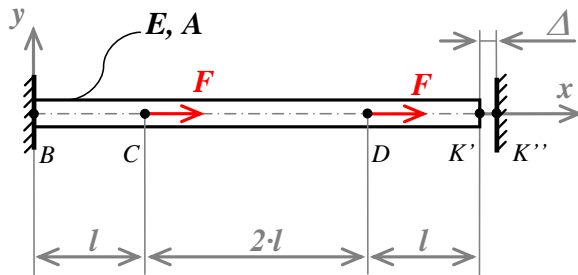


B-09 (ANSYS)

Формулировка задачи:

Дано: Стержень между двумя заделками.



$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

$$A = 200 \text{ мм}^2;$$

$$F = 100 \text{ кН};$$

$$l = 400 \text{ мм};$$

$$\Delta = \frac{F \cdot l}{E \cdot A} = 1 \text{ мм}.$$

Найти: эпюры N , σ , ε , w .

Аналитический расчёт (см. [B-09](#)) даёт следующие решения:

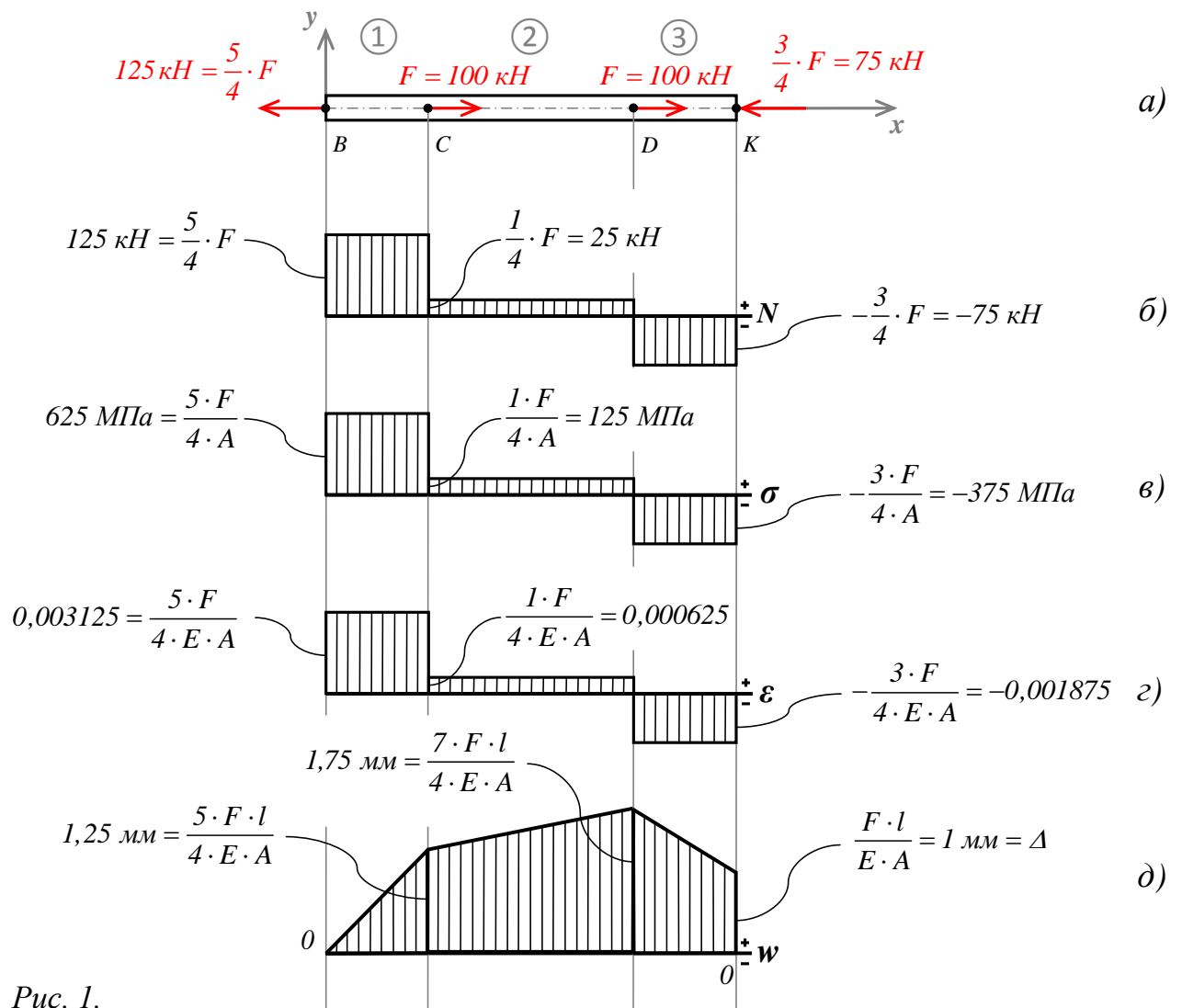
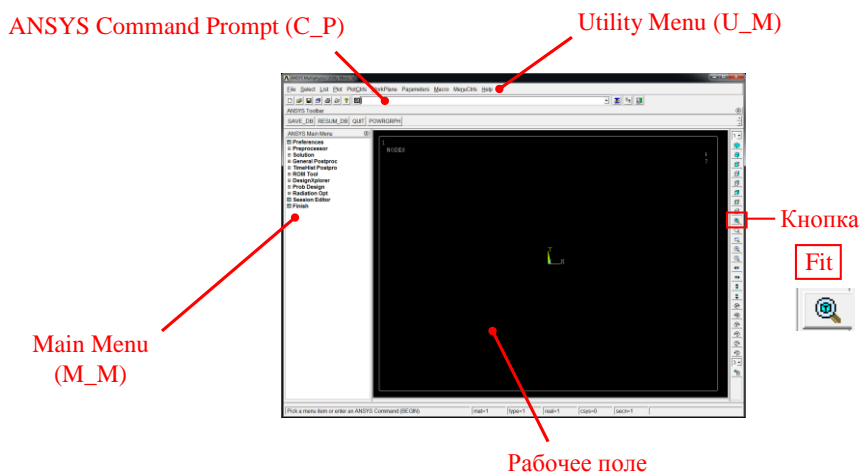


Рис. 1.

