

## B-10 (ANSYS)

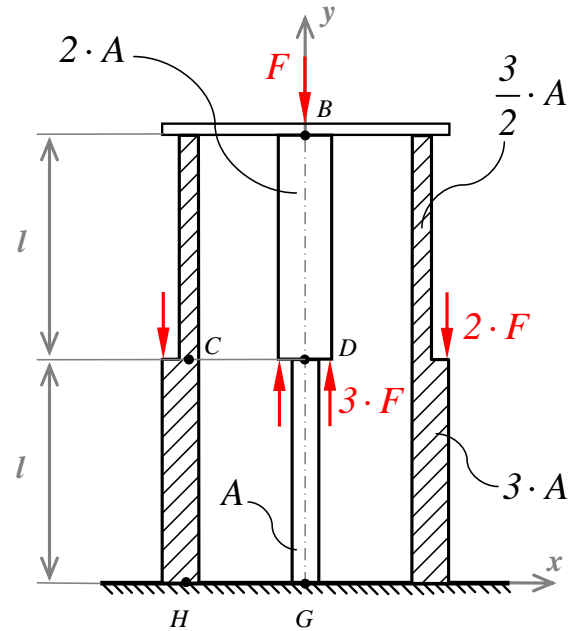
Формулировка задачи:

Дано: Стержень в трубке.

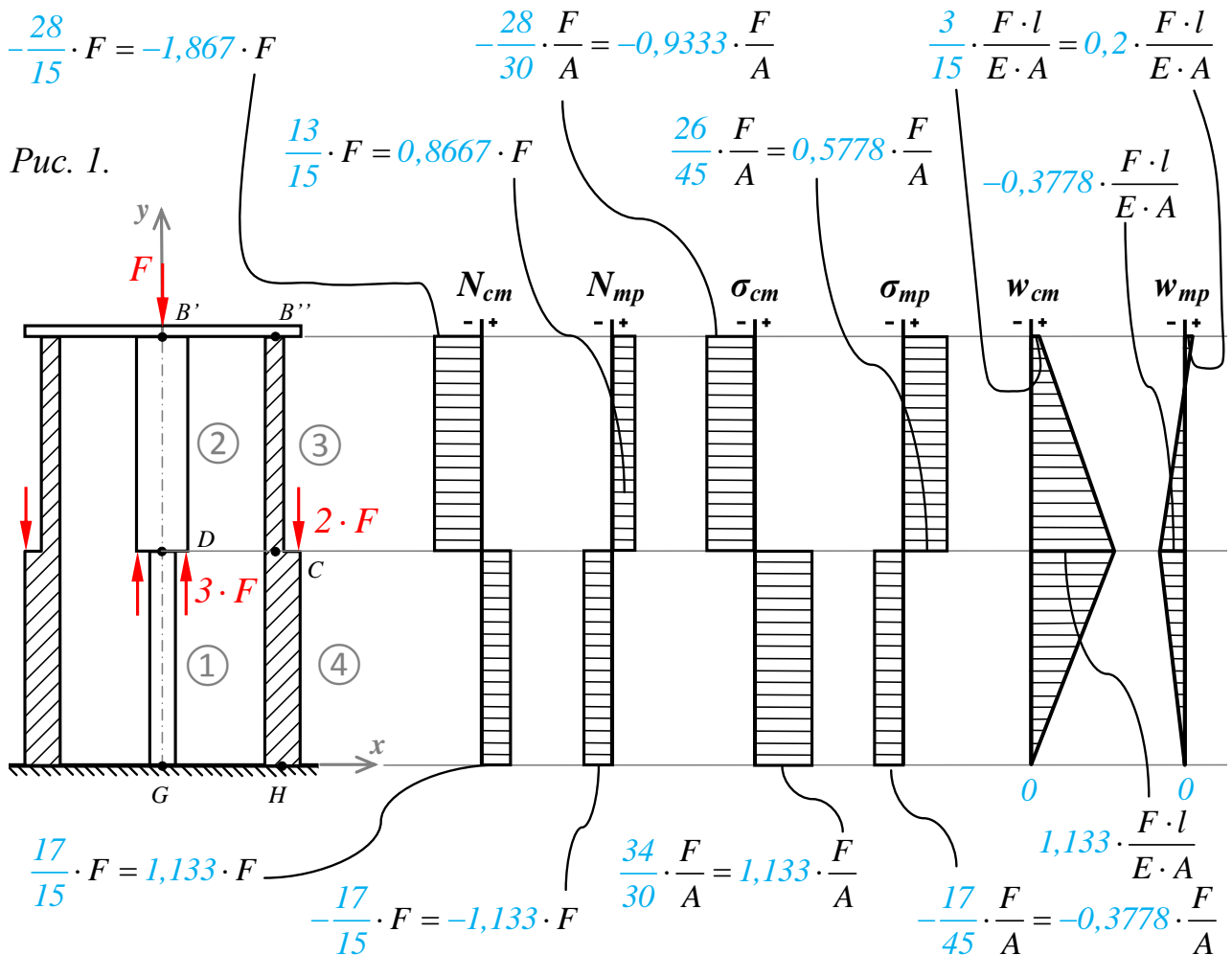
$E$  – модуль упругости материала;

$A$  – площадь поперечного сечения.

