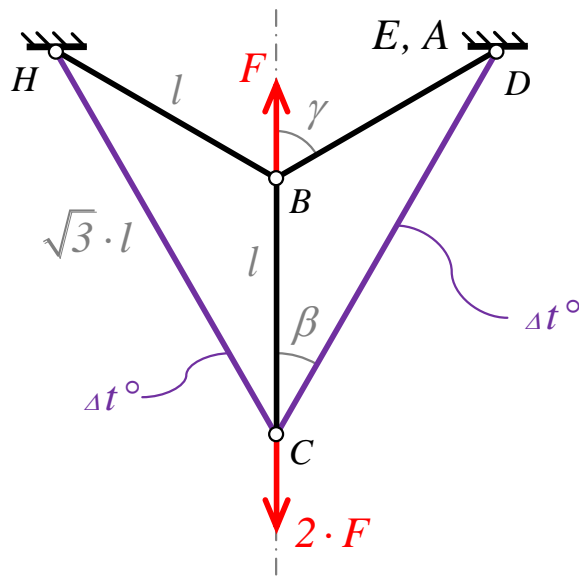


B-12 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано:

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

$$A = 80 \text{ мм}^2;$$

$$F = 30 \text{ кН};$$

$$l = 1 \text{ м};$$

$$\alpha = 11 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{°C}};$$

$$\Delta t = 250 \text{ °C};$$

$$\beta = 30^\circ;$$

$$\gamma = 60^\circ.$$

Найти: N_i .

Аналитический расчёт (см. [B-12](#)) даёт следующие решения:

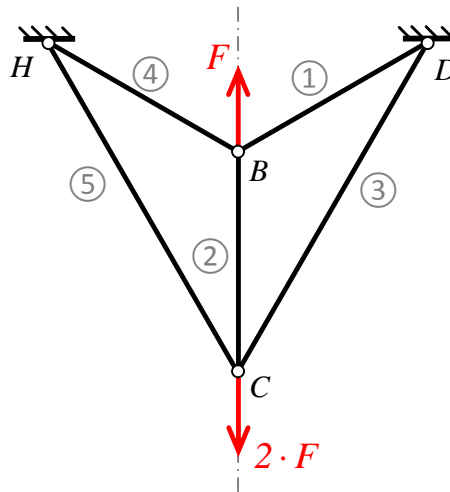


Рис. 1.

$$N_1 = N_4 = \frac{l}{2 + 3 \cdot \sqrt{3}} \cdot \left[(2 - \sqrt{3}) \cdot F + 2 \cdot \sqrt{3} \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot E \cdot A \right] = 22298 \text{ Н} \approx 22,3 \text{ кН}$$

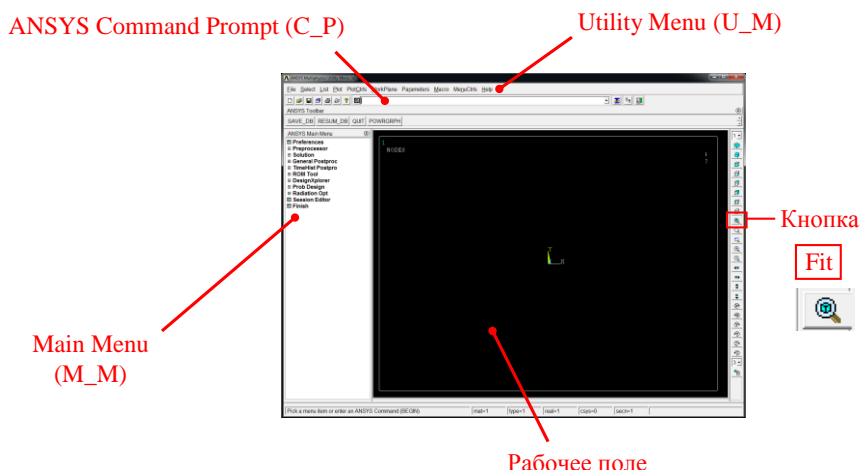
$$N_2 = \frac{2}{2 + 3 \cdot \sqrt{3}} \cdot \left[(2 - \sqrt{3}) \cdot F + \sqrt{3} \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot E \cdot A \right] = 52298 \text{ Н} \approx 52,3 \text{ кН}$$

$$N_3 = N_5 = \frac{2}{2 + 3 \cdot \sqrt{3}} \cdot \left[2 \cdot F - \alpha \cdot \Delta t \cdot E \cdot A \right] = 4446,8 \text{ Н} \approx 4,447 \text{ кН}$$