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 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):

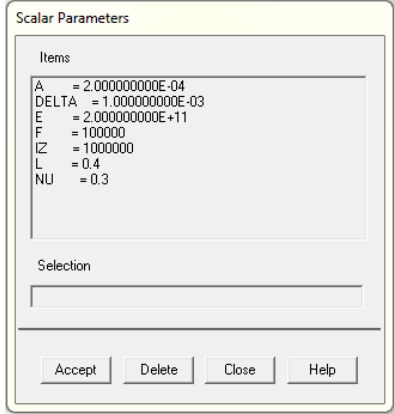
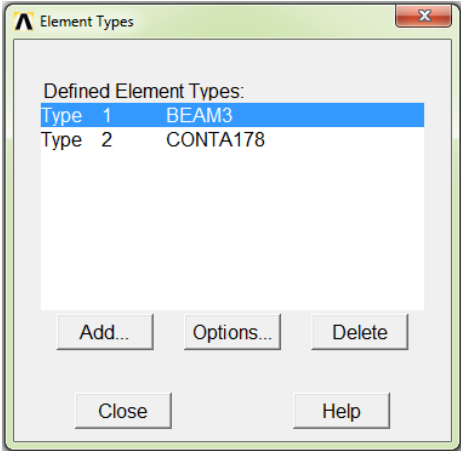
```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить NODE ;
Установить Elem на "Element numbers";
Установить [/NUM] на "Colors&numbers"
> OK
```

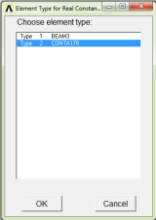
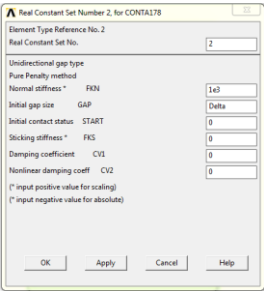
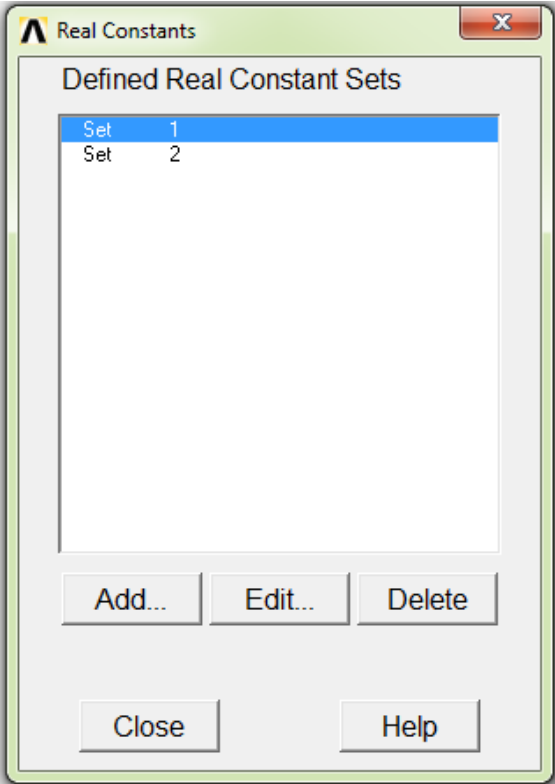
Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

