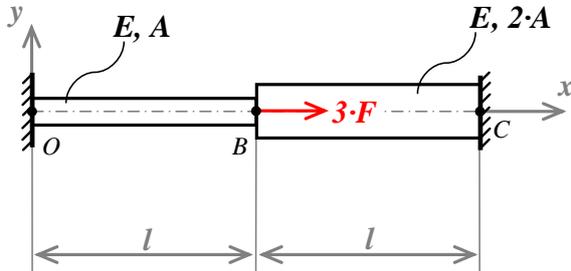


## B-02 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: Стержень между двумя заделками  
нагружен осевой силой.

$E$  – модуль упругости материала;  
 $A$  – площадь поперечного сечения.

Найти: эпюры  $N$ ,  $\sigma$ ,  $\varepsilon$ ,  $w$ .

Аналитический расчёт (см. [B-02](#)) даёт следующие решения:

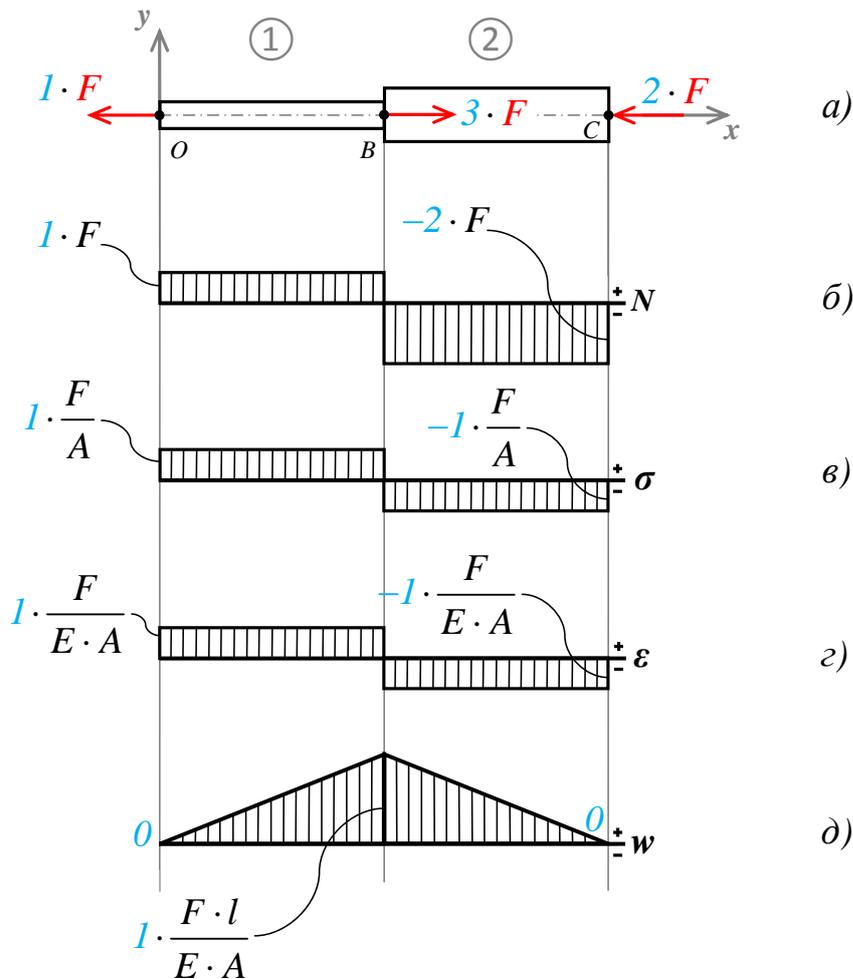


Рис. 1.

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)

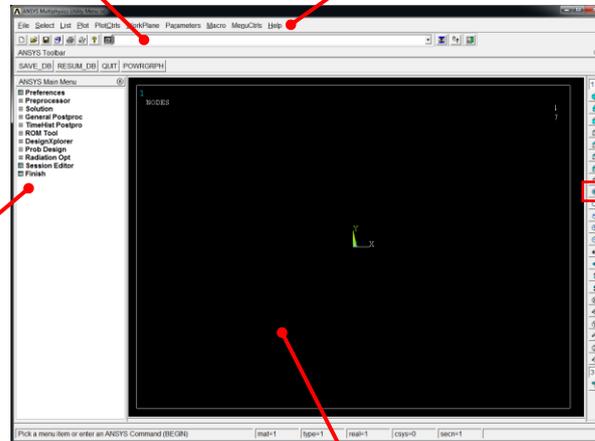
Utility Menu (U\_M)