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



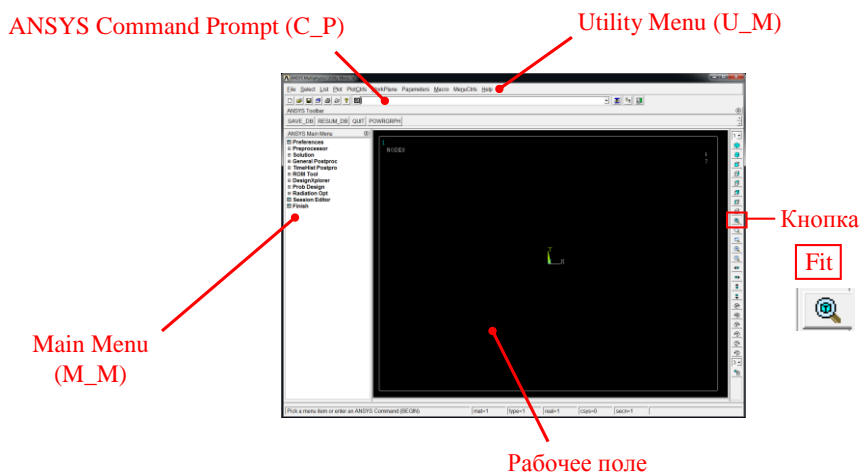
Аналитический расчёт (см. [B-10](#)) даёт следующие решения:



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):

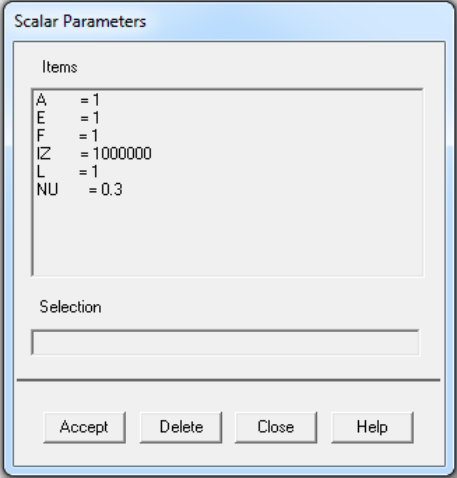
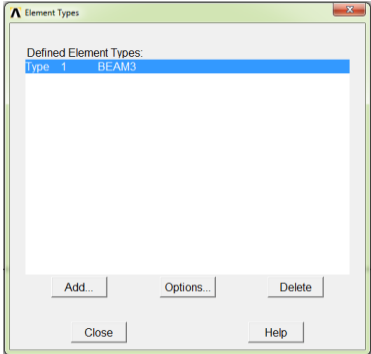
```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить NODE ;
Установить Elem на "Element numbers";
Установить [/NUM] на "Colors&numbers"
> OK
```

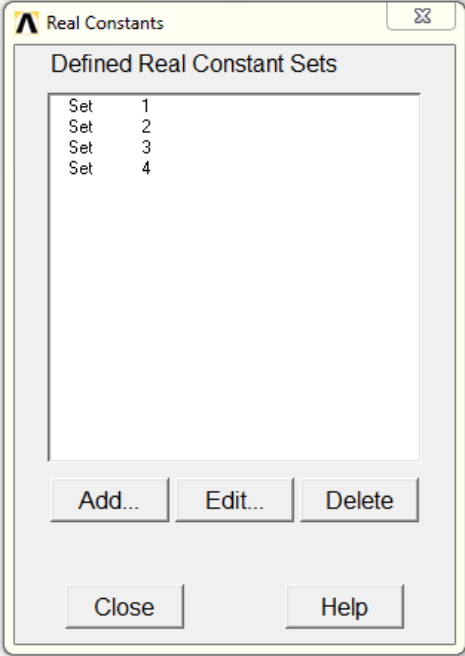
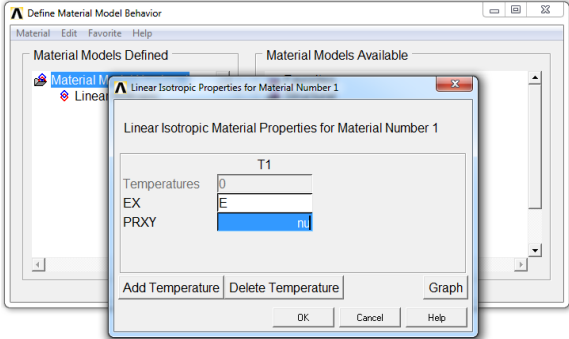
Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

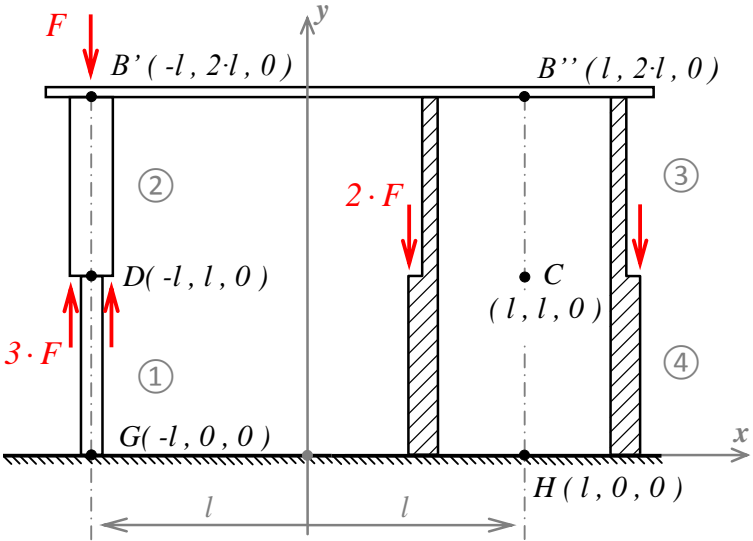
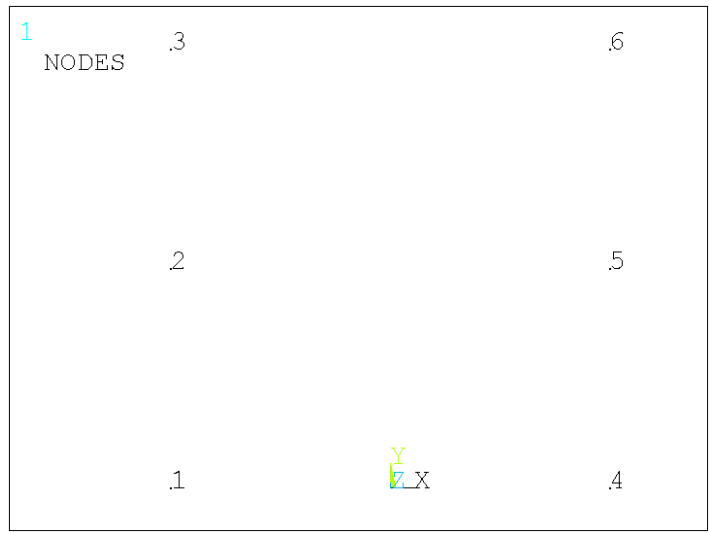
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >
Установить «Размер» на «22» > OK
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
Установить «Размер» на «22» > OK
```

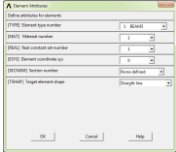
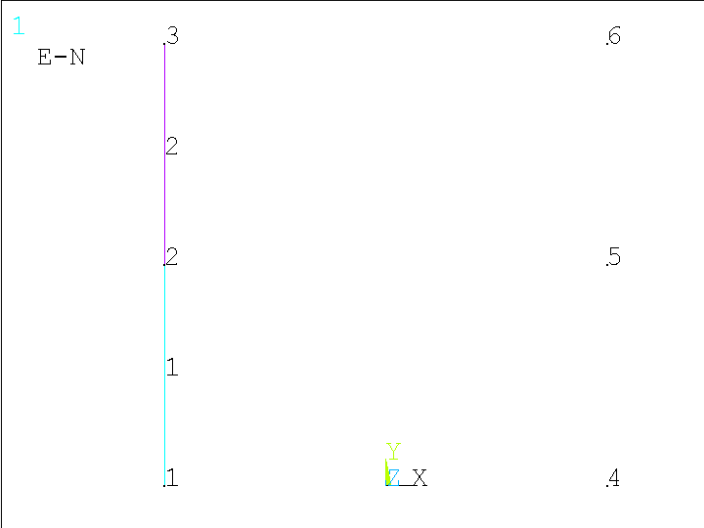
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

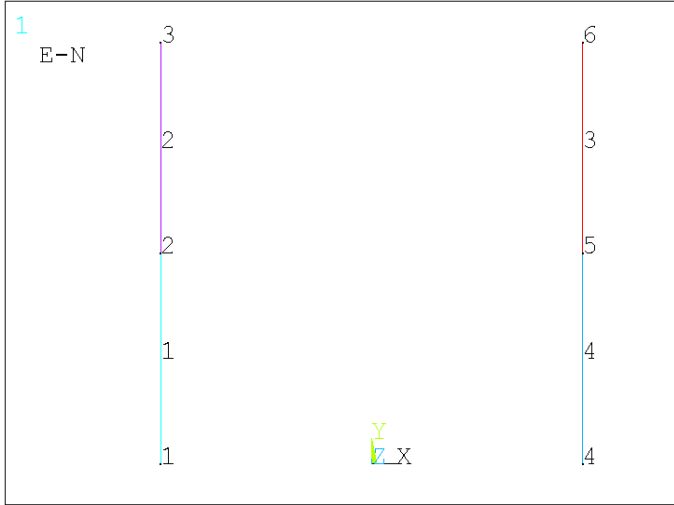
Решение задачи: Приравняв  $E$ ,  $A$ ,  $F$  и  $I$ , к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

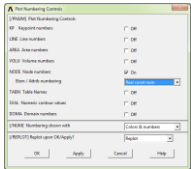
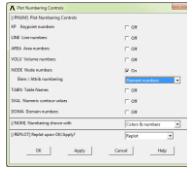
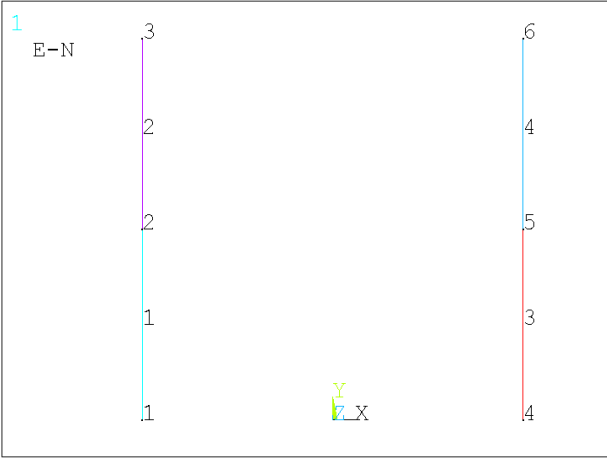
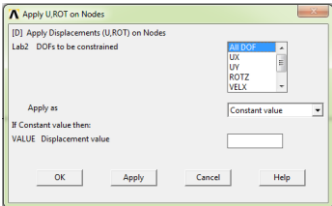
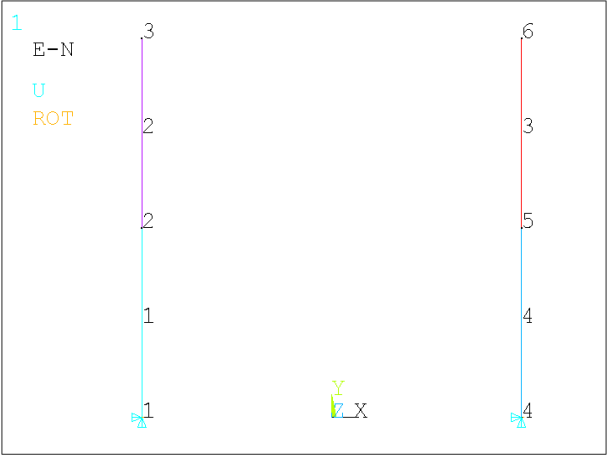
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <pre>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt; E=1 &gt; Accept &gt; A=1 &gt; Accept &gt; Iz=1e6 &gt; Accept &gt; F=1 &gt; Accept &gt; l=1 &gt; Accept &gt; nu=0.3 &gt; Accept &gt; &gt; Close</pre> <p><math>Iz</math> – изгибный момент инерции; <math>nu</math> – коэффициент Пуассона для металлов.</p>	