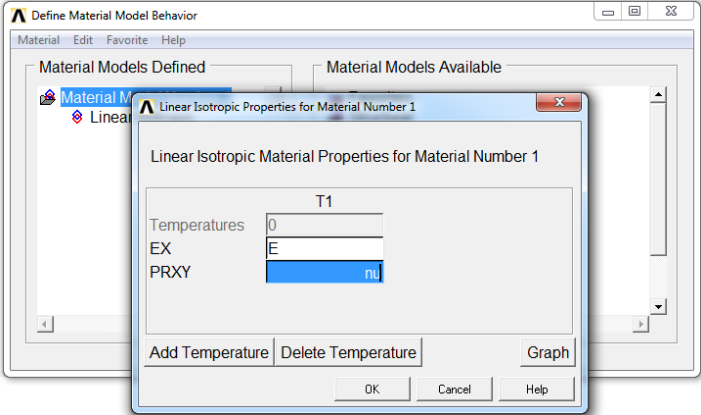
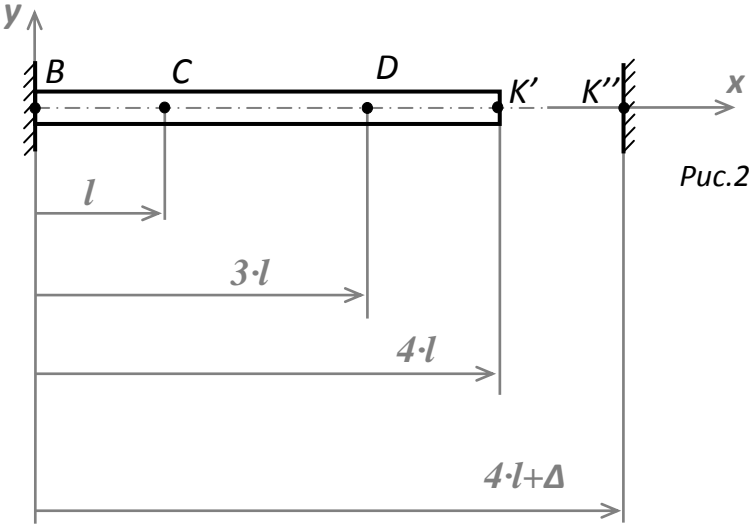
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >
Установить «Размер» на «22» > OK
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
Установить «Размер» на «22» > OK
```


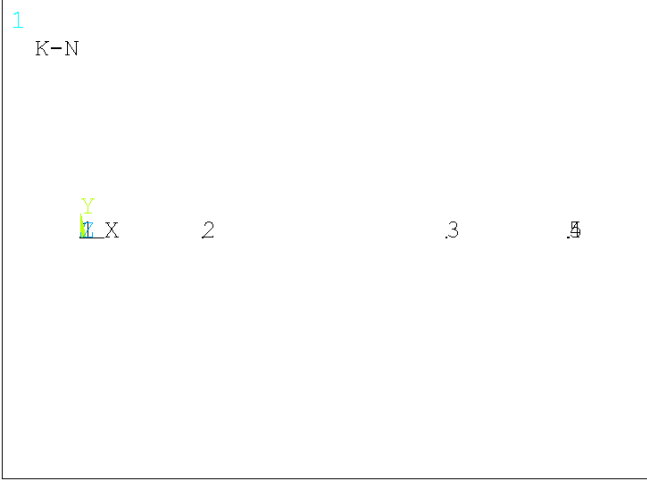
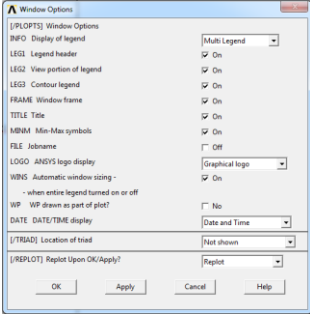
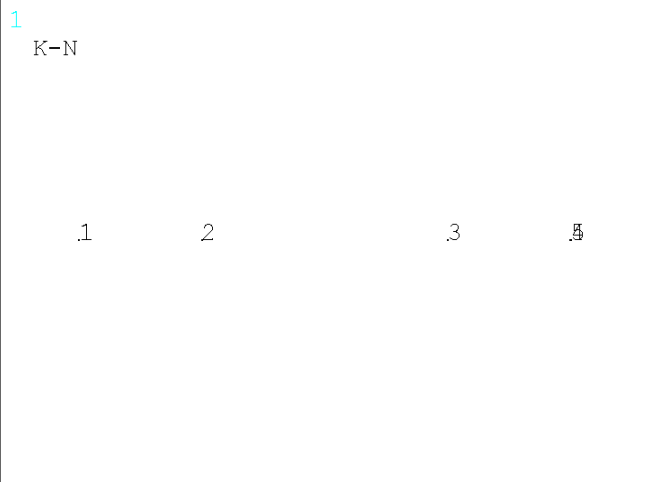
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

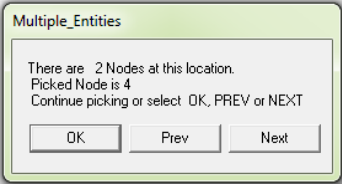
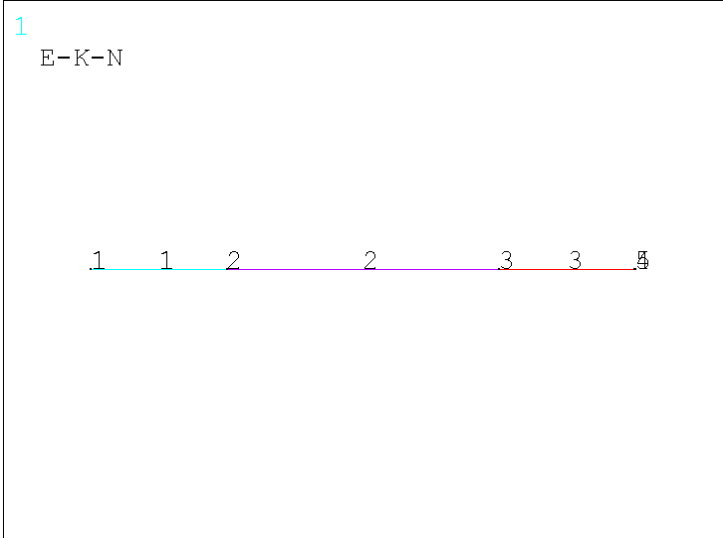
Решение задачи:

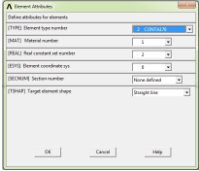
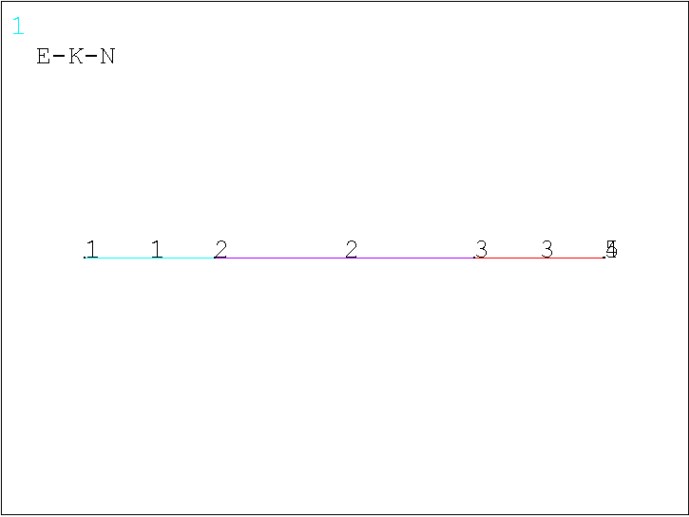
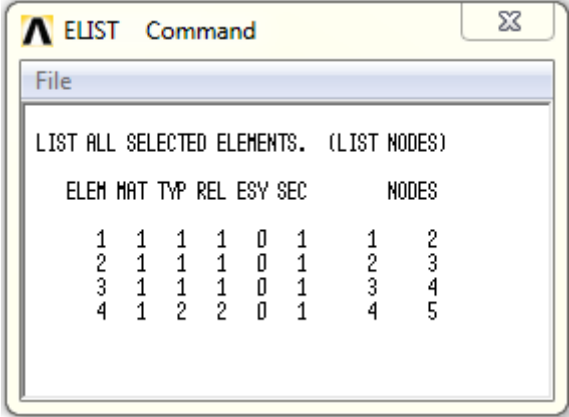
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи (задаём):</i></p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters > F=100e3 > Accept > l=0.4 > Accept > E=2e11 > Accept > A=200e-6 > Accept > Delta=0.001 > Accept > Iz=1e6 > Accept > nu=0.3 > Close</p> <p>Iz – изгибный момент инерции; nu – коэффициент Пуассона для металлов.</p>	
2	<p><i>Таблица элементов:</i></p> <p>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский балочный тип BEAM3.</p> <p>M_M > Preprocessor C_P > ET, 1, BEAM3 > Enter</p> <p><i>Вторая строка – 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 строку "2 CONTA178" > Options ></p> <p>K2 установить "Penalty method" K4 установить "Real const GAP" K5 установить "Nodal coord - X" > OK > Close</p>	

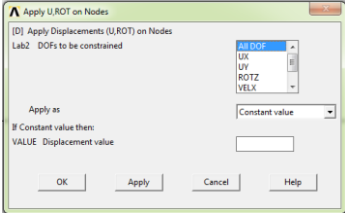
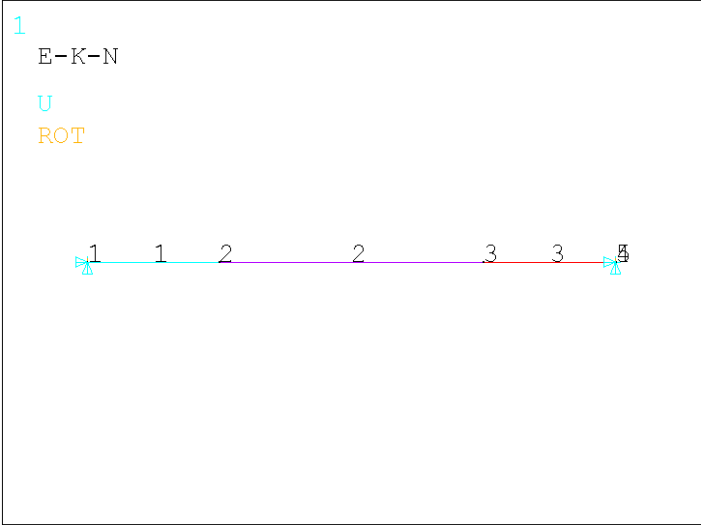
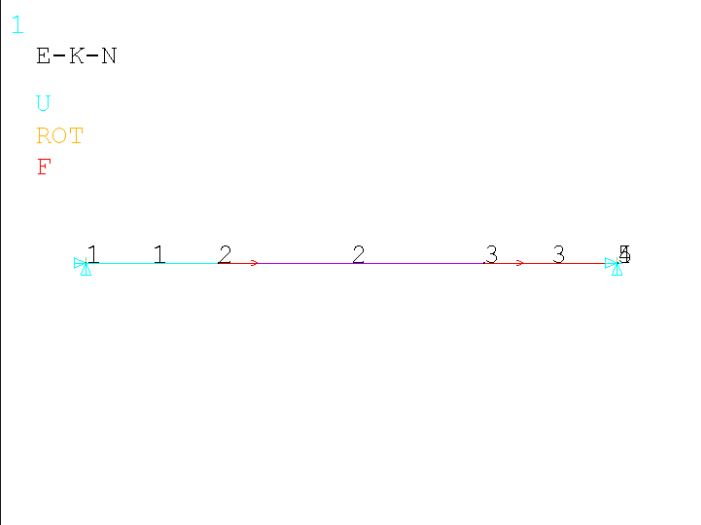
№	Действие	Результат
3	<p><i>Наборы реальных констант:</i></p> <p>Сечение стержня площадью A:</p> <p>$C_P > R, 1, A, I_z, l/10 > \text{Enter}$</p> <p>Жёсткость контакта и величина зазора:</p> <p>$M_M > \text{Preprocessor} > \text{Real Constants} > \text{Add/Edit/Delete} > \text{Add}$</p> <p>В окошке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

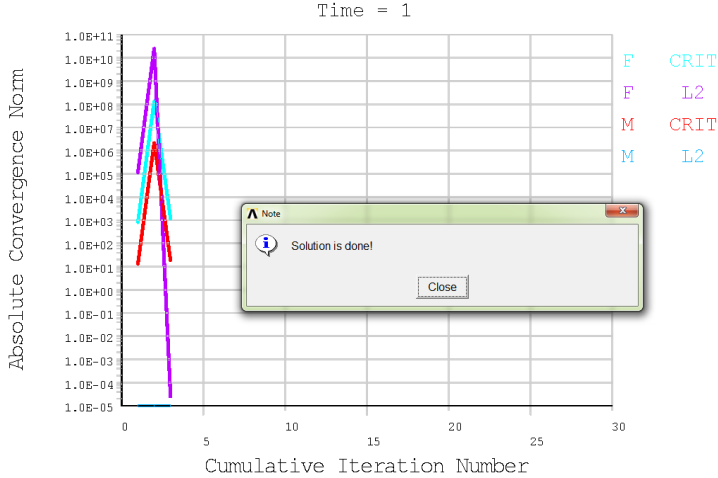
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic > EX пишем "E", PRXY пишем "nu" > OK > Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