Main Menu (M\_M)

Рабочее поле

Кнопка

Fit

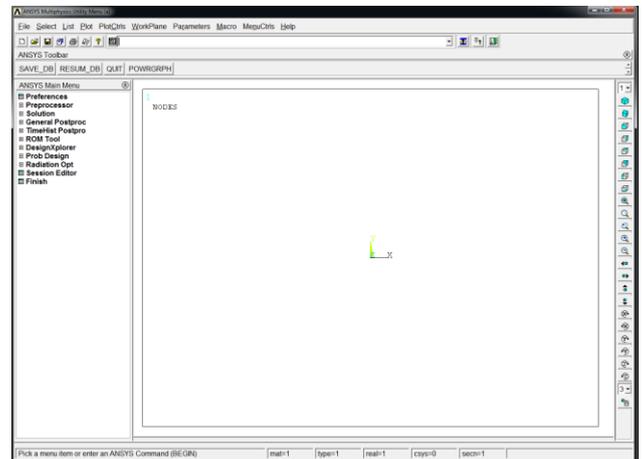


С меню M\_M и U\_M работают мышью, выбирая нужные опции.

В окно C\_P вручную вводят текстовые команды, после чего следует нажать на клавиатуре **Enter**.

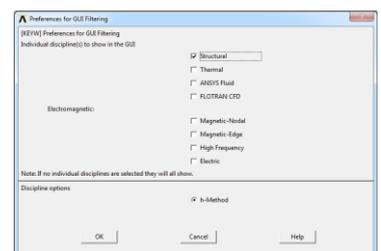
Чёрное рабочее поле не всегда приятно для глаза. Кроме того, оно неудобно для печати рисунков. Меняем чёрный цвет фона на белый следующими действиями:

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



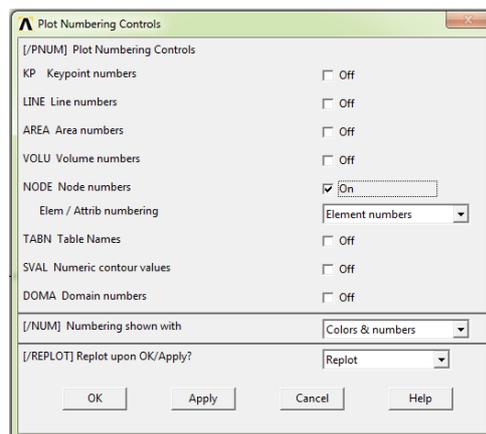
Убрать пункты меню, относящиеся к расплавам, магнитам и так далее, оставить только относящиеся к прочностным расчётам:

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



При построениях полезно видеть номера узлов и номера конечных элементов (один участок – один конечный элемент):

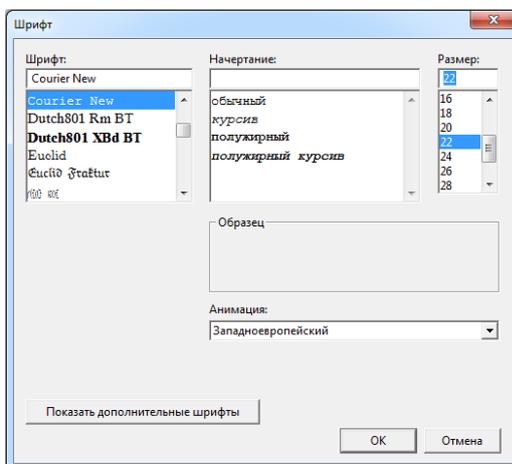
```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить NODE ;
Установить Elem на "Element numbers";
Установить [/NUM] на "Colors&numbers"
> ОК
```



Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

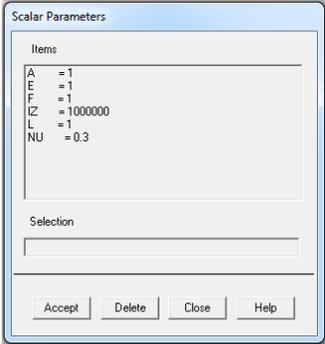
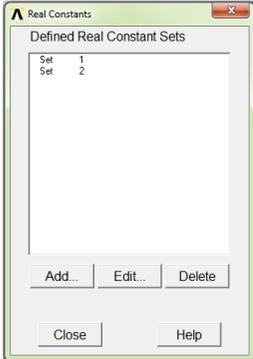
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >
Установить «Размер» на «22»
> ОК
```

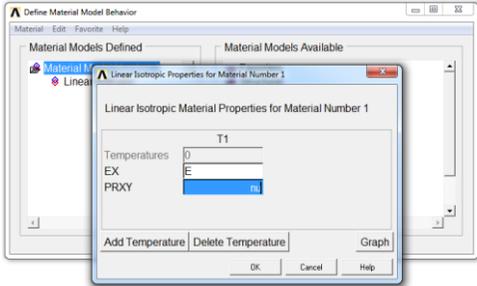
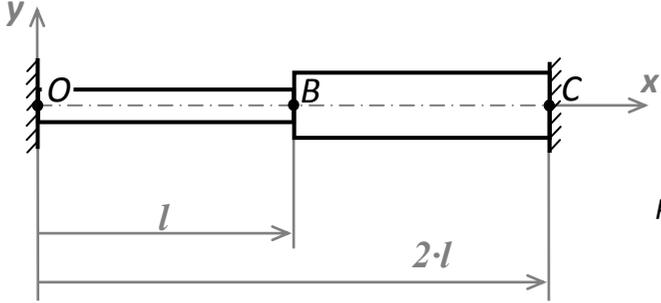
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
Установить «Размер» на «22»
> ОК
```



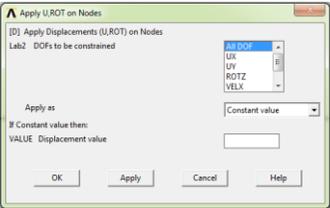
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

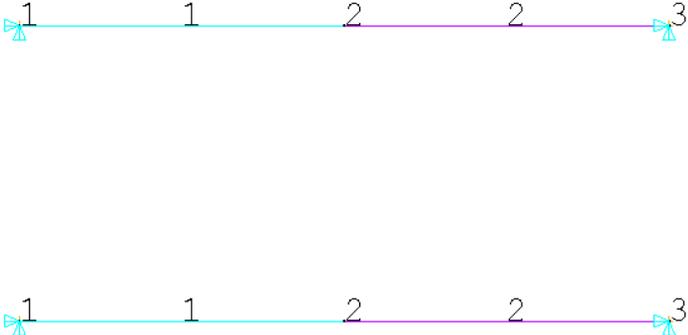
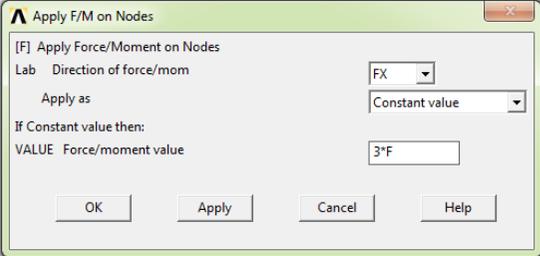
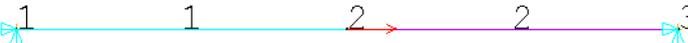
Решение задачи: Приравняв  $E$ ,  $A$ ,  $F$  и  $l$ , к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

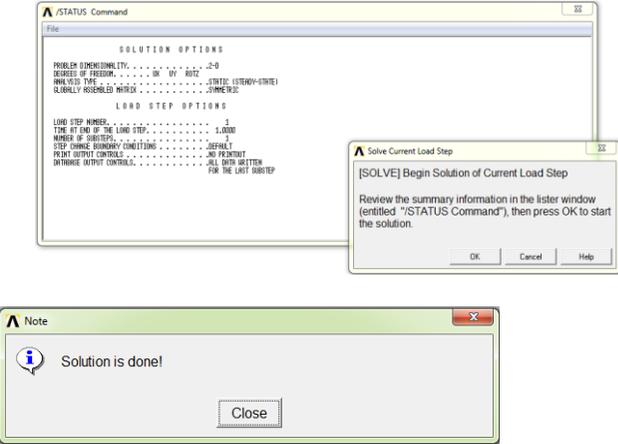
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;            E=1 &gt; Accept &gt;            A=1 &gt; Accept &gt;            Iz=1e6 &gt; Accept &gt;            F=1 &gt; Accept &gt;            l=1 &gt; Accept &gt;            nu=0.3 &gt; Accept &gt;            &gt; Close</p> <p>Iz – изгибный момент инерции; nu – коэффициент Пуассона для металлов.</p>	
2	<p><i>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский балочный тип BEAM3:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor            C_P &gt; ET, 1, BEAM3 &gt; <b>Enter</b></p> <p>Посмотрим таблицу конечных элементов:            M_M &gt; Preprocessor &gt; Element Type &gt; Add/Edit/Delete &gt; Close</p>	
3	<p><i>Два набора реальных констант:</i></p> <p>Сечение площадью <math>A</math>:            C_P &gt; R, 1, A, Iz, l/10 &gt; <b>Enter</b></p> <p>Сечение площадью <math>2 \cdot A</math>:            C_P &gt; R, 2, 2*A, Iz, l/5 &gt; <b>Enter</b></p> <p>"l/..." – высота поперечного сечения; формальная величина, использоваться не будет, но задать каким-либо положительным числом нужно.</p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант:            M_M &gt; Preprocessor &gt; Real Constants &gt; Add/Edit/Delete &gt; Close</p>	

