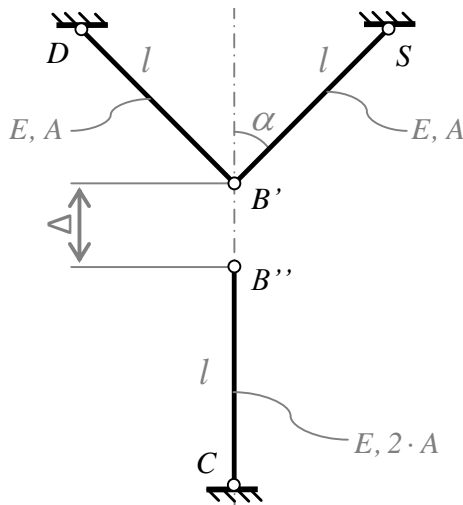


## B-13 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: Ферма собрана с зазором. Зазор принудительно стягивают, в результате чего в стержнях фермы возникают напряжения.

$E$  – модуль упругости материала;

$\sigma_T$  – предел текучести материала;

$A$  – площадь поперечного сечения.

$l$  – длина ;

$\alpha = 45^\circ$  ;

$\Delta$  – монтажный зазор;

$[n_T]$  – нормативный коэффициент запаса прочности по текучести.

Найти: 1) Допустимое значение зазора  $[\Delta]$ ;

2) Величину вертикального перемещения точки  $B'$ .

Аналитический расчёт (см. [B-13](#)) даёт следующие решения:

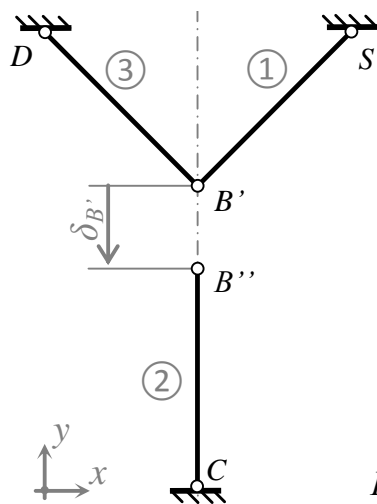


Рис. 1.

$$N_1 = N_3 = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \frac{E \cdot A \cdot \Delta}{l} = 0,4714 \cdot \frac{E \cdot A \cdot \Delta}{l} ;$$

$$N_2 = \frac{2}{3} \cdot \frac{E \cdot A \cdot \Delta}{l} = 0,6667 \cdot \frac{E \cdot A \cdot \Delta}{l} ;$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \frac{E \cdot \Delta}{l} = 0,4714 \cdot \frac{E \cdot \Delta}{l} ;$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{E \cdot \Delta}{l} = 0,3333 \cdot \frac{E \cdot \Delta}{l} ;$$

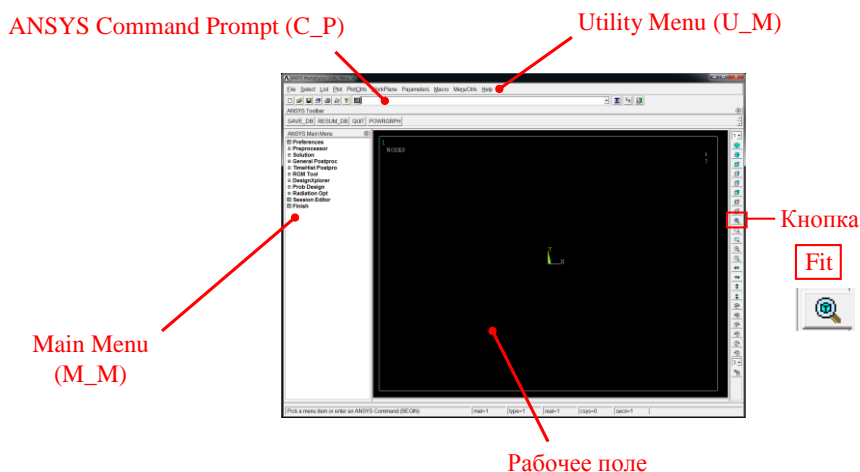
$$\delta_{B'} = \frac{\Delta l_1}{\cos \alpha} = \frac{N_1 \cdot l}{E \cdot A \cdot \cos \alpha} = \frac{2}{3} \cdot \Delta ;$$

$$\sigma_{max} = 0,4714 \cdot \frac{E \cdot \Delta}{l} \Rightarrow [\sigma] = 0,4714 \cdot \frac{E \cdot [\Delta]}{l} = \frac{\sigma_T}{[n_T]} \Rightarrow [\Delta] = \frac{\sigma_T \cdot l}{0,4714 \cdot [n_T] \cdot E} .$$