2	<p><i>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский балочный тип BEAM3:</i></p> <pre>M_M &gt; Preprocessor C_P &gt; ET, 1, BEAM3 &gt; <b>Enter</b></pre> <p>Посмотрим таблицу конечных элементов:</p> <pre>M_M &gt; Preprocessor &gt; Element Type &gt; Add/Edit/Delete &gt; Close</pre>	

№	Действие	Результат
3	<p><i>Наборов реальных констант столько, сколько вариантов поперечных сечений в конструкции:</i></p> <p>Сечение площадью A:  <code>C_P &gt; R, 1, A, Iz, l/10 &gt; <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Enter</span></code></p> <p>Сечение площадью 2·A:  <code>C_P &gt; R, 2, 2*A, Iz, l/5 &gt; <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Enter</span></code></p> <p>Сечение площадью 3·A:  <code>C_P &gt; R, 3, 3*A, Iz, l/2.5 &gt; <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Enter</span></code></p> <p>Сечение площадью 3/2·A:  <code>C_P &gt; R, 4, 3/2*A, Iz, l/8 &gt; <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Enter</span></code></p> <p>“l/ . . .” – высота поперечного сечения; формальная величина, использоваться не будет, но задать каким-либо положительным числом нужно.</p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант:  <code>M_M &gt; Preprocessor &gt; Real Constants &gt; Add/Edit/Delete &gt; Close</code></p>	
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p><code>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;</code></p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	

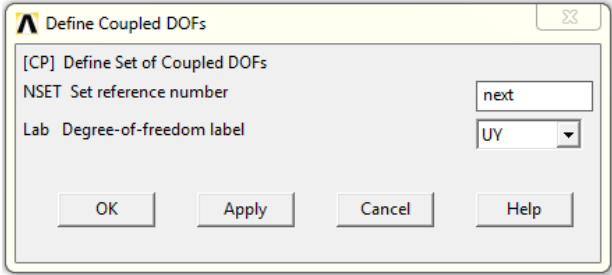
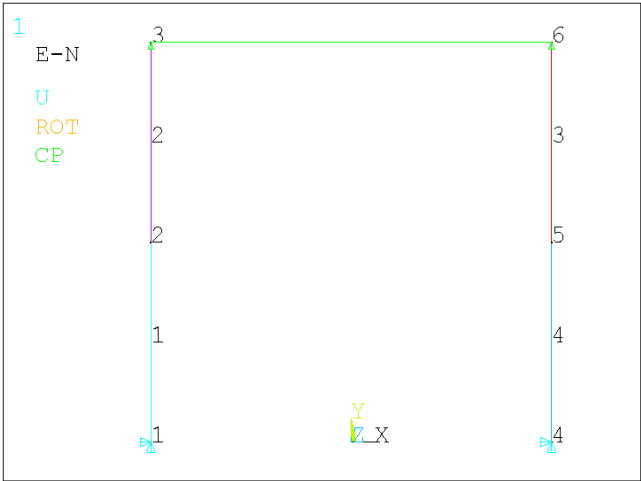
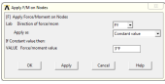

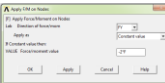
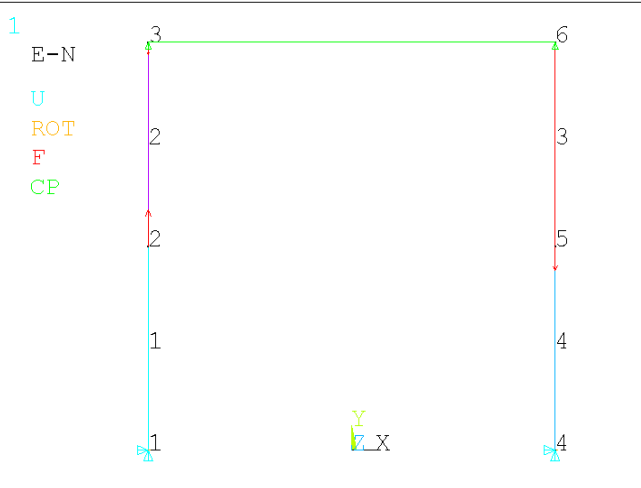
№	Действие	Результат
5	<p><i>Координаты точек конструкции:</i></p> <p>Определяемся с положением точек относительно глобальной декартовой системы координат.</p> <p>Для того, чтобы рисунки будущих эпюр не накладывались друг на друга, ось стержня смещаем влево на расстояние <math>l</math>, ось трубки – вправо на то же расстояние:</p>	