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" > ОК
```

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

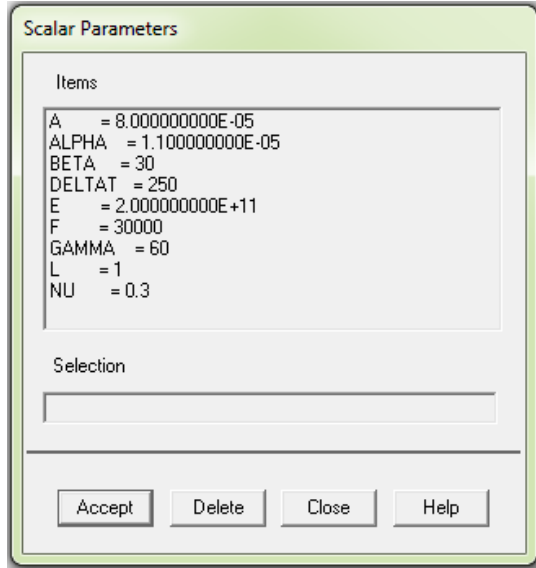
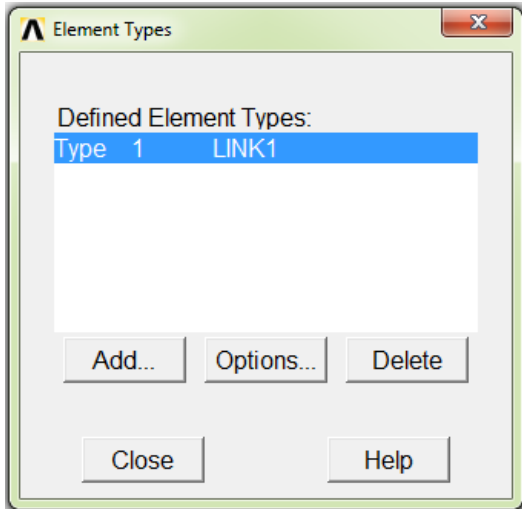
```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить NODE ;
Установить Elem на "Element numbers";
Установить [/NUM] на "Colors&numbers"
> ОК
```

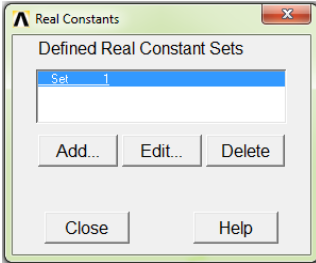
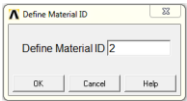
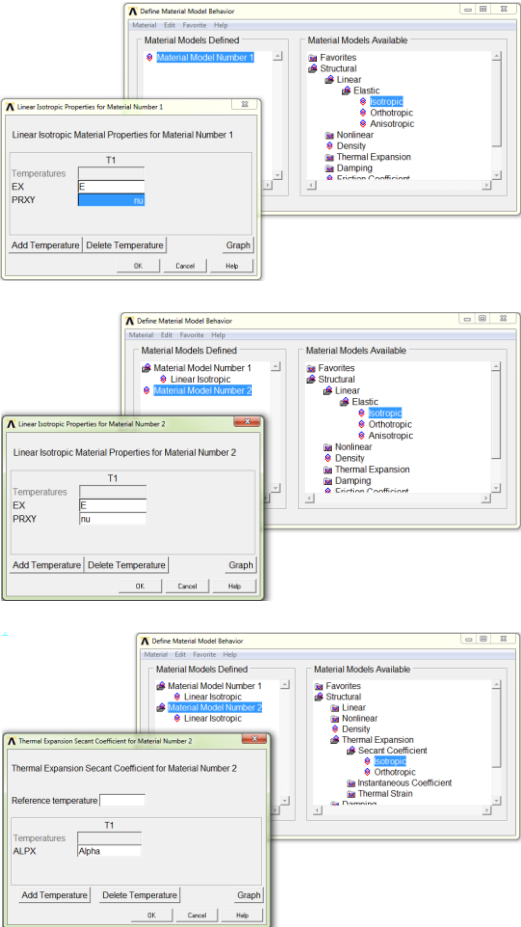
Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

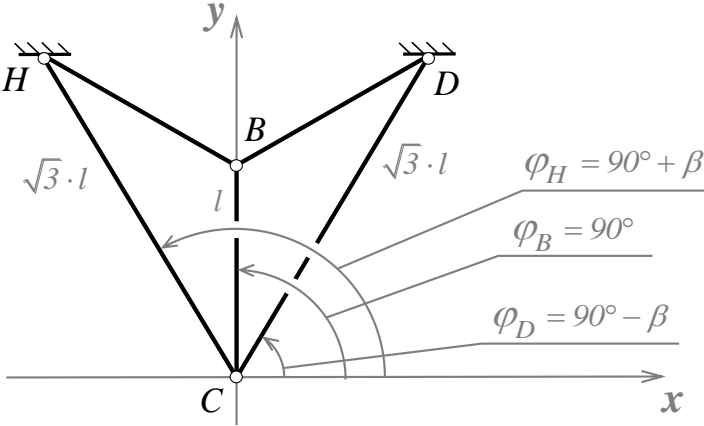
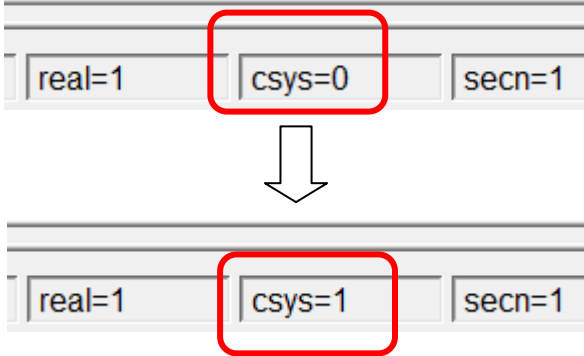
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >
Установить «Размер» на «22» > ОК
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
Установить «Размер» на «22» > ОК
```