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>

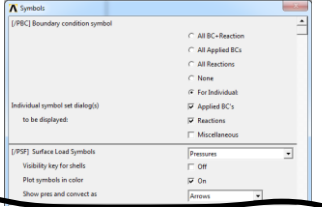
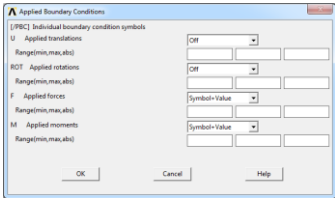
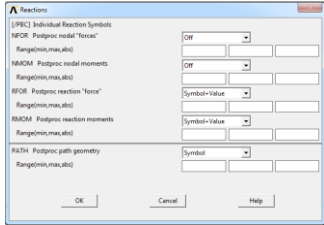
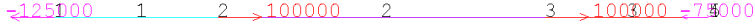
№	Действие	Результат
Конечноэлементная модель		
6	<p>Узлы 1, 2, 3, 4 и 5 в точках B, C, D, K' и K' соответственно:</p> <pre>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Nodes> In Active CS > NODE пишем 1 X,Y,Z пишем 0,0,0 > Apply > NODE пишем 2 X,Y,Z пишем l,0,0 > Apply > NODE пишем 3 X,Y,Z пишем 3*l,0,0 > Apply > NODE пишем 4 X,Y,Z пишем 4*l,0,0 > Apply > NODE пишем 5 X,Y,Z пишем 4*l+Delta,0,0 > OK</pre> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p>	
7	<p>Скрываем оси системы координат:</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 А: M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Elements> ElemAttributes> [TYPE]установить "1 BEAM3" [MAT]установить "1" [REAL]установить "1" > ОК</p> <p>Участки стержня: M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > > Auto Numbered > Thru Nodes Левой кнопкой мыши последовательно кликаем на узлы 1 и 2 > Apply > 2 и 3 > Apply > 3 и 4 > Apply > > ОК</p> <p>Примечание: При клике на узел 4 может возникнуть окошко "Multiple_Entities", предлагающее уточнить - какой именно из близко расположенных узлов Вы хотите выбрать? Кнопками "Prew" или "Next" установите в нём "Picked Node is 4" и нажмите ОК.</p>  <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

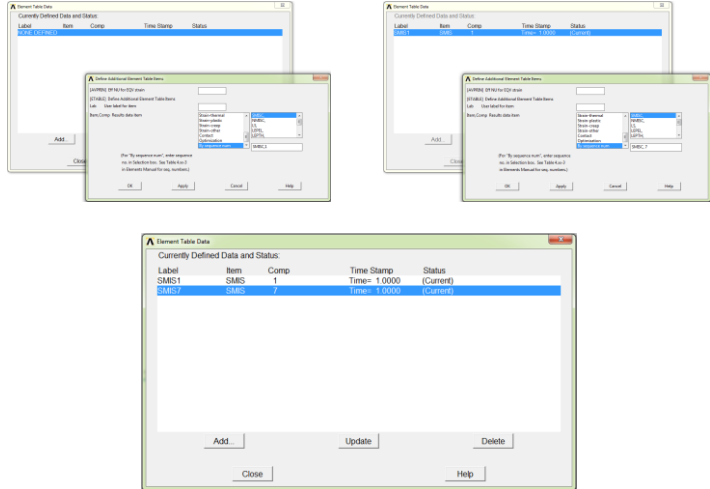
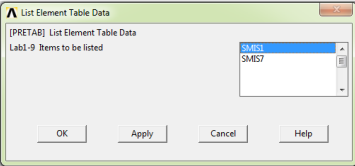
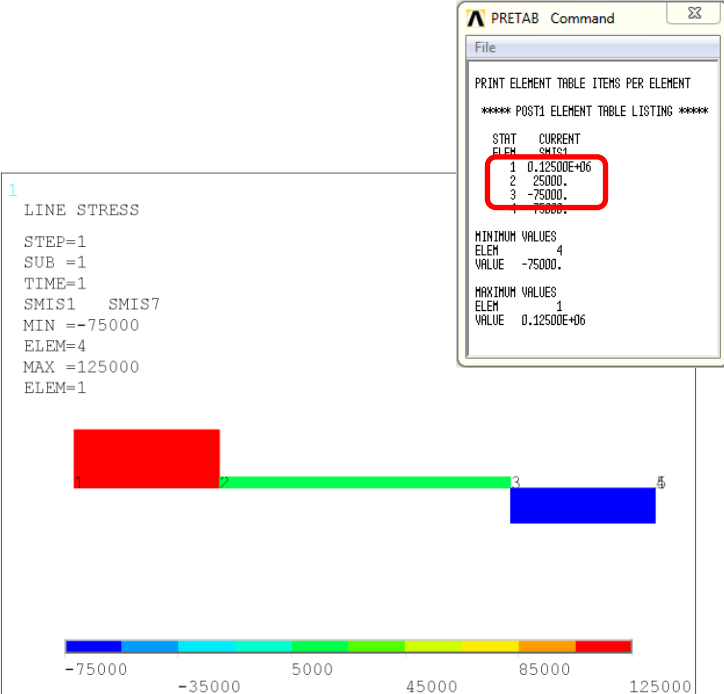
№	Действие	Результат																																			
9	<p><i>Контактный конечный элемент в зазоре (протягиваем по направлению оси X):</i></p> <p>Свойства элемента: M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > > ElemAttributes > [TYPE]установить "2 CONTA178" [MAT]установить "1" [REAL]установить "2" > ОК</p>  <p>Протягиваем контактный элемент между