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):

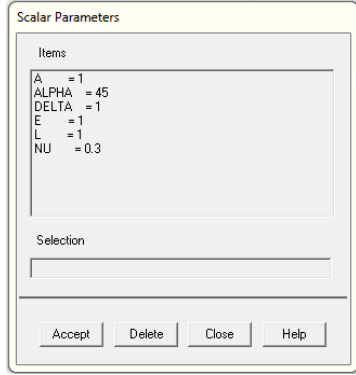
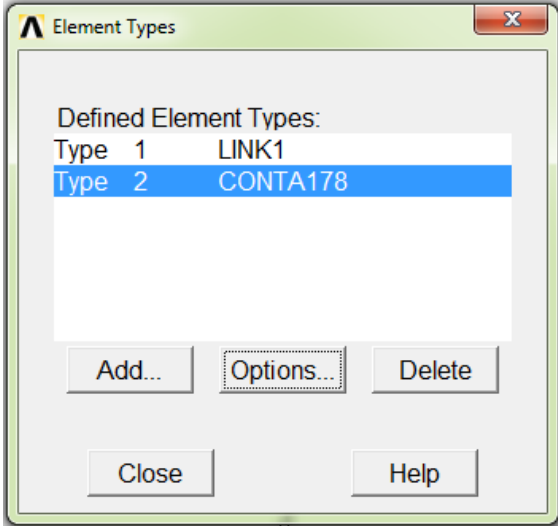
```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить NODE ;
Установить Elem на "Element numbers";
Установить [/NUM] на "Colors&numbers"
> OK
```

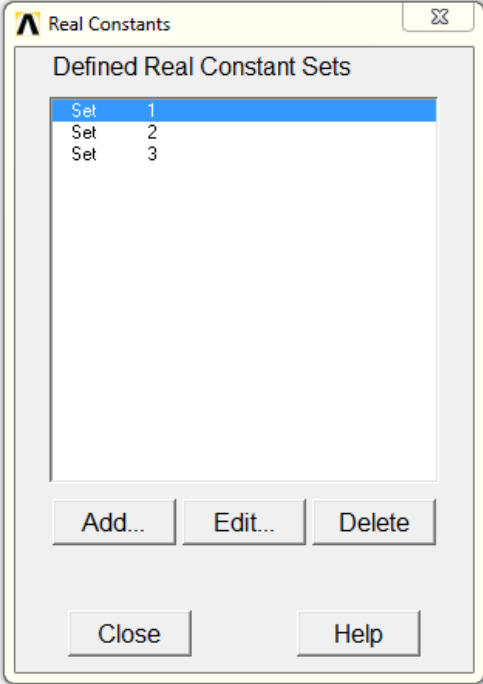
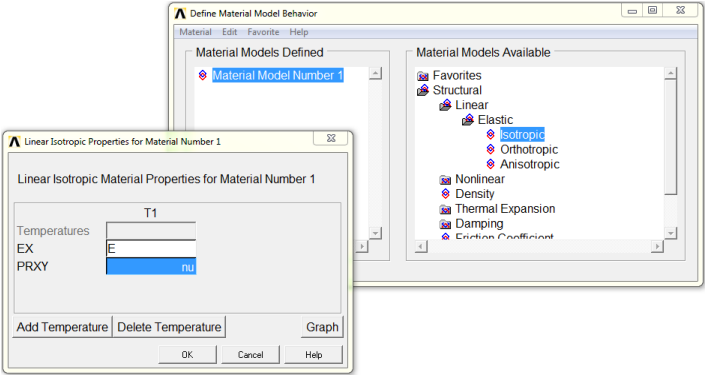
Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

