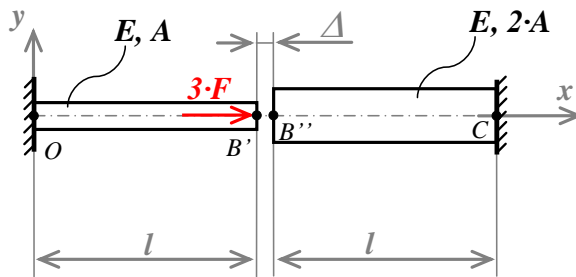


B-06 (ANSYS)

Формулировка задачи:

Дано: Стержень между двумя заделками.



$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

$$A = 100 \text{ мм}^2;$$

$$F = 40 \text{ кН};$$

$$l = 250 \text{ мм};$$

$$\Delta = \frac{3}{2} \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} = 0,75 \text{ мм}.$$

Найти: эпюры N , σ , ε , w .

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

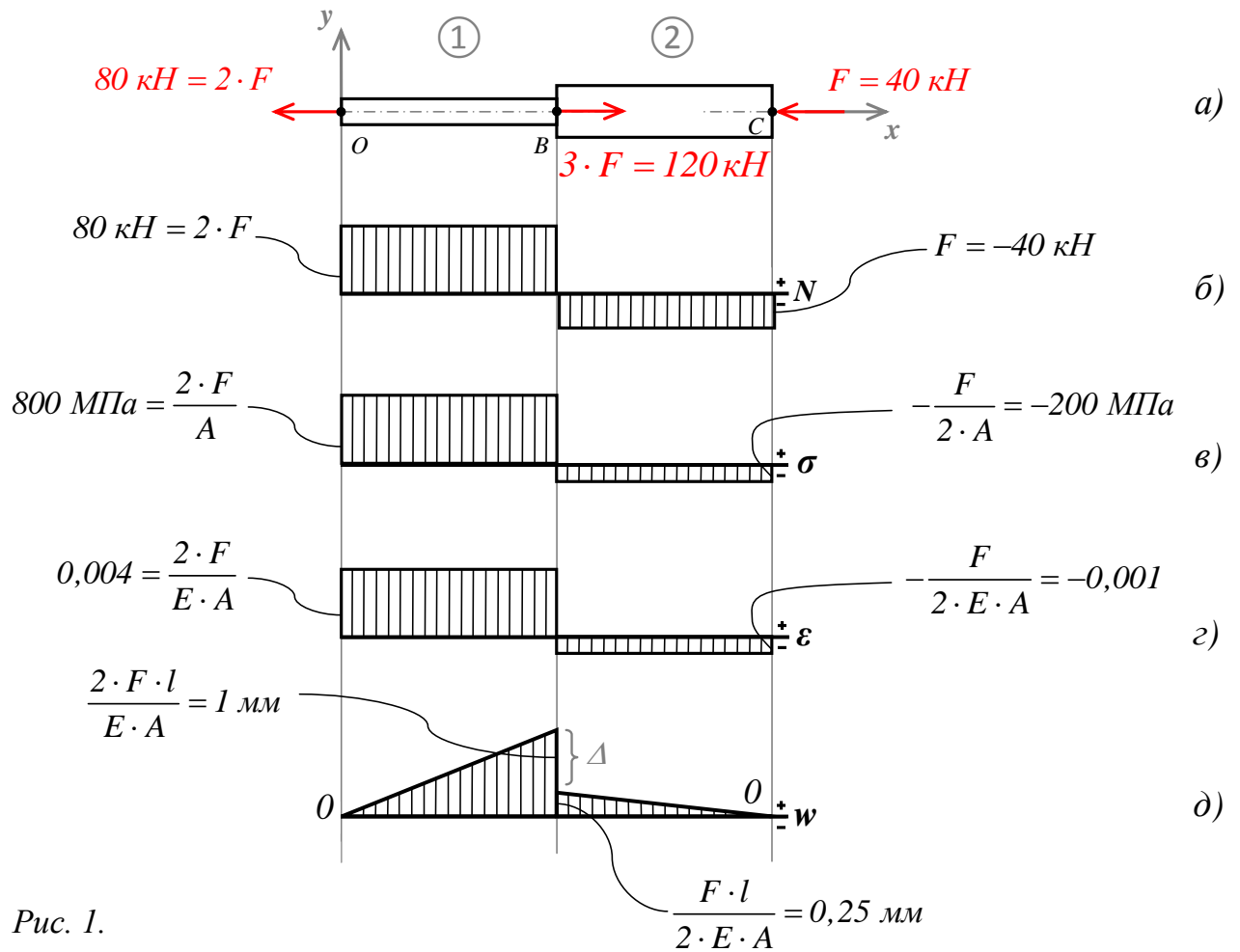
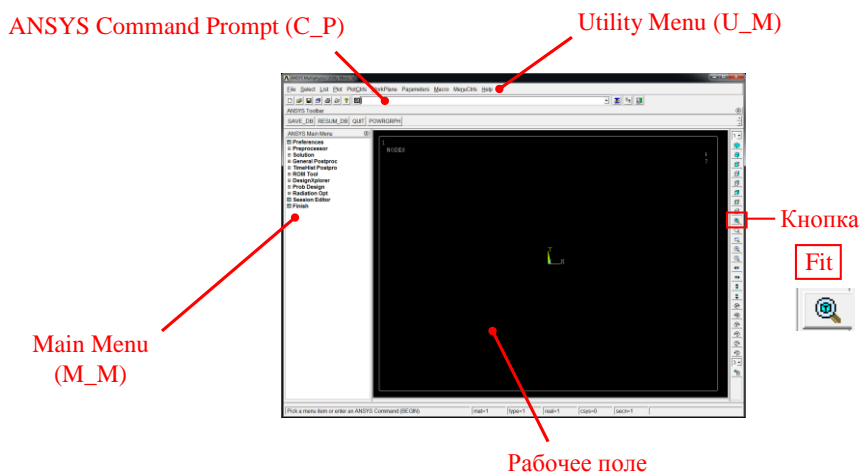