узлами 4 и 5, ограничивающими зазор: M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > > Auto Numbered > Thru Nodes Левой кнопкой мыши последовательно кликаем на узлы 4 и 5 > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: 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, 2 и 3, 3 и 4, 4 и 5; б) Тип первых трёх элементов – 1 (это BEAM3), тип четвёртого элемента - 2 (это CONTA178); в) Реальные константы для балочных элементов – 1, для контактного – 2.</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>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2 3</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>3 4</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>4 5</td> </tr> </tbody> </table>	ELEM	MAT	TYP	REL	ESY	SEC	NODES	1	1	1	1	0	1	1 2	2	1	1	1	0	1	2 3	3	1	1	1	0	1	3 4	4	1	2	2	0	1	4 5
ELEM	MAT	TYP	REL	ESY	SEC	NODES																															
1	1	1	1	0	1	1 2																															
2	1	1	1	0	1	2 3																															
3	1	1	1	0	1	3 4																															
4	1	2	2	0	1	4 5																															

№	Действие	Результат
11	<p><i>Заделки:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Nodes > Лево́й кнопкой мыши нажать на 1 и 6 узлы > OK > Lab2 установить "All DOF" > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> 	
12	<p><i>Внешние силы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On nodes > Лево́й кнопкой мыши нажимаем на узлы 2 и 3 > OK > Lab установить "FX" VALUE пишем F > OK</p>	

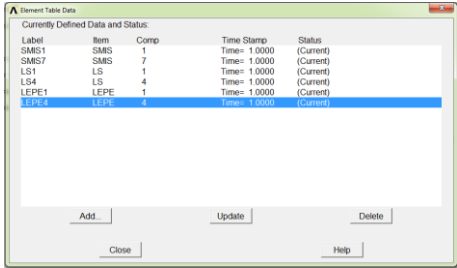
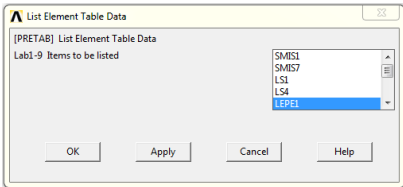
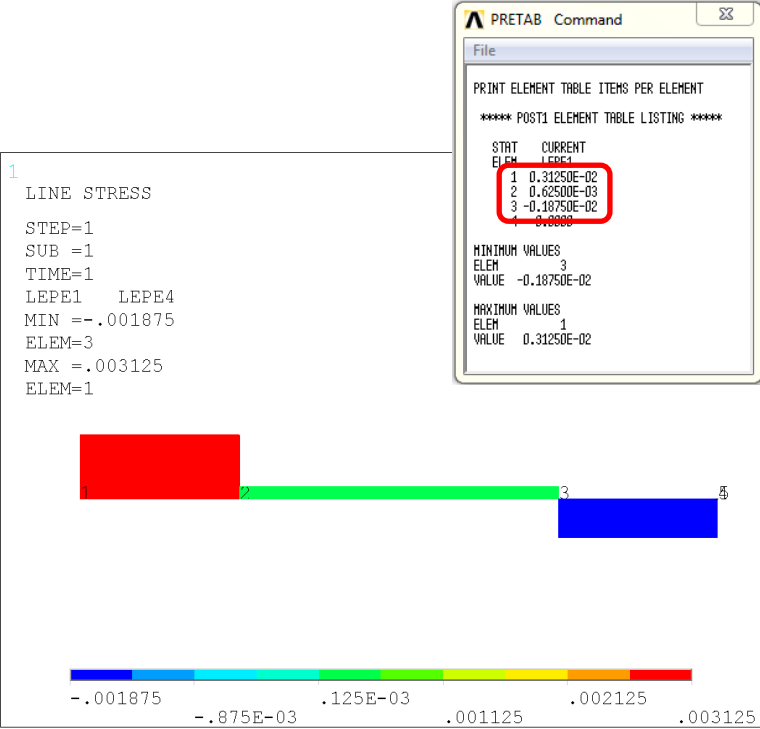
№	Действие	Результат
Расчёт		
13	<p><i>Запускаем расчёт:</i> М_М > Solution > Solve > Current LS Синхронно появляются два окна: белое информационное и серое исполнительное. Белое закрываем, на сером нажимаем ОК. Расчёт пошёл. Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно. Расчёт окончен.</p>	 <p style="text-align: center;">Time = 1</p> <p>Absolute Convergence Norm</p> <p>Cumulative Iteration Number</p> <p>Legend:</p> <ul style="list-style-type: none"> F CRIT F L2 M CRIT M L2