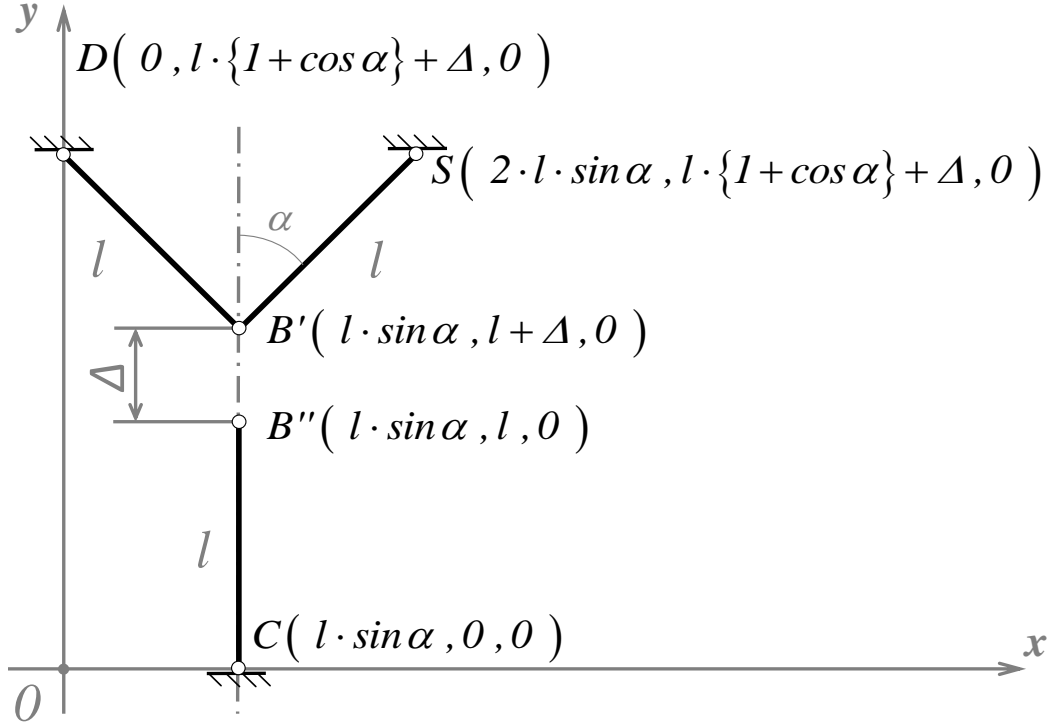
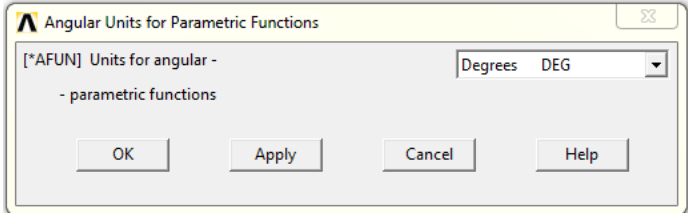
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >
Установить «Размер» на «22» > OK
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
Установить «Размер» на «22» > OK
```


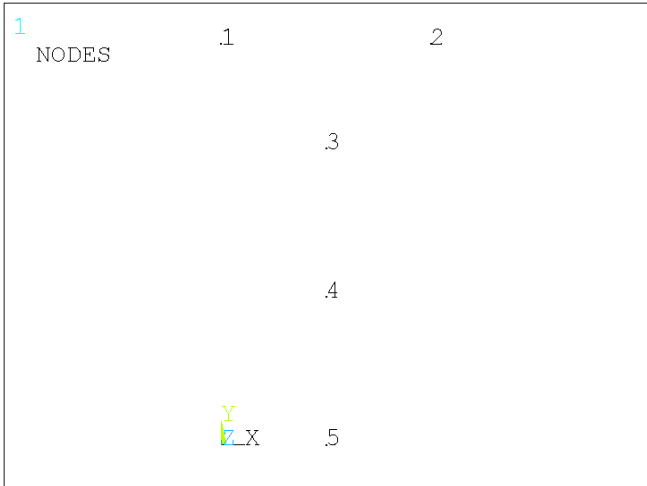
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

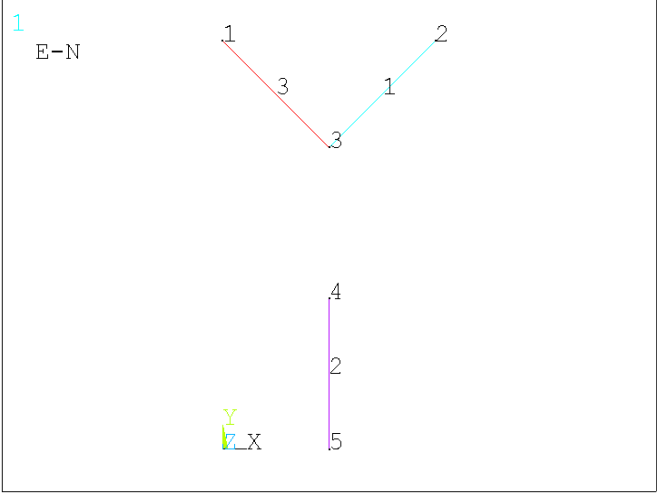
Решение задачи: Приравняв  $E$ ,  $A$ ,  $\Delta$  и  $l$ , к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

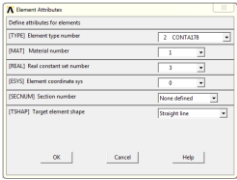
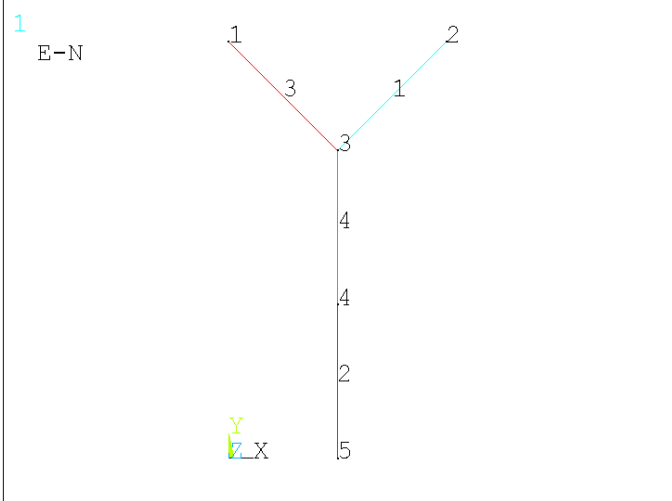
№	Действие	Результат
1	<p>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;            E=1 &gt; Accept &gt;            A=1 &gt; Accept &gt;            l=1 &gt; Accept &gt;            Alpha=45 &gt; Accept &gt;            Delta=1 &gt; Accept &gt;            nu=0.3 &gt; Accept &gt;            &gt; Close</p> <p>nu – коэффициент Пуассона для металлов.</p>	
2	<p>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский фермовый LINK1:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor            C_P &gt; ET,1,LINK1 &gt; <b>Enter</b></p> <p>Вторая строка – контактный элемент CONTA178:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Element Type &gt; Add/Edit/Delete &gt; Add            Element reference number пишем 2</p> <p>В левом окошке выбираем "Contact"</p> <p>В правом окошке "nd-to-nd 178"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>В окошке Element types отметить вторую строчку "2 CONTA178"</p> <p>&gt; Options &gt;</p> <p>K2 установить "Penalty method"</p> <p>K4 установить "Real const GAP"</p> <p>K5 установить "Nodal coord - Y"</p> <p>&gt; OK &gt; Close</p>	