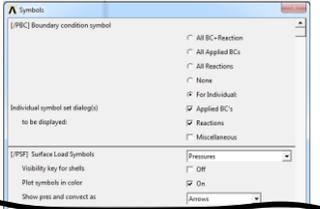
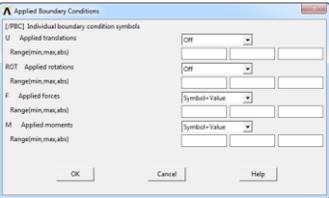
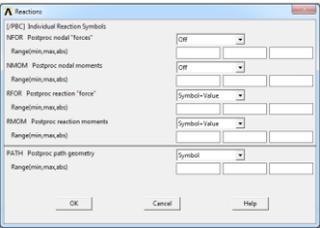
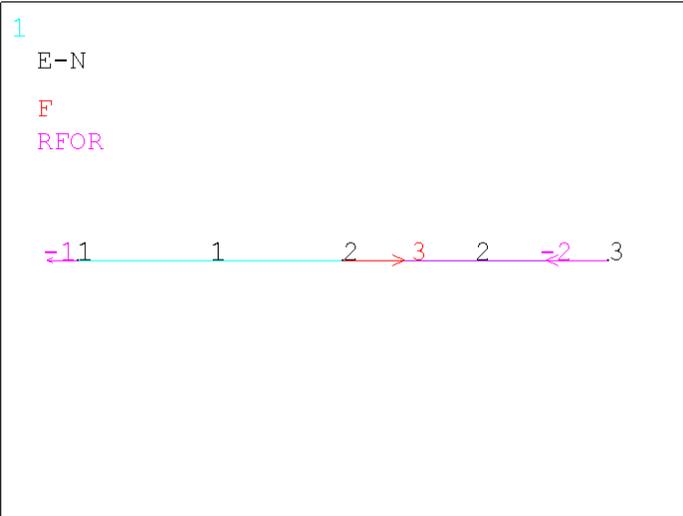
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Material Props &gt; Material Models &gt; Structural &gt; Linear &gt; Elastic &gt; Isotropic &gt; EX пишем "E", PRXY пишем "nu" &gt; OK &gt;</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
5	<p><i>Координата X точек стержня:</i></p> <p>Определяемся с положением точек относительно глобальной декартовой системы координат. Начало отсчёта поместим, например, на левый край стержня, так привычнее.</p>	 <p style="text-align: right;">Рис.2</p>
<b>Конечноэлементная модель</b>		
6	<p><i>Узлы 1,2 и 3 в точках O, B и C:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Nodes &gt; In Active CS &gt; NODE пишем 1 X, Y, Z пишем 0, 0, 0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 2 X, Y, Z пишем l, 0, 0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 3 X, Y, Z пишем 2*l, 0, 0 &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p> <p>Номер узла 1 сливается со значком глобальной системы координат.</p>	

№	Действие	Результат		
7	<p><i>Скрываем оси системы координат:</i></p> <pre>U_M&gt; PlotCtrls&gt; Window Controls&gt; Window Options&gt; [/Triad] установить "Not Shown" &gt; OK</pre> 	.1	2	.3
8	<p><i>Первый участок:</i></p> <p>Свойства балочного конечного элемента, имитирующего стержень площадью поперечного сечения A:</p> <pre>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt; &gt; Elem Attributes &gt; [TYPE]установить "1 BEAM3" [MAT ]установить "1" [REAL]установить "1" &gt; OK</pre>  <p><i>Протягиваем конечный элемент:</i></p> <pre>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt; &gt; Auto Numbered &gt; Thru Nodes</pre> <p>Левой кнопкой мыши последовательно кликаем на узлы 1 и 2</p> <pre>&gt; OK</pre> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <pre>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</pre>	.1	1 2	.3