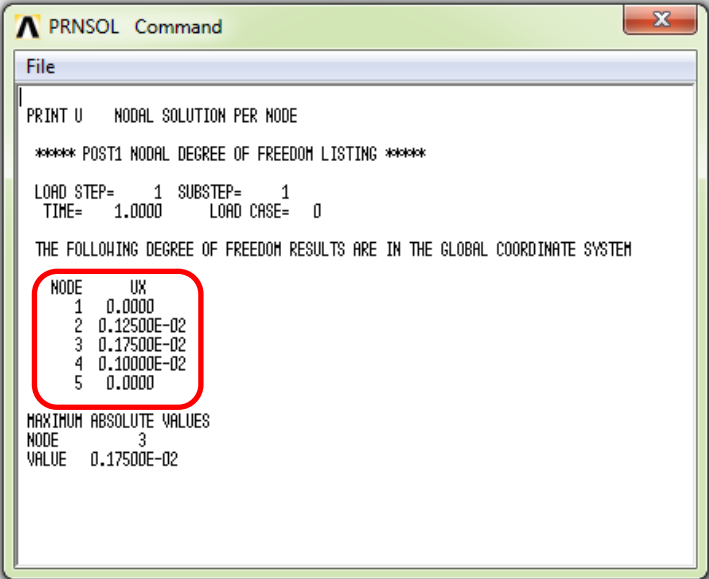
№	Действие	Результат
Просмотр результатов		
14	<p>Силовая схема:</p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous" Surface Load Symbols устанавливаем Pressures Show pres and convect as устанавливаем Arrows > OK ></p> <p>В окне "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>	   <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-top: 20px;"> <p>1</p> <p>ELEMENTS</p> <p>ELEM NUM</p> <p>F</p> <p>RFOR</p>  </div> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">Видим точное совпадение с результатами аналитического расчёта (рис. 1а.).</p>

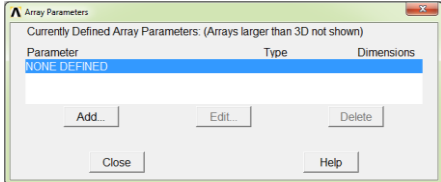
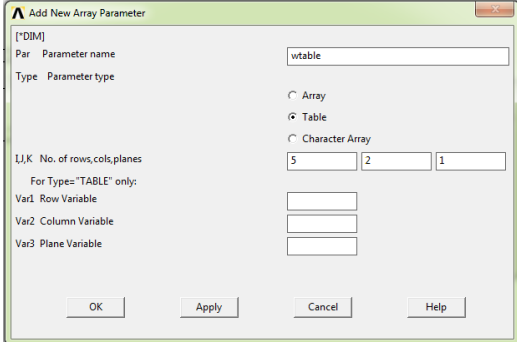
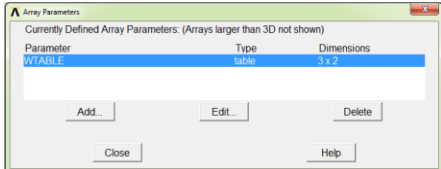
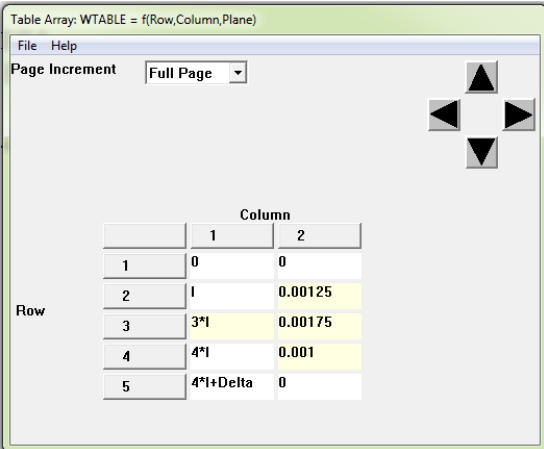
№	Действие	Результат
15	<p><i>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10 > ОК</p>	

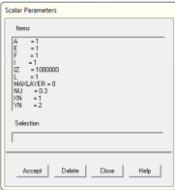
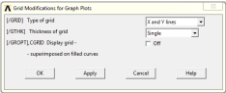
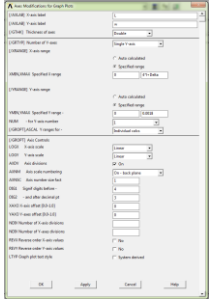
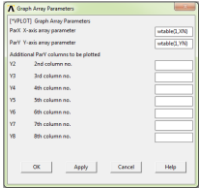
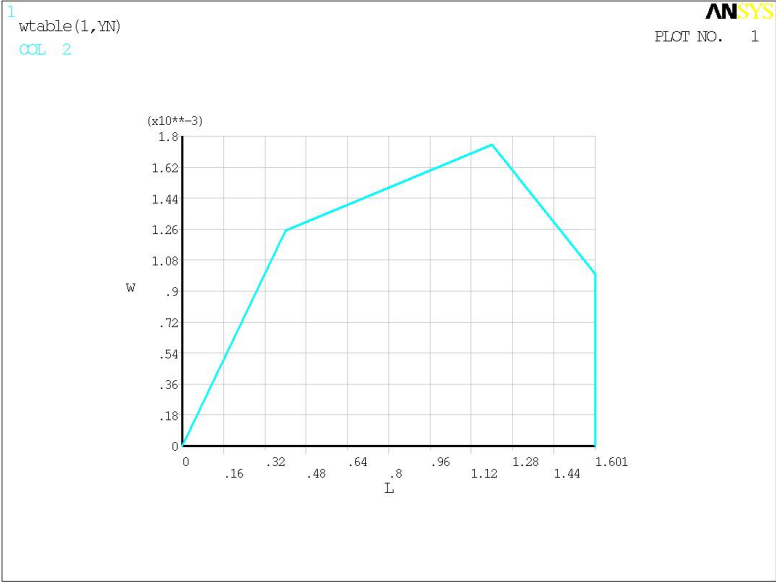
№	Действие	Результат
16	<p><i>Составление эпюры внутренней растягивающей осевой силы:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "1" > Apply > "By sequence num", "SMISC,", "7" > OK > > Close</p>	
17	<p><i>Прорисовка эпюры внутренней растягивающей осевой силы:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > > Line Elem Res > LabI установить "SMIS1" LabJ установить "SMIS7" > OK</p> <p>Видим эпюру, состоящую из прямоугольников. Высоту каждого можно определить по его цвету, а можно посмотреть в виде списка:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Elem Table Data > Отметить мышью строчку SMIS1 > OK</p>  <p>Получаем тот же результат, что и на рис. 1б. с погрешностями менее процента.</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>Видим эпюру, состоящую из прямоугольников. Высоту каждого можно определить по его цвету, а можно посмотреть в виде списка:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Elem Table Data > Отметить мышью строчку LS1 > OK</p>  <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1в</i>. с погрешностями менее процента.</p>	