<b>Конечноэлементная модель</b>		
6	<p><i>Узлы 1, 2, 3, 4, 5 и 6 в точках G, D, B', H, C и B'' соответственно:</i></p> <pre> M_M&gt; Preprocessor&gt; Modeling&gt; Create&gt; Nodes&gt; In Active CS &gt; NODE пишем 1 X,Y,Z пишем -l,0,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 2 X,Y,Z пишем -l,l,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 3 X,Y,Z пишем -l,2*l,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 4 X,Y,Z пишем l,0,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 5 X,Y,Z пишем l,l,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 6 X,Y,Z пишем l,2*l,0 &gt; OK Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots </pre>	

№	Действие	Результат
7	<p><i>Участки стержня:</i></p> <p><i>Устанавливаем текущим поперечное сечение A:</i>  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; ОК</p>  <p><i>Протягиваем конечный элемент №1 (первый участок):</i>  M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt;  &gt; Auto Numbered &gt; Thru Nodes  Левой кнопкой мыши последовательно кликаем узлы  2 и 1  &gt; ОК</p> <p><i>Устанавливаем текущим поперечное сечение 2A:</i>  M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt;  &gt; Elem Attributes &gt;  [REAL]установить "2"  &gt; ОК</p> <p><i>Протягиваем конечный элемент №2 (второй участок):</i>  M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt;  &gt; Auto Numbered &gt; Thru Nodes  Левой кнопкой мыши последовательно кликаем узлы  3 и 2  &gt; ОК</p> <p><i>Прорисовываем всё, что есть:</i>  U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

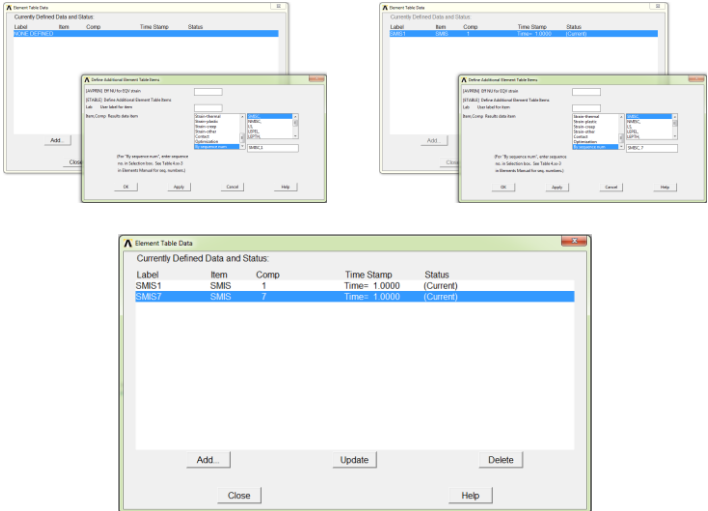
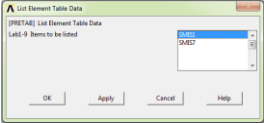