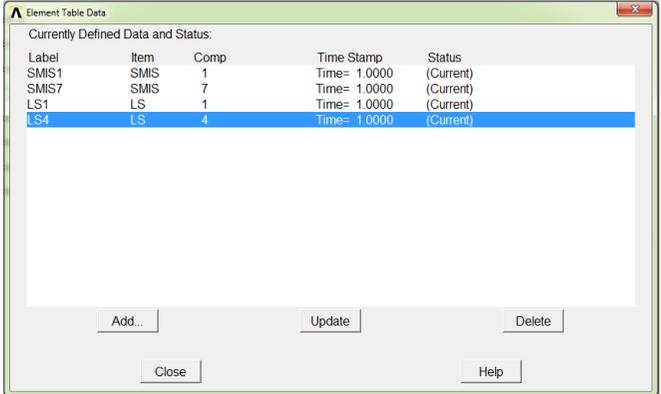
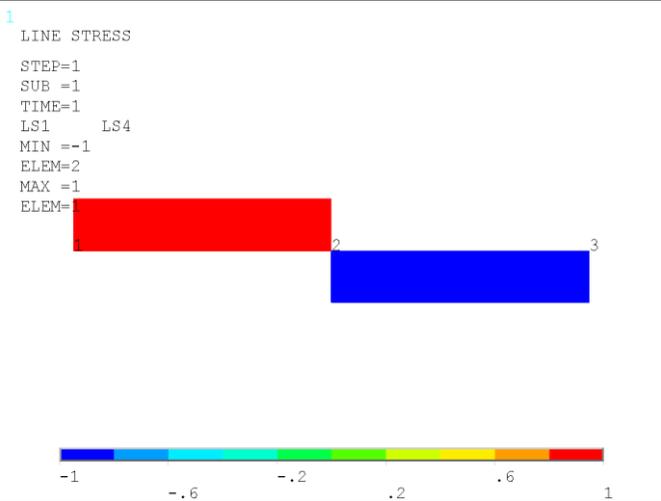
№	Действие	Результат
9	<p><i>Второй участок:</i></p> <p>Свойства балочного конечного элемента, имитирующего стержень площадью поперечного сечения 2А:</p> <p>М_М &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt; &gt; Elem Attributes &gt;</p> <p>[TYPE]установить "1 BEAM3" [MAT ]установить "1" [REAL]установить "2" &gt; ОК</p>  <p><i>Протягиваем конечный элемент:</i></p> <p>М_М &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt; &gt; Auto Numbered &gt; Thru Nodes</p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно кликаем на узлы 2 и 3 &gt; ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_М &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
10	<p><i>Заделки:</i></p> <p>М_М &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Displacement &gt; On Nodes &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 1 и 3 узлы &gt; ОК &gt;</p> <p>Lab2 установить "All DOF" &gt; ОК</p>  <p>Прорисовываем всё, что есть: U_М &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

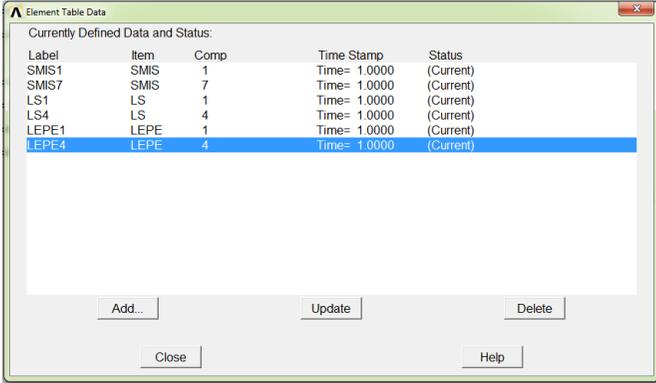
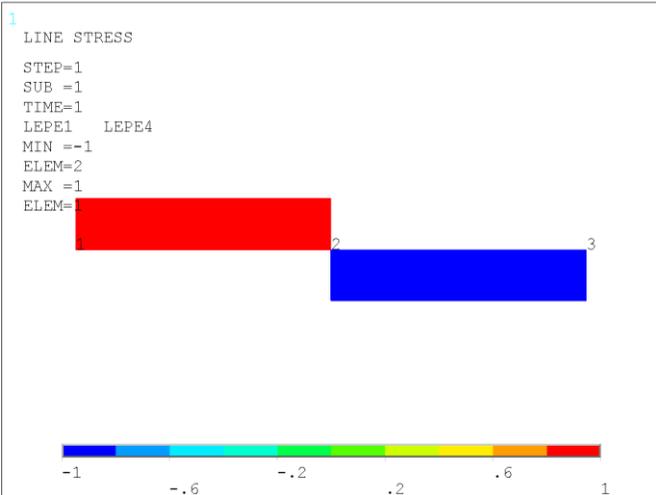
№	Действие	Результат
11	<p><i>Проверяем, верно ли заданы элементам реальные константы:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Numbering &gt;  Установить Elem на "Real const num";  &gt; OK</p> <p>Кажется, будто ничего не изменилось. На самом деле участки нумеруются уже не номерами конечных элементов, а номерами своих реальных констант. Видим на левом участке номер набора реальных констант "1" (это площадь A поперечного сечения), на правом участке номер набора реальных констант "2" (это площадь 2A поперечного сечения).</p> <p>Всё верно</p> <p><i>Возвращаемся к нумерации элементов их номерами:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Numbering &gt;  Установить Elem на "Element numbers";  &gt; OK</p>	
12	<p><i>Внешняя сила:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Force/Moment &gt; On nodes &gt;  Левой кнопкой мыши нажимаем на узел 2  &gt; OK &gt;  Lab установить "FX"  VALUE пишем 3*F  &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:  U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	