№	Действие	Результат
3	<p><i>Таблица реальных констант:</i></p> <p>Сечение площадью A:  C_P &gt; R, 1, A &gt; <b>Enter</b></p> <p>Сечение площадью 2·A:  C_P &gt; R, 2, 2·A &gt; <b>Enter</b></p> <p>Жёсткость контакта и величина зазора:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Real Constants &gt; Add/Edit/Delete &gt; Add  В окошке Element Type for Real Constants  выбрать CONTA178  &gt; OK &gt;</p> <p>В поле FKN пишем 1e12  В поле GAP пишем -Delta  &gt; OK</p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант:  M_M &gt; Preprocessor &gt; Real Constants &gt; Add/Edit/Delete &gt; Close</p>	
4	<p><i>Таблица материалов:</i></p> <p>Материал №1:</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</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	

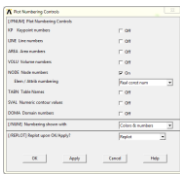
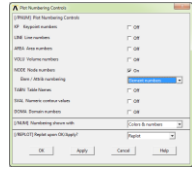
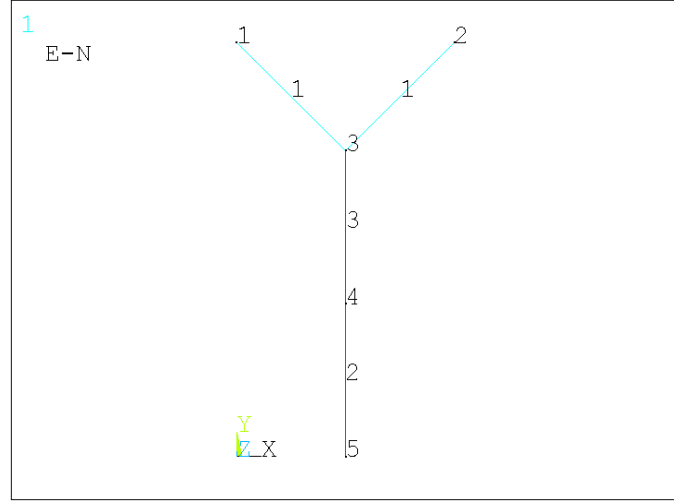

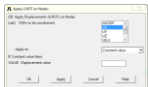
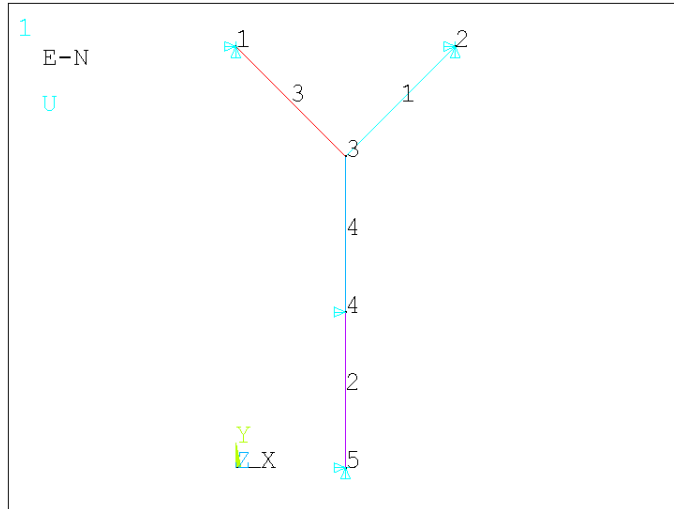
№	Действие	Результат
5	<p><i>Координаты точек конструкции:</i></p> <p>Определяемся с координатами точек (узлов фермы).</p> <p>В задаче <a href="#">В-12</a> использовалась цилиндрическая система координат. И здесь её тоже можно использовать с началом в точке В', но для разнообразия используем систему координат декартову.</p>	 <p> <math>D(0, l \cdot \{1 + \cos \alpha\} + \Delta, 0)</math>  <math>S(2 \cdot l \cdot \sin \alpha, l \cdot \{1 + \cos \alpha\} + \Delta, 0)</math>  <math>B'(l \cdot \sin \alpha, l + \Delta, 0)</math>  <math>B''(l \cdot \sin \alpha, l, 0)</math>  <math>C(l \cdot \sin \alpha, 0, 0)</math> </p>
<b>Конечноэлементная модель</b>		