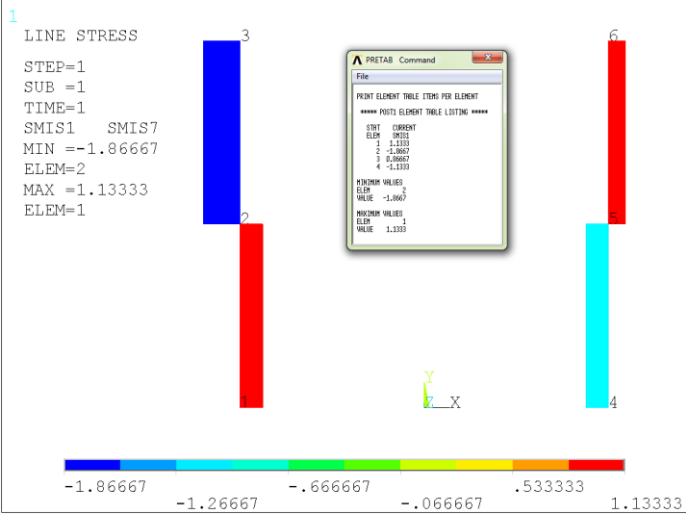
№	Действие	Результат
8	<p><i>Участки трубы:</i></p> <p><i>Устанавливаем текущим поперечное сечение <math>\frac{3}{2}A</math>:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt;  &gt; Elem Attributes &gt;  [REAL]установить "4"  &gt; ОК</p> <p><i>Протягиваем конечный элемент №3 (третий участок):</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt;  &gt; Auto Numbered &gt; Thru Nodes</p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно кликаем узлы  6 и 5  &gt; ОК</p> <p><i>Устанавливаем текущим поперечное сечение 3A:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt;  &gt; Elem Attributes &gt;  [REAL]установить "3"  &gt; ОК</p> <p><i>Протягиваем конечный элемент №4 (четвёртый участок):</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt;  &gt; Auto Numbered &gt; Thru Nodes</p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно кликаем узлы  5 и 4  &gt; ОК</p> <p><i>Прорисовываем всё, что есть:</i></p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

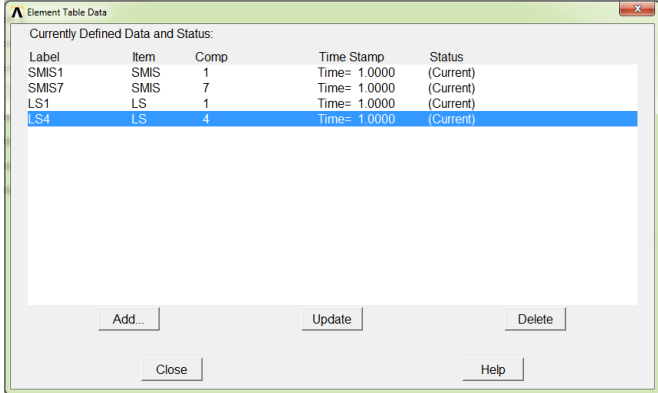
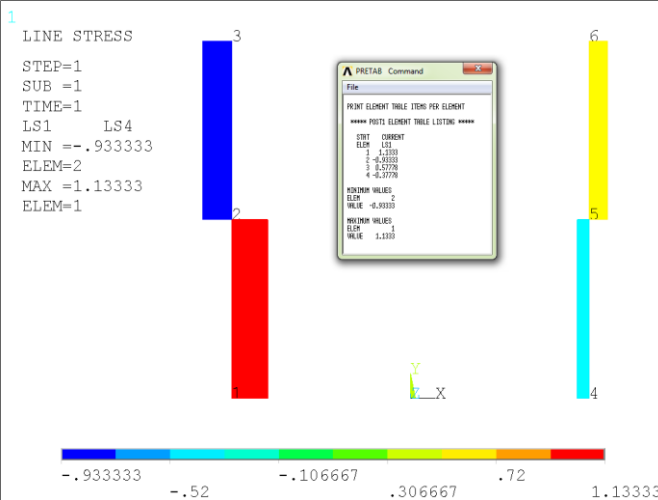
№	Действие	Результат
9	<p><i>Проверяем правильность задания поперечных сечений – нумеруем элементы не по порядковому номеру, а по номеру набора реальных констант:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Numbering &gt;  Установить Elem на "Real const num";  &gt; ОК</p>  <p><i>Возвращаемся к порядковой нумерации элементов:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Numbering &gt;  Установить Elem на "Element numbers";  &gt; ОК</p> 	
10	<p><i>Заделки:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural  &gt; Displacement &gt; On Nodes &gt;  Левой кнопкой мыши нажать на 1 и 4 узлы  &gt; ОК &gt;</p> <p>Lab2 установить "All DOF"  &gt; ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:  U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	