№	Действие	Результат
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>Видим эпюру, состоящую из прямоугольников. Высоту каждого можно определить по его цвету, а можно посмотреть в виде списка:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Elem Table Data > Отметить мышью строчку LEPE1 > OK</p>  <p>Получаем тот же результат, что и на рис. 1г. с погрешностями менее процента.</p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 LEPE1 LEPE4 MIN =-.001875 ELEM=3 MAX =.003125 ELEM=1 </pre> <pre> PRETAB Command File PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT **** POST1 ELEMENT TABLE LISTING **** STAT CURRENT ELEM LEPE1 1 0.31250E-02 2 0.62500E-03 3 -0.18750E-02 4 0.00000E+00 MINIMUM VALUES ELEM 3 VALUE -0.18750E-02 MAXIMUM VALUES ELEM 1 VALUE 0.31250E-02 </pre> <p>-.001875 -.875E-03 .125E-03 .001125 .002125 .003125</p>

№	Действие	Результат
22	<p><i>Осевые перемещения сечений стержня (таблица):</i></p> <pre>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > X-Component of displacement> > OK</pre> <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 менее процента.</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 0.12500E-02 3 0.17500E-02 4 0.10000E-02 5 0.0000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 3 VALUE 0.17500E-02</pre>

№	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 = 5, 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}, 4^{ro} и 5^{ro} (рис. 2). Второй столбец - перемещения UX узлов (см. результат действия №22).