Рис. 1.

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

Предварительные настройки:

Для решения задачи используется ANSYS Multiphysics 14.0:



С меню M_M и U_M работают мышью, выбирая нужные опции.

В окне 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
```

Скрываем пункты меню, не 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):

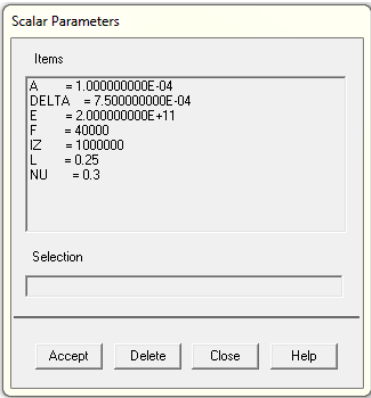
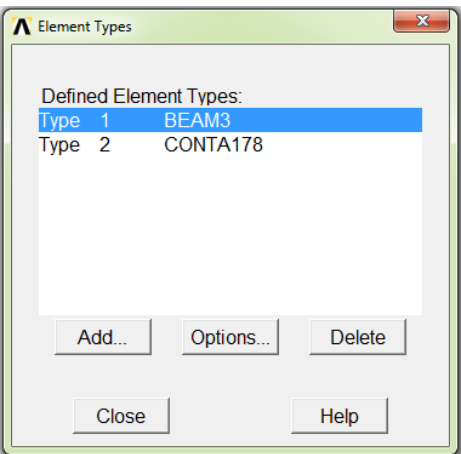
```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить NODE ;
Установить Elem на "Element numbers";
Установить [/NUM] на "Colors&numbers"
> OK
```

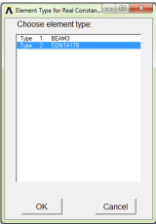
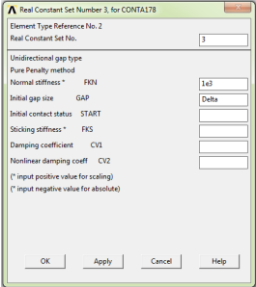
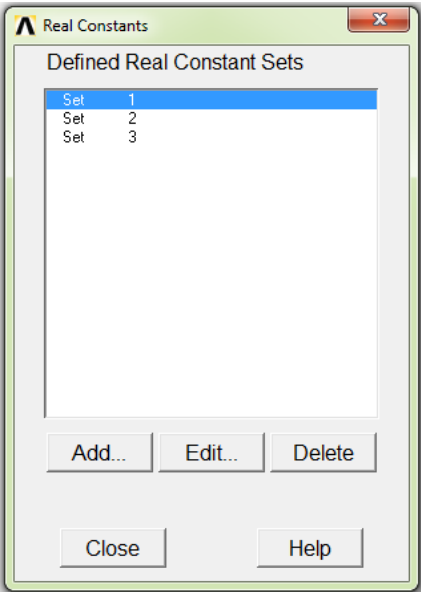
Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

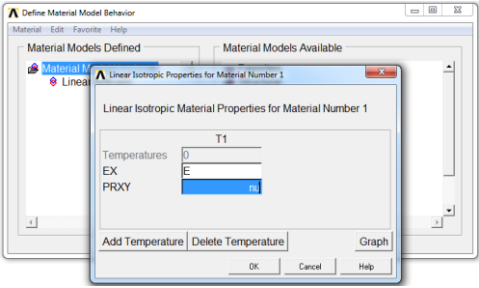
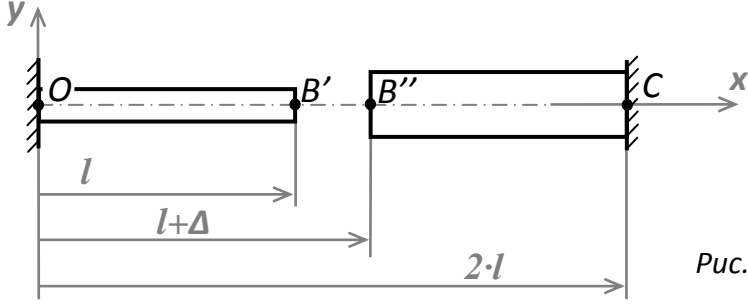

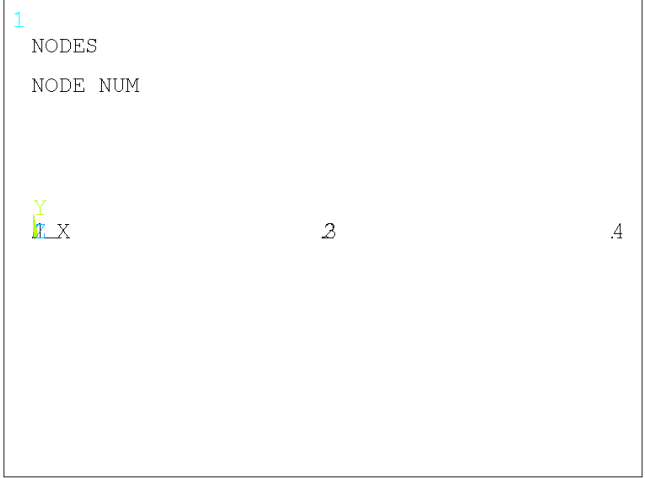
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >
Установить «Размер» на «22» > OK
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
Установить «Размер» на «22» > OK
```