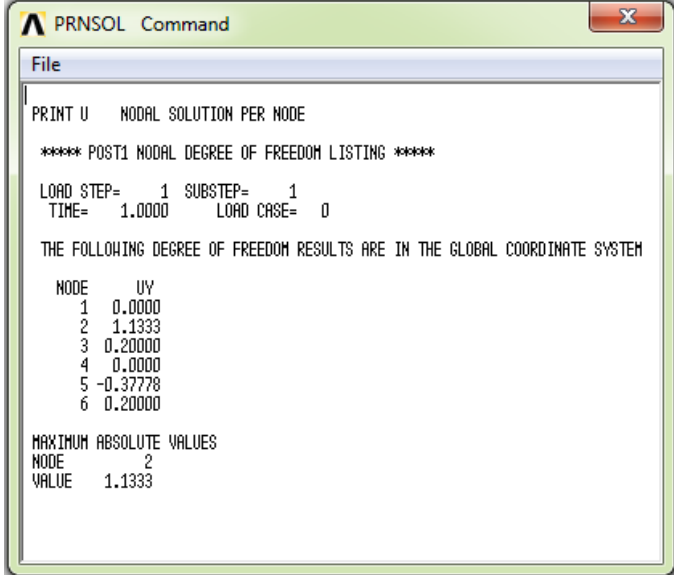


№	Действие	Результат
11	<p><i>Связываем вертикальное перемещение конца стержня с вертикальным перемещением конца трубки:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Coupling/Ceqn &gt; Couple DOFs            Left mouse button marks nodes 3 and 6            &gt; OK            NSET write next            Lab set to "UY"            &gt; OK</p> <p>Draw everything that is there:            U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	
12	<p><i>External forces:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural            &gt; Force/Moment &gt; On nodes &gt;            Left mouse button click on node 2 &gt; OK &gt;            Lab set to "FY"            VALUE write 3*F</p>  <p>&gt; Apply &gt;</p> <p>Left mouse button click on node 3 &gt; OK &gt;            VALUE write -F</p>  <p>&gt; Apply &gt;</p> <p>Left mouse button click on node 5 &gt; OK &gt;            VALUE write -2*F</p>  <p>&gt; OK</p> <p>Draw everything that is there:            U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

№	Действие	Результат
<b>Расчёт</b>		
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>	
<b>Просмотр результатов</b>		
14	<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>	

№	Действие	Результат																											
15	<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; OK &gt;            &gt; Close</p>																												