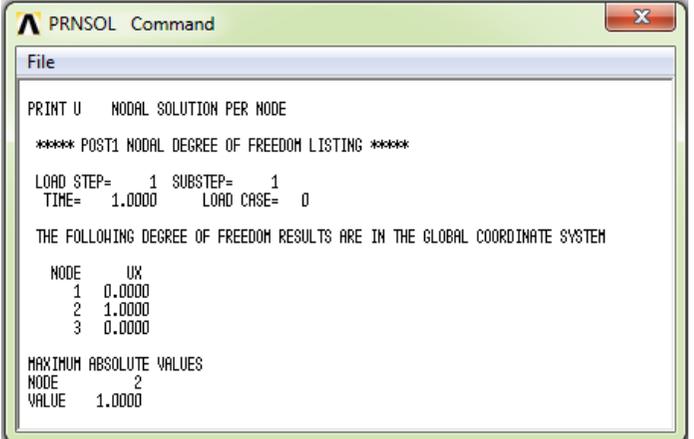
№	Действие	Результат
Расчёт		
13	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <p>M_M &gt; Solution &gt; Solve &gt; Current LS</p> <p>Синхронно появляются два окна: белое информационное и серое исполнительное. Белое закрываем, на сером нажимаем ОК. Расчёт пошёл.</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p> <p>Расчёт окончен.</p>	

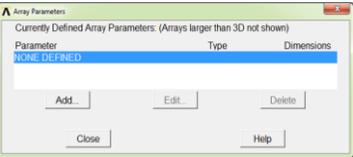
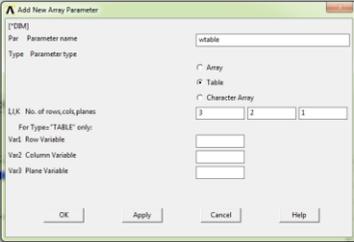
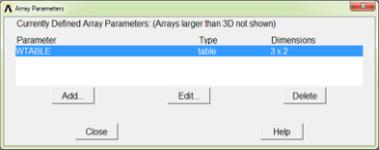
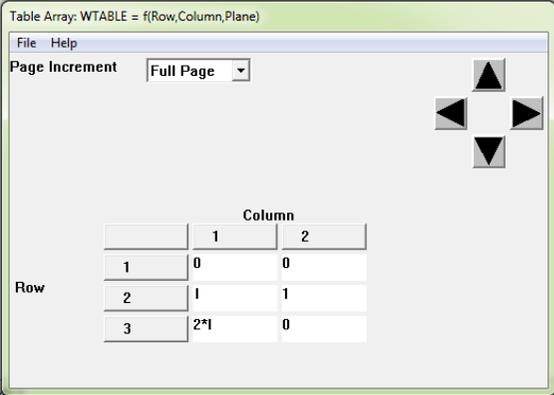
№	Действие	Результат
<b>Просмотр результатов</b>		
<b>14</b>	<p><b>Силовая схема:</b></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt; [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous"</p> <p>Surface Load Symbols устанавливаем Pressures</p> <p>Show pres and convect as устанавливаем Arrows</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p><b>В окне "Applied Boundary Conditions"</b></p> <p>U установить "Off"</p> <p>Rot установить "Off"</p> <p>F установить "Symbol+Value"</p> <p>M установить "Symbol+Value"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p><b>В окне "Reactions"</b></p> <p>NFOR установить "Off"</p> <p>NMOM установить "Off"</p> <p>RFOR установить "Symbol+Value"</p> <p>RMOM установить "Symbol+Value"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Elements</p> <p>В рабочем поле видим следующее: - Красным цветом начерчена внешняя сила;</p> <p>- Малиновым цветом начерчены реактивные силы</p> <p>Реакции в заделках совпадают с результатами аналитического расчёта, показанными на <i>рис. 1а</i>. (числа, выделенные синим цветом). Минус означает направление вектора против оси X.</p>	   