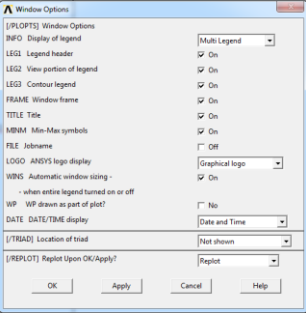
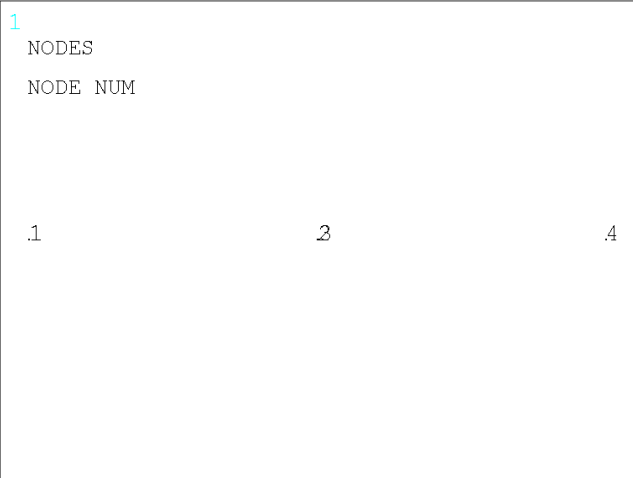
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

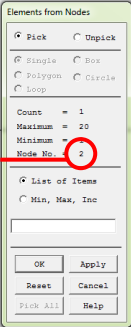
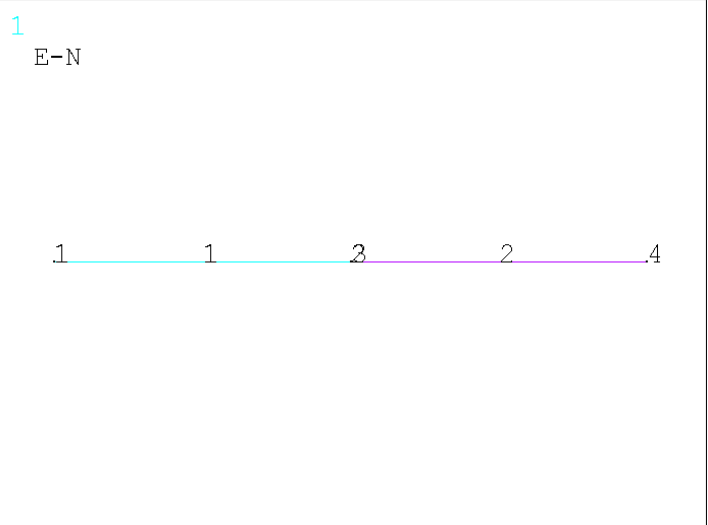
Решение задачи:

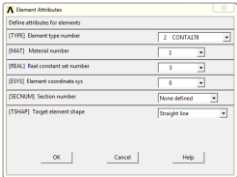
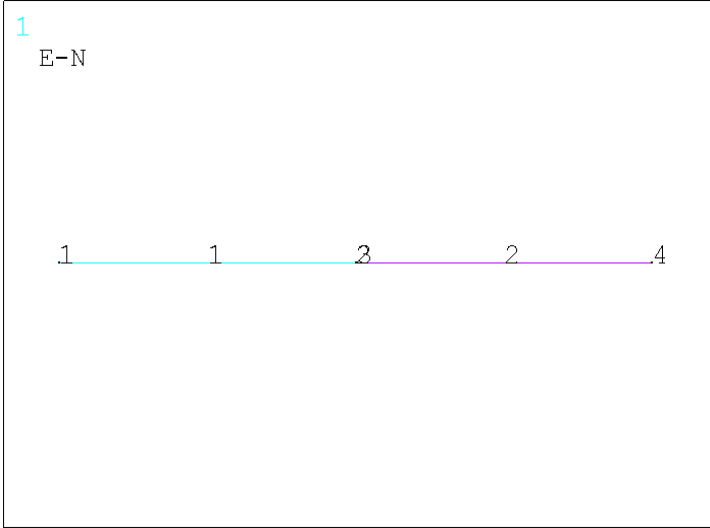
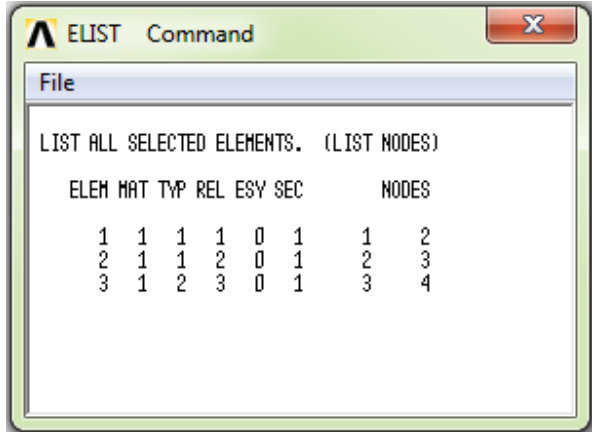
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи (задаём):</i></p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters > F=40e3 > Accept > l=0.25 > Accept > E=2e11 > Accept > A=100e-6 > Accept > Delta=0.75e-3 > Accept > Iz=1e6 > Accept > nu=0.3 > Close</p> <p>Iz – изгибный момент инерции; nu – коэффициент Пуассона для металлов.</p>	
2	<p><i>Таблица элементов:</i></p> <p>Первая строчка в таблице конечных элементов – плоский балочный тип BEAM3.</p> <p>M_M > Preprocessor C_P > ET, 1, BEAM3 > Enter</p> <p><i>Вторая строчка – контактный элемент CONTA178:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Add Element reference number пишем 2</p> <p>В левом окошке выбираем "Contact" В правом окошке "nd-to-nd 178" > OK ></p> <p>В окошке Element types отметить вторую строчку "2 CONTA178" > Options ></p> <p>K2 установить "Penalty method" K4 установить "Real const GAP" K5 установить "Nodal coord - X" > OK > Close</p>	