</p> <p>> File > Apply/Quit > Close</p>	    <table border="1" data-bbox="1491 999 2033 1449"> <thead> <tr> <th colspan="3">Table Array: WTABLE = f(Row, Column, Plane)</th> </tr> <tr> <th colspan="3">File Help</th> </tr> <tr> <td>Page Increment</td> <td colspan="2">Full Page</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2" style="text-align: center;"> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;"> ← ↑ → ↓ </div> </td> </tr> <tr> <td></td> <th colspan="2">Column</th> </tr> <tr> <td></td> <th>1</th> <th>2</th> </tr> <tr> <th>Row</th> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2</td> <td>0.00125</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3</td> <td>0.00175</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4</td> <td>0.001</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5</td> <td>0</td> </tr> </thead></table>	Table Array: WTABLE = f(Row, Column, Plane)			File Help			Page Increment	Full Page			<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;"> ← ↑ → ↓ </div>			Column			1	2	Row	1	0		2	0.00125		3	0.00175		4	0.001		5	0
Table Array: WTABLE = f(Row, Column, Plane)																																			
File Help																																			
Page Increment	Full Page																																		
	<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;"> ← ↑ → ↓ </div>																																		
	Column																																		
	1	2																																	
Row	1	0																																	
	2	0.00125																																	
	3	0.00175																																	
	4	0.001																																	
	5	0																																	

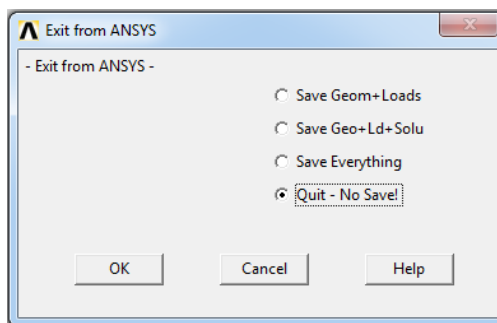
№	Действие	Результат
24	<p>Осевые перемещения сечений стержня (прорисовка эпюры):</p> <p>Параметры, необходимые для построения эпюры: по горизонтальной оси будет откладываться первый столбец массива, по оси ординат – второй столбец массива.</p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters... > XN=1 > Accept > 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 "4*l" [/YRANGE] установить "Specified range" YMIN, YMAX установить "0" и "0.0018" > 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>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.