16	<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; OK</p> <p>Видим эпюру, состоящую из прямоугольников. Высоту их можно определить по его цвету, а можно посмотреть в виде списка:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Elem Table Data &gt;            Отметить мышью строчку SMIS1            &gt; OK</p>  <p>Получаем тот же результат, что и на рис. 1. (<math>N_{cm}</math> и <math>N_{mp}</math>, числа, выделенные синим цветом).</p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS1 SMIS7 MIN =-1.86667 ELEM=2 MAX =1.13333 ELEM=1   </pre> <table border="1"> <thead> <tr> <th>STRT</th> <th>CURRENT</th> <th>VALUE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>-1.1333</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2</td> <td>-1.8667</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3</td> <td>0.86667</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4</td> <td>-1.1333</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MINIMUM VALUE(S)</th> <th>ELEM</th> <th>VALUE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MINIMUM VALUE(S)</td> <td>2</td> <td>-1.8667</td> </tr> <tr> <th>MAXIMUM VALUE(S)</th> <th>ELEM</th> <th>VALUE</th> </tr> <tr> <td>MAXIMUM VALUE(S)</td> <td>1</td> <td>1.1333</td> </tr> </tbody> </table>	STRT	CURRENT	VALUE	1	1	-1.1333	2	2	-1.8667	3	3	0.86667	4	4	-1.1333	MINIMUM VALUE(S)	ELEM	VALUE	MINIMUM VALUE(S)	2	-1.8667	MAXIMUM VALUE(S)	ELEM	VALUE	MAXIMUM VALUE(S)	1	1.1333
STRT	CURRENT	VALUE																											
1	1	-1.1333																											
2	2	-1.8667																											
3	3	0.86667																											
4	4	-1.1333																											
MINIMUM VALUE(S)	ELEM	VALUE																											
MINIMUM VALUE(S)	2	-1.8667																											
MAXIMUM VALUE(S)	ELEM	VALUE																											
MAXIMUM VALUE(S)	1	1.1333																											

№	Действие	Результат																				
17	<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>																					