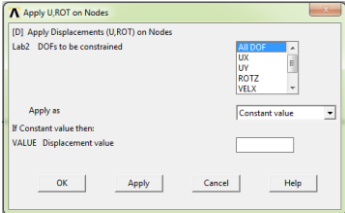

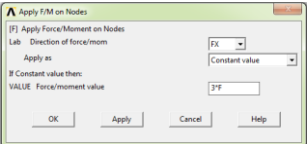
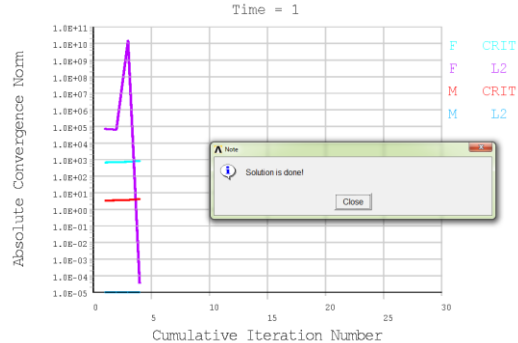
№	Действие	Результат
3	<p><i>Наборы реальных констант:</i></p> <p>Сечение стержня площадью A: <code>C_P > R, 1, A, Iz, l/10 > Enter</code></p> <p>Сечение стержня площадью 2·A: <code>C_P > R, 2, 2*A, Iz, l/5 > Enter</code></p> <p>Жёсткость контакта и величина зазора:</p> <p><code>M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Add</code> В окошке Element Type for Real Constants выбрать CONTA178 <code>> OK ></code></p>  <p>В поле FKN пишем <code>1e3</code> В поле GAP пишем <code>Delta</code> <code>> OK</code></p>  <p>Видим результат – три набора реальных констант в соответствующей таблице Real Constants. Закрываем таблицу: <code>> Close</code></p>	

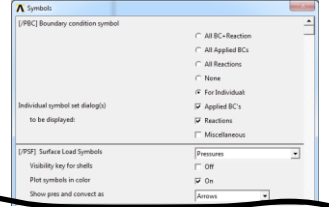
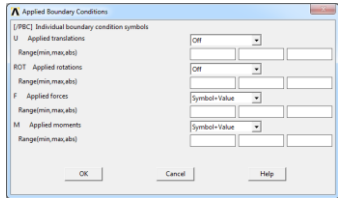
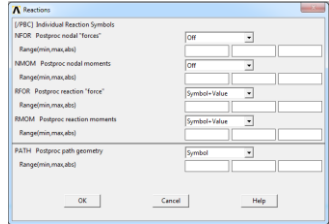
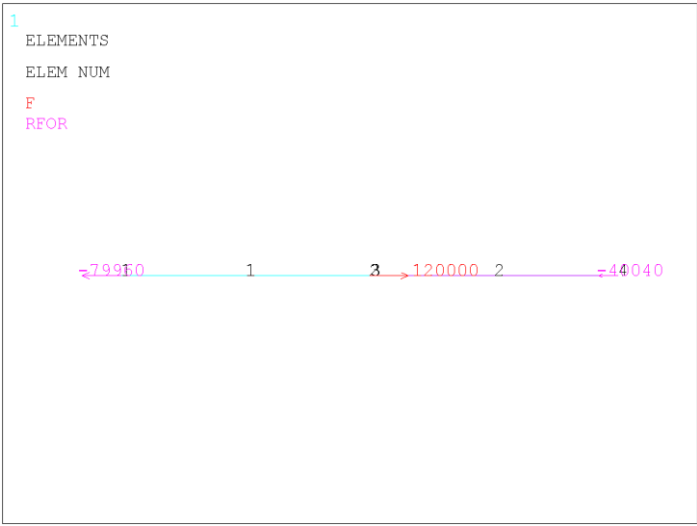
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic ></p> <p>EX пишем "E", PRXY пишем "nu" > OK ></p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</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>
Конечноэлементная модель		
6	<p><i>Узлы 1,2, 3 и 4 в точках O, B', B'' и C:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Nodes > In Active CS ></p> <p>NODE пишем 1 X, Y, Z пишем 0, 0, 0 > Apply ></p> <p>NODE пишем 2 X, Y, Z пишем l, 0, 0 > Apply ></p> <p>NODE пишем 3 X, Y, Z пишем l+Delta, 0, 0 > Apply ></p> <p>NODE пишем 4 X, Y, Z пишем 2*l, 0, 0 > OK</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p>	