6	<p><i>Тригонометрические функции будут работать с градусами:</i></p> <p>Utility Menu &gt; Parameters &gt; Angular Units</p> <p>[*AFUN] установить "Degrees DEG" "2"</p> <p>&gt; OK</p>	

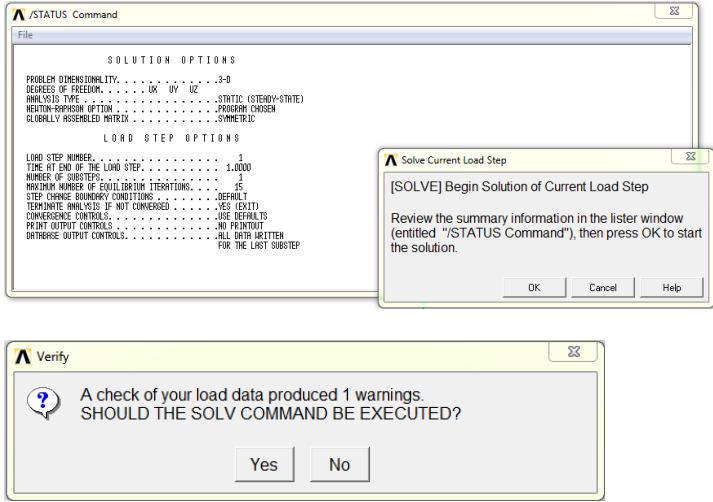
№	Действие	Результат
7	<p>Узлы 1, 2, 3, 4 и 5 в точках D, S, B', B'' и C соответственно:</p> <pre> M_M&gt; Preprocessor&gt; Modeling&gt; Create&gt; Nodes&gt; In Active CS &gt; NODE пишем 1 X,Y,Z пишем 0,l*(1+cos(Alpha))+Delta,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 2 X,Y,Z пишем 2*l*sin(Alpha),l*(1+cos(Alpha))+Delta,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 3 X,Y,Z пишем l*sin(Alpha),l+Delta,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 4 X,Y,Z пишем l*sin(Alpha),l,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 5 X,Y,Z пишем l*sin(Alpha),0,0 &gt; OK  Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots  Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit . </pre>	

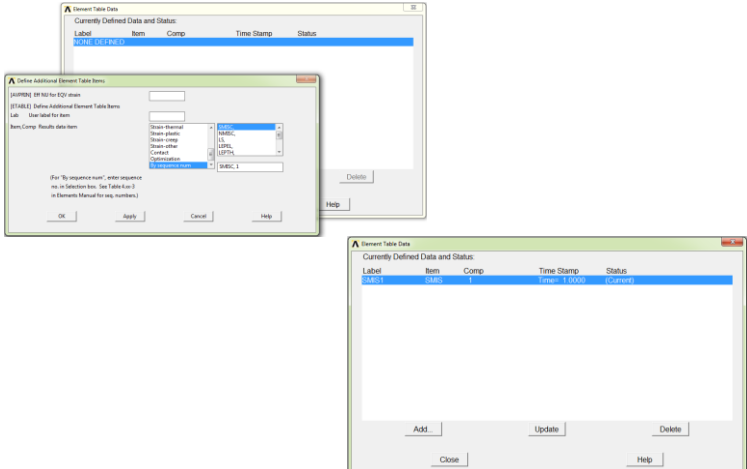
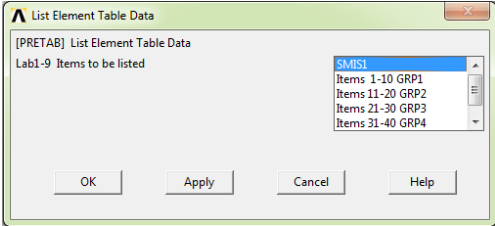
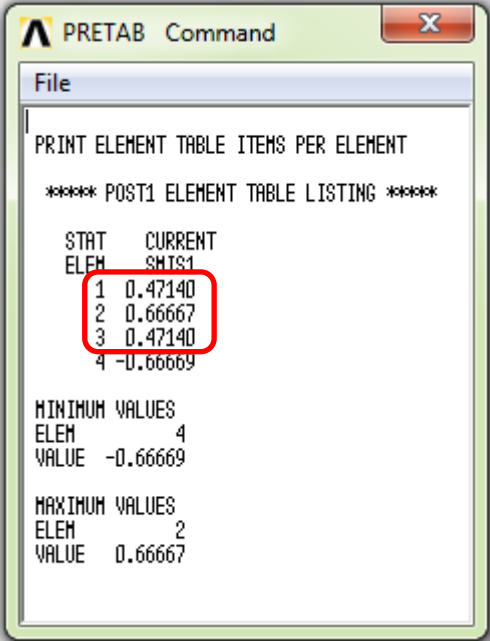
№	Действие	Результат
8	<p><i>Балочные конечные элементы последовательно протягиваем по участкам фермы:</i></p> <pre> M_M&gt; Preprocessor&gt; Modeling&gt; Create&gt; Elements&gt; Elem Attributes [TYPE]установить "1 LINK1" [MAT ]установить "1" [REAL]установить "1" &gt; ОК  M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt; &gt; Auto Numbered &gt; Thru Nodes Левой кнопкой мыши последовательно кликаем узлы 2 и 3 &gt; ОК  M_M&gt; Preprocessor&gt; Modeling&gt; Create&gt; Elements&gt; Elem Attributes [REAL]установить "2" &gt; ОК  M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt; &gt; Auto Numbered &gt; Thru Nodes Левой