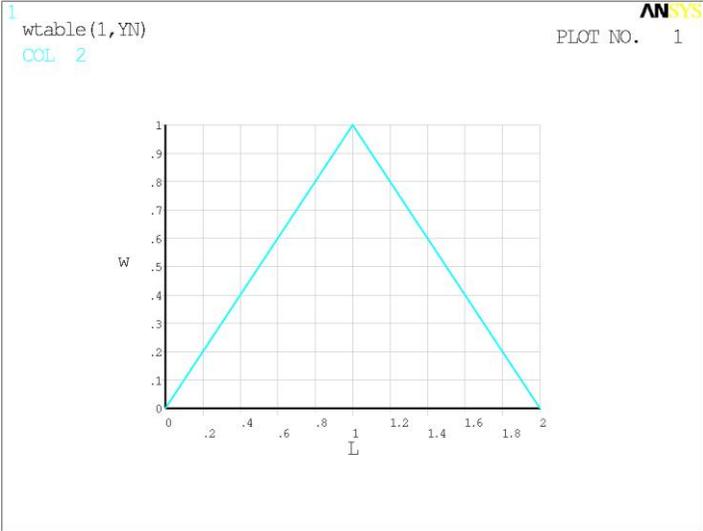
№	Действие	Результат
15	<p><i>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Contours &gt; Uniform Contours &gt; NCONT пишем 10 &gt; ОК</p>	
16	<p><i>Составление эпюры внутренней растягивающей осевой силы:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Add &gt; "By sequence num", "SMISC," , "1" &gt; Apply &gt; "By sequence num", "SMISC," , "7" &gt; ОК &gt; &gt; Close</p>	
17	<p><i>Прорисовка эпюры внутренней растягивающей осевой силы:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Contour Plot &gt; &gt; Line Elem Res &gt; LabI установить "SMIS1" LabJ установить "SMIS7" &gt; ОК</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1б.</i> (числа, выделенные синим цветом). Видим эпюру, состоящую из двух прямоугольников. Высоту каждого можно определить по его цвету: левый прямоугольник высотой +1, правый прямоугольник высотой -2.</p>	

№	Действие	Результат																									
18	<p><i>Составление эюры осевого напряжения:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Add &gt;  "By sequence num", "LS,", "1"  &gt; Apply &gt;  "By sequence num", "LS,", "4"  &gt; OK &gt;  &gt; Close</p>	 <table border="1" data-bbox="1413 261 2074 655"> <thead> <tr> <th>Label</th> <th>Item</th> <th>Comp</th> <th>Time Stamp</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SMIS1</td> <td>SMIS</td> <td>1</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS7</td> <td>SMIS</td> <td>7</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>LS1</td> <td>LS</td> <td>1</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr style="background-color: #0000FF; color: white;"> <td>LS4</td> <td>LS</td> <td>4</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> </tbody> </table>	Label	Item	Comp	Time Stamp	Status	SMIS1	SMIS	1	Time= 1.0000	(Current)	SMIS7	SMIS	7	Time= 1.0000	(Current)	LS1	LS	1	Time= 1.0000	(Current)	LS4	LS	4	Time= 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status																							
SMIS1	SMIS	1	Time= 1.0000	(Current)																							
SMIS7	SMIS	7	Time= 1.0000	(Current)																							
LS1	LS	1	Time= 1.0000	(Current)																							
LS4	LS	4	Time= 1.0000	(Current)																							
19	<p><i>Прорисовка эюры осевого напряжения:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Contour Plot  &gt; Line Elem Res &gt;  LabI установить "LS1"  LabJ установить "LS4"  &gt; OK</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1в.</i> (числа, выделенные на <i>рис. 1в.</i> синим цветом).</p>	 <pre data-bbox="1413 724 2074 1225"> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 LS1   LS4 MIN =-1 ELEM=2 MAX =1 ELEM= </pre>																									