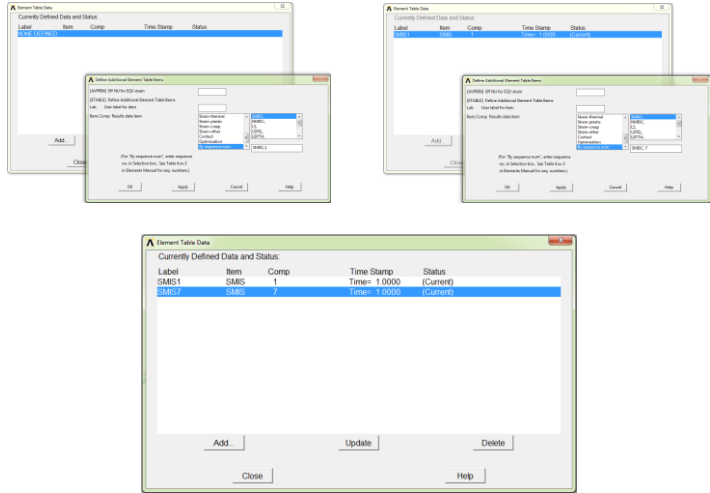
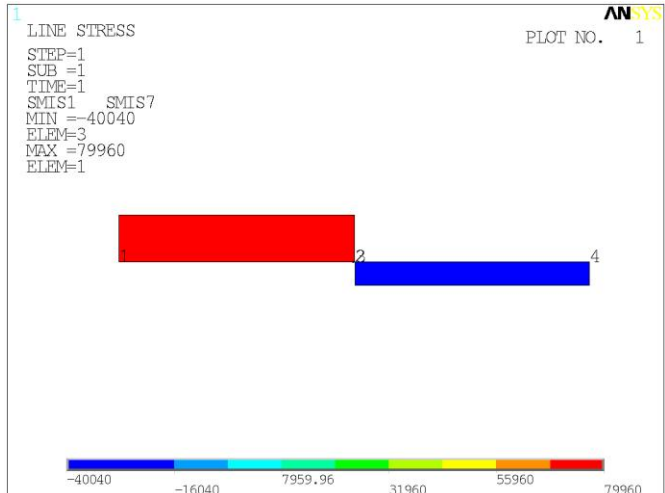
№	Действие	Результат
7	<p><i>Скрываем оси системы координат:</i></p> <pre>U_M > PlotCtrls > Window Controls > Window Options > [/Triad] установить "Not Shown" > OK</pre> 	

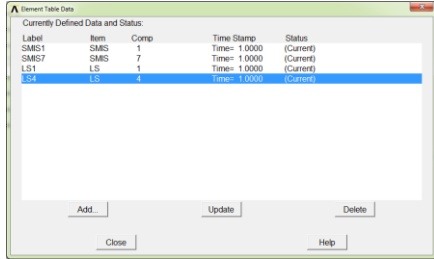
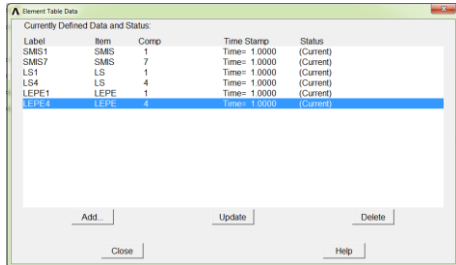
№	Действие	Результат
8	<p><i>Балочные конечные элементы (протягиваем по направлению оси X):</i></p> <p>Свойства участка стержня площадью A:</p> <pre>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Elements> ElemAttributes> [TYPE]установить "1 BEAM3" [MAT]установить "1" [REAL]установить "1" > OK</pre> <p>Участок ① - часть стержень площадью A:</p> <pre>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > > Auto Numbered > Thru Nodes</pre> <p>Левой кнопкой мыши последовательно кликаем на узлы 1 и 2</p> <p>> OK</p> <p><i>Примечание:</i> Узлы 2 и 3 расположены очень близко, поэтому при клике по месту их расположения следите за тем, чтобы в панели выбора строчка "Node No.=" заканчивалась номером 2 а не 3.</p>  <p>Свойства участка стержня площадью 2A:</p> <pre>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Elements> ElemAttributes> [REAL]установить "2" > OK</pre> <p>Участок ② - часть стержня площадью 2A:</p> <pre>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > > Auto Numbered > Thru Nodes</pre> <p>Левой кнопкой мыши последовательно кликаем на узлы 3 и 4</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <pre>U_M > Plot > Multi-Plots</pre>	

№	Действие	Результат																												
9	<p><i>Контактный конечный элемент в зазоре (протягиваем по направлению оси X):</i></p> <p>Свойства элемента:</p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > > ElemAttributes ></p> <p>[TYPE]установить "2 CONTA178"</p> <p>[MAT]установить "1"</p> <p>[REAL]установить "3"</p> <p>> ОК</p>  <p>Протягиваем контактный элемент между узлами 3 и 4, ограничивающими зазор:</p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > > Auto Numbered > Thru Nodes</p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно кликаем на узлы 2 и 3</p> <p>> ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p>																													
10	<p><i>Проверка правильности протягивания конечных элементов между узлами:</i></p> <p>U_M > List > Elements > Nodes+Attributes</p> <p>Убеждаемся в том, что:</p> <p>а) Элементы протянуты последовательно между узлами 1 и 2, 3 и 4, 2 и 3;</p> <p>б) Тип первых двух элементов – 1 (это BEAM3), тип третьего элемента - 2 (это CONTA178);</p> <p>в) Реальные константы для первого элемента – 1, для второго – 2 и для третьего – 3.</p> <p>Всё правильно. Закрываем информационное оконшко.</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ELEM</th> <th>MAT</th> <th>TYP</th> <th>REL</th> <th>ESY</th> <th>SEC</th> <th>NODES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1 2</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2 3</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>3 4</td> </tr> </tbody> </table>	ELEM	MAT	TYP	REL	ESY	SEC	NODES	1	1	1	1	0	1	1 2	2	1	1	2	0	1	2 3	3	1	2	3	0	1	3 4
ELEM	MAT	TYP	REL	ESY	SEC	NODES																								
1	1	1	1	0	1	1 2																								
2	1	1	2	0	1	2 3																								
3	1	2	3	0	1	3 4																								