кнопкой мыши последовательно кликаем узлы 4 и 5 &gt; ОК  M_M&gt; Preprocessor&gt; Modeling&gt; Create&gt; Elements&gt; Elem Attributes [REAL]установить "1" &gt; ОК  M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt; &gt; Auto Numbered &gt; Thru Nodes Левой кнопкой мыши последовательно кликаем узлы 1 и 3 &gt; ОК  Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots </pre>	

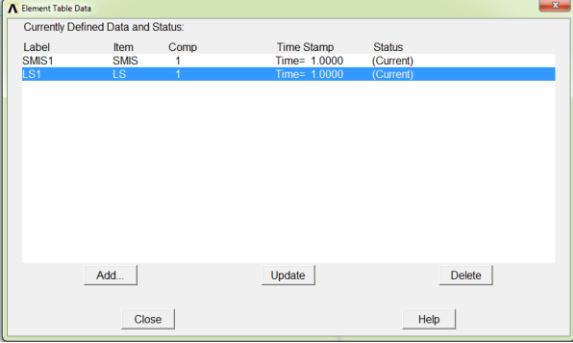
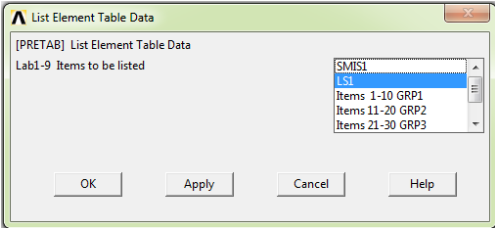
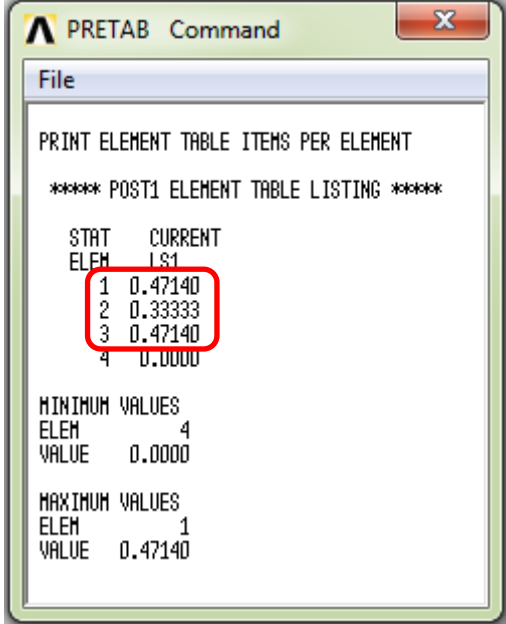
№	Действие	Результат
9	<p><i>Контактный конечный элемент в зазоре (протягиваем по направлению оси Y):</i></p> <p>Свойства элемента:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt;            &gt; ElemAttributes &gt;            [TYPE]установить "2 CONTA178"            [MAT ]установить "1"            [REAL]установить "3"            &gt; ОК</p>  <p>Протягиваем контактный элемент между узлами 3 и 4 (против направления оси Y):</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Elements &gt;            &gt; Auto Numbered &gt; Thru Nodes            Левой кнопкой мыши последовательно кликаем на узлы            3 и 4            &gt; ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

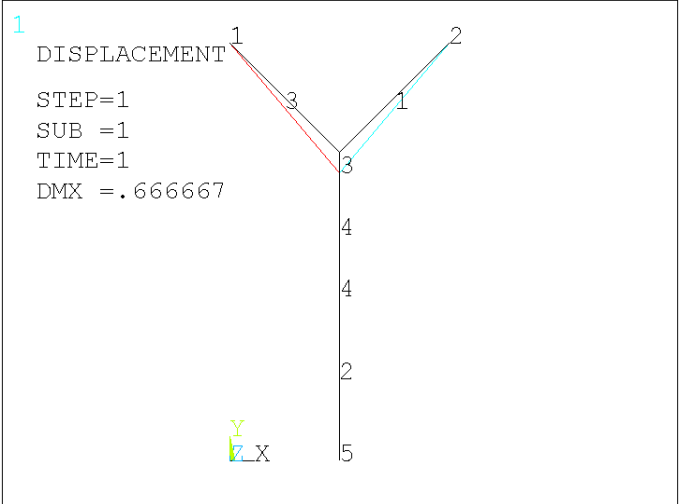
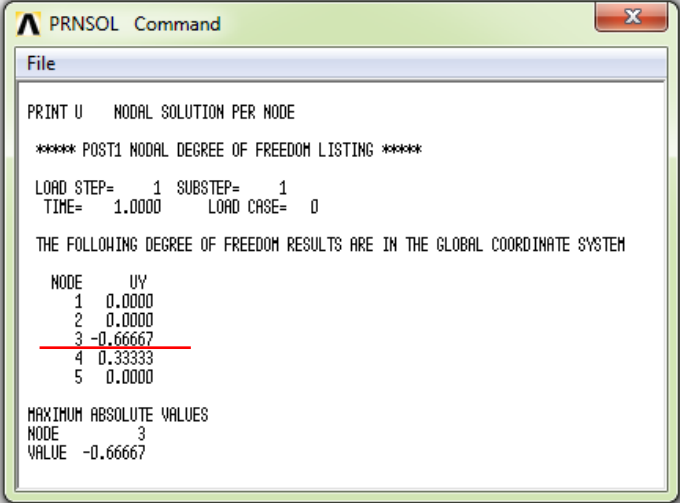


№	Действие	Результат
10	<p><i>Проверяем правильность задания материалов стержней – нумеруем элементы не по порядковому номеру, а по номеру набора реальных констант:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Numbering &gt; Установить Elem на "Real const num"; &gt; ОК</p>  <p><i>Возвращаемся к порядковой нумерации элементов:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Numbering &gt; Установить Elem на "Element numbers"; &gt; ОК</p> 	