18	<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 рис. 1. (<math>\sigma_{cm}</math> и <math>\sigma_{mp}</math>, числа, выделенные синим цветом).</p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 LS1   LS4 MIN =-.933333 ELEM=2 MAX =1.133333 ELEM=1 </pre> <table border="1" data-bbox="1742 783 1906 986"> <thead> <tr> <th>STEP</th> <th>CURRENT</th> <th>ELEM</th> <th>VALUE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1.1333</td> <td>1</td> <td>1.1333</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>-0.9333</td> <td>2</td> <td>-0.9333</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0.5278</td> <td>3</td> <td>0.5278</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>-0.3778</td> <td>4</td> <td>-0.3778</td> </tr> </tbody> </table>	STEP	CURRENT	ELEM	VALUE	1	1.1333	1	1.1333	1	-0.9333	2	-0.9333	1	0.5278	3	0.5278	1	-0.3778	4	-0.3778
STEP	CURRENT	ELEM	VALUE																			
1	1.1333	1	1.1333																			
1	-0.9333	2	-0.9333																			
1	0.5278	3	0.5278																			
1	-0.3778	4	-0.3778																			

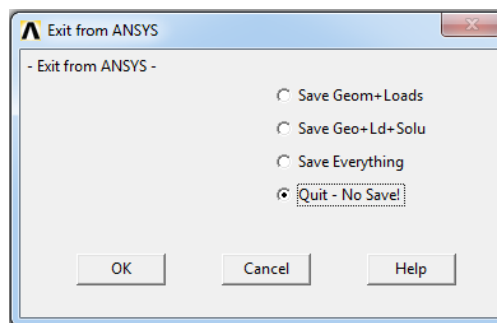
№	Действие	Результат
19	<p><i>Осевые перемещения узлов стержня и трубки:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt; Nodal Solution &gt; DOF Solution &gt; Y-Component of displacement &gt; OK</p> <p>Получаем окно “PRNSOL Command” с табличкой, где NODE – номер узла конечноэлементной модели, а UY – его перемещение по горизонтали.</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1</i>. (<math>W_{cm}</math> и <math>W_{mp}</math>, числа, выделенные синим цветом).</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      UY 1  0.0000 2  1.1333 3  0.20000 4  0.0000 5  -0.37778 6  0.20000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE      2 VALUE    1.1333 </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.