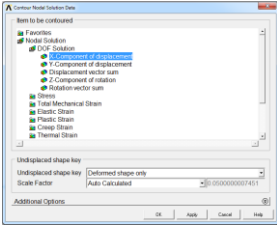
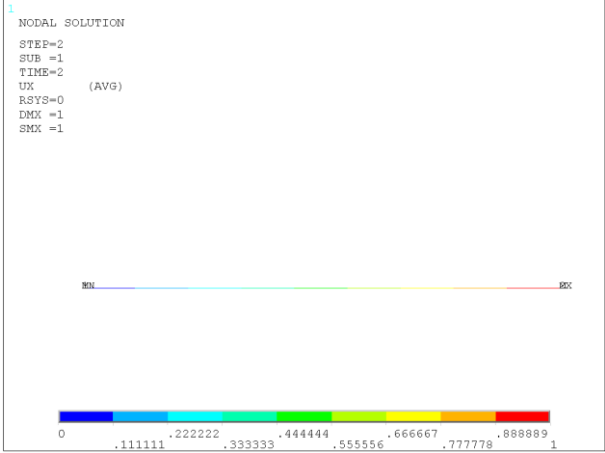
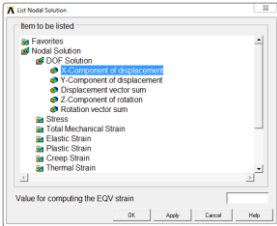
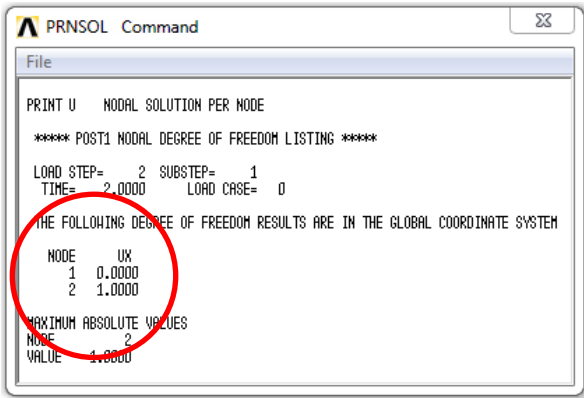
№	Действие	Результат
Конечноэлементная модель		
9	<p>Указываем материал, реальные константы и тип элементов, на которые будут разбиты линии твердотельной модели:</p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Lines >левой кнопкой мыши нажать на линию L1 > OK > MAT установить "1" REAL установить "1" TYPE установить "1 BEAM3" > OK</p>  	
10	<p>Участок без распределённых нагрузок можнобить одним конечным элементом:</p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Lines > Picked Lines >левой кнопкой мыши нажать на линию L1 > OK > NDIV пишем 1 > OK</p>   <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
11	<p>Рабиваем линию на элементы (в данном случае, один элемент):</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> 	

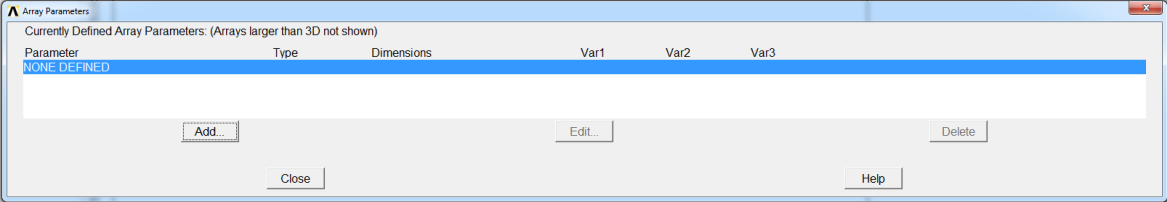
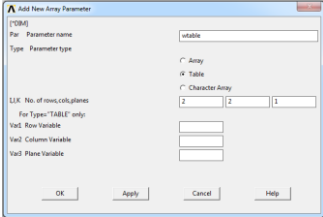
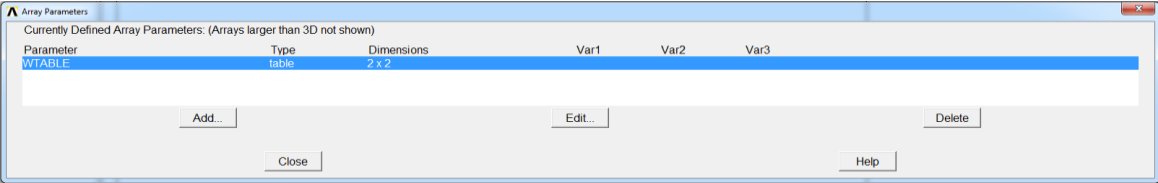
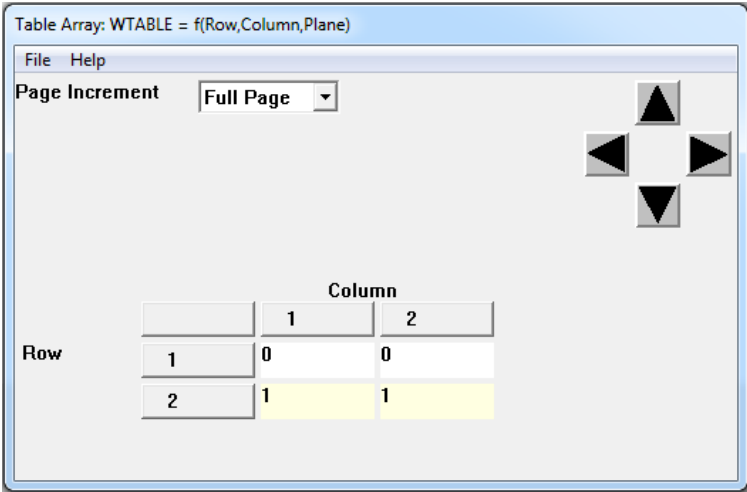
№	Действие	Результат
12	<p><i>Действие необязательное, но наглядное. Переносим на конечноэлементную модель нагрузки и закрепления с модели твердотельной:</i></p> <p>M_M > Loads > Define Loads > Operate > Transfer to FE > All Solid Lds > OK</p> 	
Расчёт		
13	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M > Solution > Solve > Current LS</p> <p>Синхронно появляются два окна: белое информационное и серое исполнительное. Белое закрываем, на сером нажимаем ОК. Расчёт пошёл.</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно. 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" > OK</p> 	