11	<p><i>Закрепления:</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, 2 и 5 узлы &gt; ОК &gt; Lab2 установить "All DOF" &gt; Apply &gt;левой кнопкой мыши нажать на узел 4 &gt; Lab2 установить "UX" &gt; ОК</p>   <p><i>Прорисовываем всё, что есть:</i></p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

№	Действие	Результат
Расчёт		
12	<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.</p> <p>Белое закрываем, на сером нажимаем ОК.</p> <p>В предупреждающем окне нажимаем “Yes”.</p> <p>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>		
13	<p><i>Расчёт внутренних осевых растягивающих сил в фермовых элементах:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Add &gt; "By sequence num", "SMISC," , "1"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>&gt; Close</p>	
14	<p><i>Распечатка значений внутренних осевых растягивающих сил <math>N_i</math> в конечных элементах:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Elem Table Data &gt; Отметить мышью строчку SMIS1</p> <p>&gt; OK</p>  <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1</i>. (числа, выделенные голубым цветом).</p>	 <pre> PRETAB Command File PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT ***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING ***** STAT   CURRENT ELEM   SMIS1 1      0.47140 2      0.66667 3      0.47140 4      -0.66669  MINIMUM VALUES ELEM      4 VALUE    -0.66669  MAXIMUM VALUES ELEM      2 VALUE     0.66667 </pre>

№	Действие	Результат
15	<p><i>Расчёт осевых напряжений в фермовых элементах:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Add &gt; "By sequence num", "LS,", "1" &gt; OK &gt; &gt; Close</p>	