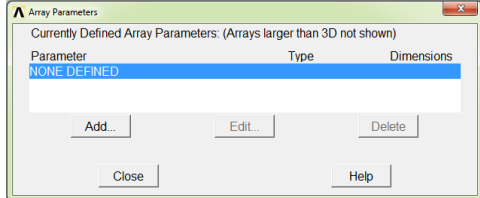
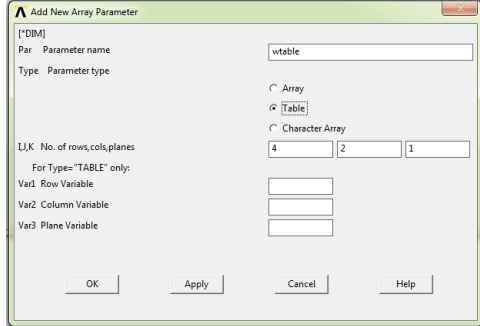
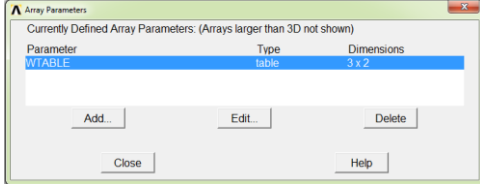
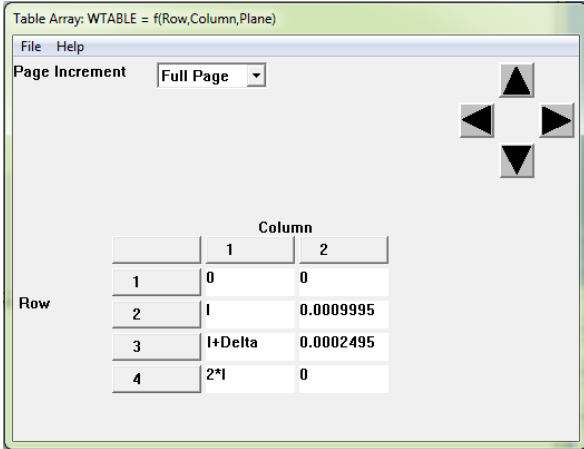
№	Действие	Результат
11	<p><i>Заделки:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > > Displacement > On Nodes ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 1 и 4 узлы > OK ></p> <p>Lab2 установить "All DOF" > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> 	
12	<p><i>Внешняя сила:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On nodes ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажимаем на узел 2 > OK ></p> <p>Lab установить "FX"</p> <p>VALUE пишем 3*F > OK</p> 	
<h3>Расчёт</h3>		
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.</p> <p>Расчёт окончен.</p>	

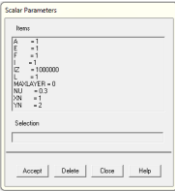
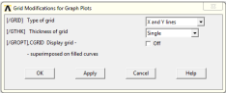
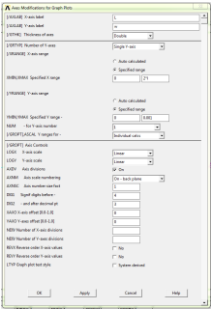
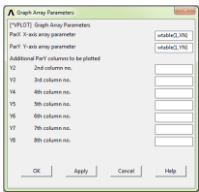
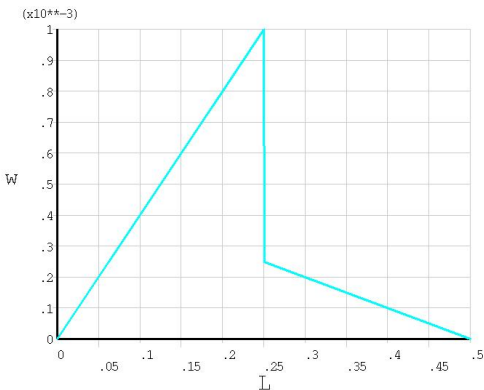
№	Действие	Результат
Просмотр результатов		
14	<p>Силовая схема:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous" Surface Load Symbols устанавливаем Pressures Show pres and convect as устанавливаем Arrows > OK ></p> <p>В окне "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: U_M > Plot > Elements</p> <p>В рабочем поле видим следующее:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Красным цветом начерчена внешняя сила; - Малиновым цветом начерчены реактивные силы <p>Минусы означают направление векторов против оси X.</p>	    <p>Левая реакция равна 799,60 Н, аналитический расчёт (рис. 1а.) показал её значение 800 Н.</p> <p>Расхождение:</p> $\Delta = \left \frac{800 - 799,60}{800} \right \cdot 100\% = 0,05\%$ <p>Правая реакция равна 400,40 Н, аналитический расчёт (рис. 1а.) показал её значение 400 Н.</p> <p>Расхождение:</p> $\Delta = \left \frac{400 - 400,40}{400} \right \cdot 100\% = 0,1\%$