№	Действие	Результат																																			
20	<p><i>Составление эюры линейной осевой деформации:</i></p> <pre>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Add &gt; "By sequence num", "LEPEL,", "1" &gt; Apply &gt; "By sequence num", "LEPEL,", "4" &gt; OK &gt; &gt; Close</pre>	 <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>SMIS1</td> <td>SMIS</td> <td>1</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>SMIS7</td> <td>SMIS</td> <td>7</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>LS1</td> <td>LS</td> <td>1</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>LS4</td> <td>LS</td> <td>4</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>LEPE1</td> <td>LEPE</td> <td>1</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr style="background-color: #0070C0; color: white;"> <td>LEPE4</td> <td>LEPE</td> <td>4</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> </tbody> </table>	Label	Item	Comp	Time Stamp	Status	SMIS1	SMIS	1	Time= 1.0000	(Current)	SMIS7	SMIS	7	Time= 1.0000	(Current)	LS1	LS	1	Time= 1.0000	(Current)	LS4	LS	4	Time= 1.0000	(Current)	LEPE1	LEPE	1	Time= 1.0000	(Current)	LEPE4	LEPE	4	Time= 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status																																	
SMIS1	SMIS	1	Time= 1.0000	(Current)																																	
SMIS7	SMIS	7	Time= 1.0000	(Current)																																	
LS1	LS	1	Time= 1.0000	(Current)																																	
LS4	LS	4	Time= 1.0000	(Current)																																	
LEPE1	LEPE	1	Time= 1.0000	(Current)																																	
LEPE4	LEPE	4	Time= 1.0000	(Current)																																	
21	<p><i>Прорисовка эюры линейной осевой деформации:</i></p> <pre>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Contour Plot &gt; &gt; Line Elem Res &gt; LabI установить "LEPE1" LabJ установить "LEPE4" &gt; OK</pre> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1г.</i> (только числа, выделенные на <i>рис. 1г.</i> синим цветом).</p>	 <pre>1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 LEPE1 LEPE4 MIN =-1 ELEM=2 MAX =1 ELEM=1</pre>																																			

№	Действие	Результат
22	<p><i>Осевые перемещения сечений стержня (таблица):</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt; Nodal Solution &gt; DOF Solution &gt; X-Component of displacement &gt; OK</p> <p>Получаем окно “PRNSOL Command” с табличкой, где NODE – номер узла конечноэлементной модели, а UX – его перемещение по горизонтали.</p> <p>На этом можно было бы урок и закончить. Интересно, однако, прорисовать полученные значения в виде эпюры. Этому будут посвящены последующие два действия данной инструкции.</p>	 <pre> PRNSOL Command File PRINT U  NODAL SOLUTION PER NODE **** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING **** LOAD STEP= 1  SUBSTEP= 1 TIME= 1.0000  LOAD CASE= 0  THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM  NODE    UX 1      0.0000 2      1.0000 3      0.0000  MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE      2 VALUE    1.0000 </pre>

№	Действие	Результат
23	<p>Осевые перемещения узлов стержня (подготовка эюры):</p> <p>Создаём массив-таблицу с названием, например, <i>wtable</i> :</p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Array Parameters &gt; Define/Edit &gt;</p>  <p>&gt; Add &gt;</p> <p>Par="wtable" Type="Table" I, J, K = 3, 2, 1</p>  <p>&gt; OK &gt;</p>  <p>&gt; Edit &gt;</p> <p>Нумеруем столбцы и строки массива. Заполняем массив вручную. Первый столбец – координаты (по возрастанию) узлов, то есть координаты узлов <math>1^{ro}</math>, <math>2^{ro}</math> и <math>3^{ro}</math> (рис.2). Второй столбец - перемещения UX узлов (см. результат действия №22).</p> <p>&gt; File &gt; Apply/Quit &gt; Close</p> 	

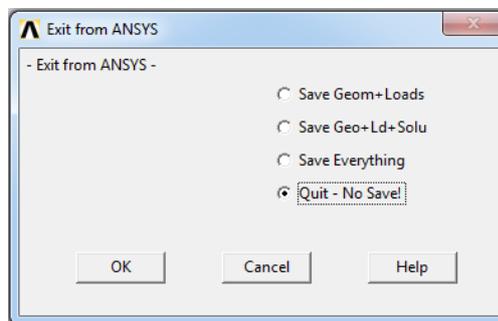
№	Действие	Результат
24	<p>Осевые перемещения сечений стержня (прорисовка эпюры):</p> <p>Параметры, необходимые для построения эпюры: по горизонтальной оси будет откладываться первый столбец массива, по оси ординат – второй столбец массива.</p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters... &gt;  XN=1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

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.