16	<p><i>Распечатка значений осевых напряжений <math>\sigma_i</math> в конечных элементах:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Elem Table Data &gt; Отметить мышью строчку LS1 &gt; OK</p>  <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1.</i> (числа, выделенные голубым цветом). Максимальное по модулю напряжение среди них:</p> $\sigma_{max} = 0,4714 \cdot \frac{E \cdot \Delta}{l} .$ <p>При наличии <math>\sigma_{max}</math> допустимый зазор <math>[\Delta]</math> вычисляется далее по аналитической формуле (<i>рис. 1.</i>).</p>	

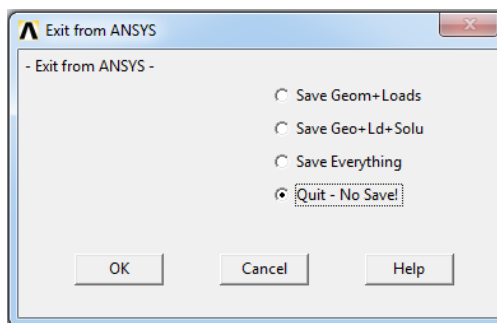
№	Действие	Результат
17	<p><i>Деформированная форма конструкции :</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; &gt; Deformed Shape &gt; KUND установить Def + undeformed &gt; ОК</p> <p>Чёным цветом начерчена недеформированная форма фермы, цветными линиями – ферма после нагружения. По форме видно, что симметричная конструкция и деформируется симметрично.</p>	
18	<p><i>Вертикальное перемещение точки В' конструкции (узла №3 конечноэлементной модели) :</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt; &gt; Nodal Solution &gt; Y-Component of displaceme &gt; ОК</p> <p>Вертикальное перемещение узла №3</p> <p><math>UY = 0,6667 \cdot \Delta</math> (отрицательное, то есть, вниз)</p> <p>в точности совпадает с результатом аналитического расчёта (рис. 1.).</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         0.0000   3        -0.66667   4         0.33333   5         0.0000  MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE      3 VALUE    -0.66667 </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.