№	Действие	Результат
15	<p><i>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10 > ОК</p>	
16	<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" > ОК > > Close</p>	
17	<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" > ОК</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.</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>.</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>	

№	Действие	Результат														
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" > ОК</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1г.</i> (только числа, выделенные на <i>рис. 1г.</i> синим цветом).</p>	<p>1 LINE STRESS ANSYS PLOT NO. 1</p> <p>STEP=1 SUB =1 TIME=1 LEPE1 LEPE4 MIN =-.001001 ELEM=2 MAX =.003998 ELEM=1</p>														
22	<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 > > ОК</p> <p>Получаем окно "PRNSOL Command" с табличкой, где NODE – номер узла конечноэлементной модели, а UX – его перемещение по горизонтали.</p> <p>Погрешности вычисления перемещений узлов составляют:</p> <p>Узел №2 (это точка B'): $\Delta = \left \frac{1 - 0,9995}{1} \right \cdot 100\% = 0,05\%$</p> <p>Узел №3 (это точка B''): $\Delta = \left \frac{0,25 - 0,2495}{0,25} \right \cdot 100\% = 0,2\%$</p>	<p>PRNSOL Command</p> <p>File</p> <p>PRINT U NODAL SOLUTION PER NODE</p> <p>***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****</p> <p>LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0</p> <p>THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>NODE</th> <th>UX</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.99950E-03</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.24950E-03</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0.0000</td> </tr> </tbody> </table> <p>MAXIMUM ABSOLUTE VALUES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>NODE</th> <th>VALUE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>0.99950E-03</td> </tr> </tbody> </table>	NODE	UX	1	0.0000	2	0.99950E-03	3	0.24950E-03	4	0.0000	NODE	VALUE	2	0.99950E-03
NODE	UX															
1	0.0000															
2	0.99950E-03															
3	0.24950E-03															
4	0.0000															
NODE	VALUE															
2	0.99950E-03															

№	Действие	Результат
23	<p>Осевые перемещения узлов 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 столбцы и строки массива.</p> <p>Заполняем массив вручную.</p> <p>Первый столбец – координаты узлов по возрастанию, то есть координаты узлов 1^{ro}, 2^{ro}, 3^{ro} и 4^{ro} (рис. 2). Второй столбец - перемещения UX узлов (см. результат действия №22).</p> <p>> File > Apply/Quit > Close</p>	   

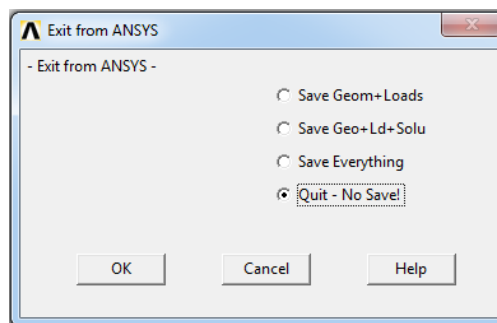
№	Действие	Результат
24	<p>Осевые перемещения сечений стержня (прорисовка эпюры):</p> <p>Параметры, необходимые для построения эпюры: по горизонтальной оси будет откладываться первый столбец массива, по оси ординат – второй столбец массива.</p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters... > XN=1 > Accept > 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...2* l), а интервал по вертикальной оси таким, чтобы поместилась эпюра (0...0.001), см. <i>рис. 1д</i>:</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 "2*l" [/YRANGE] установить "Specified range" YMIN, YMAX установить "0" и "0.001" > 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> <p>PLOT NO. 1</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.