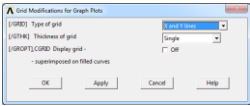
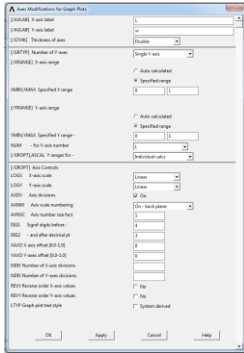
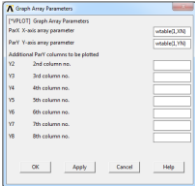
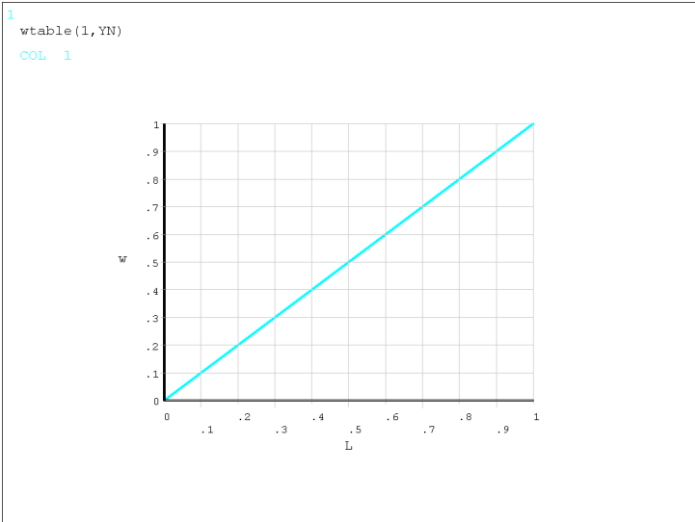
№	Действие	Результат
15	<p>Силовая схема:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous"</p> <p>> OK ></p> <p>В окне "Applied Boundary Conditions"</p> <p>U установить "Off"</p> <p>Rot установить "Off"</p> <p>F установить "Symbol+Value"</p> <p>M установить "Symbol+Value"</p> <p>> OK ></p> <p>В окне "Reactions"</p> <p>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:</p> <p>U_M > Plot > Elements</p> <p>Если изображение не помещается в рабочее поле, корректируйте масштаб кнопками  или  на той же панели, что и кнопка Fit .</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1а</i>. Красным цветом указана сила, малиновым цветом – реакция. Знак «минус» при реакции указывает её абсолютное направление – против оси X.</p>	   <p>←1 1 ————— 2→1</p>

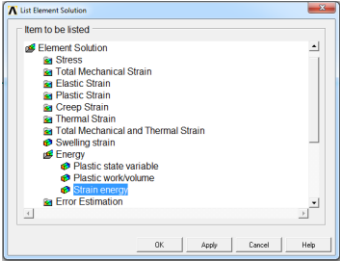
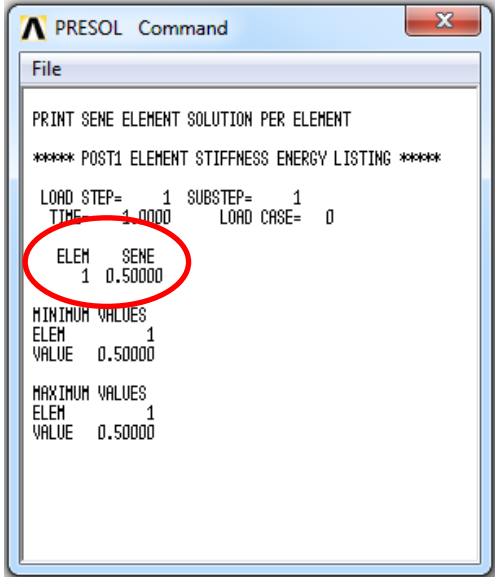
№	Действие	Результат
16	<p><i>Составление эпюры внутренней растягивающей осевой силы:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add ></p> <p>В левом списке выбрать "By sequence num"</p> <p>потом</p> <p>в правом верхнем списке выбрать "SMISC,"</p> <p>потом</p> <p>в правом нижнем списке к надписи "SMISC," приписать слева "1".</p> <p>> Apply ></p> <p>Снова: "By sequence num", "SMISC," "7"</p> <p>> OK > Close</p> <p>Эта операция называется «заполнение таблицы элементов». Создаётся база данных, по которым будут выводиться результаты.</p>	
17	<p><i>Прорисовка эпюры внутренней растягивающей осевой силы:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot</p> <p>> Line Elem Res ></p> <p>Установить LabI в положение "SMIS1"</p> <p>Установить LabJ в положение "SMIS7"</p> <p>> OK</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 16</i>. (только числа, выделенные на <i>рис. 16</i> синим цветом). Эпюра, минимальное значение которой MIN=1, максимальное MAX=1, как и должно быть у прямоугольника.</p>	

№	Действие	Результат
18	<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>	
19	<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). Эпюра MIN=1 , MAX=1, как и должно быть у прямоугольника.</p>	
20	<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>	
21	<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). Эпюра MIN=1 , MAX=1, как и должно быть у прямоугольника.</p>	

№	Действие	Результат
	<p>Осевые перемещения (рис.10.) 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>	
22	<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>Конечный элемент раскрашивается цветами, каждый из которых соответствует своему интервалу перемещений. Соответствие цветов и интервалов устанавливает цветовая шкала внизу. Крайнее левое её значение («0», начало синего цвета) это минимальное значение осевого перемещения в конструкции, крайнее правое («1», конец красного)-максимальное.</p>	
23	<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).</p> <p>Для того, чтобы вспомнить, где какой узел, выбираем:</p> <p>U_M > Plot > Nodes</p>	

№	Действие	Результат
24	<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 ></p> <div></div> <p>> Add ></p> <div></div> <p>Par="wtable" Type="Table" I, J, K = 2, 2, 1</p> <p>> OK ></p> <div></div> <p>> Edit ></p> <p>Нумеруем столбец и строки массива. Заполняем массив вручную. Первый столбец – координаты узлов (по возрастанию). Второй столбец - перемещения UX узлов (см. действие №21).</p> <p>> File > Apply/Quit > Close</p>	<div></div>

№	Действие	Результат
25	<p>Осевые перемещения сечений стержня (прорисовка эпюры):</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...1):</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" и "1" > OK</p>  <p>Прорисовываем эпюру:</p> <p>U_M > Plot > Array Parameters ParX установить "wtable(1,XN)" ParY установить "wtable(1,YN)" > OK</p> 	

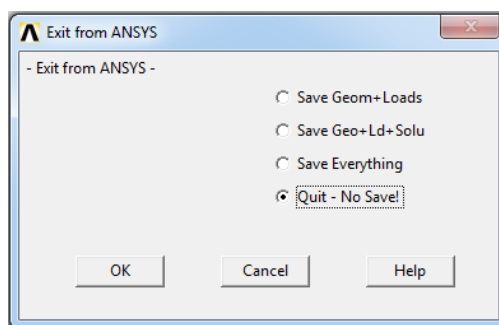
№	Действие	Результат
26	<p>Потенциальная энергия упругой деформации U:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Element Solution > Energy > Strain energy > OK</p>  <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1е</i>. (только коэффициент перед формулой, выделенный на <i>рис. 1е</i>. синим цветом):</p> $U = \frac{1}{2} \cdot \frac{F^2 \cdot l}{E \cdot A} \quad [\text{Дж}]$	 <pre> PRESOL Command File PRINT SEGE ELEMENT SOLUTION PER ELEMENT **** POST1 ELEMENT STIFFNESS ENERGY LISTING **** LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1 TIME = 1.0000 LOAD CASE= 0 ELEM SEGE 1 0.50000 MINIMUM VALUES ELEM 1 VALUE 0.50000 MAXIMUM VALUES ELEM 1 VALUE 0.50000 </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.