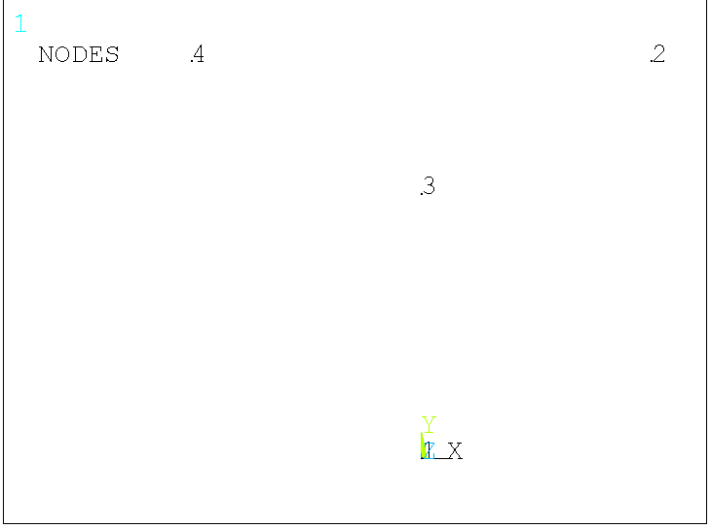
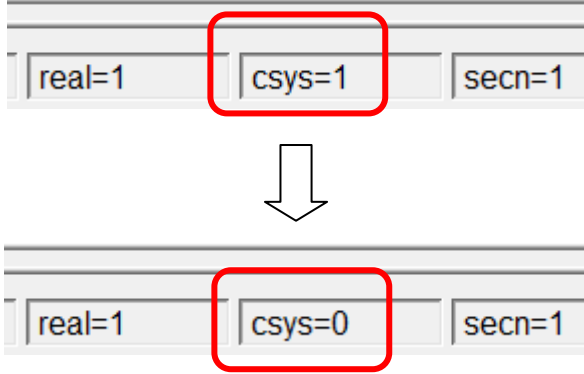
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

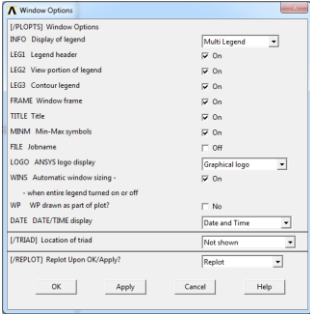
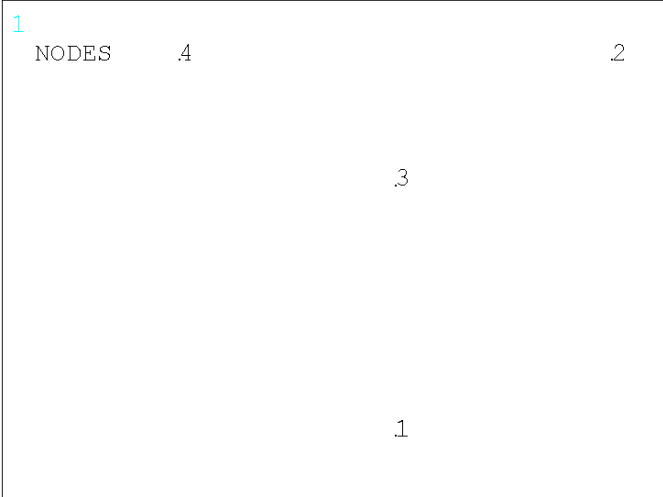
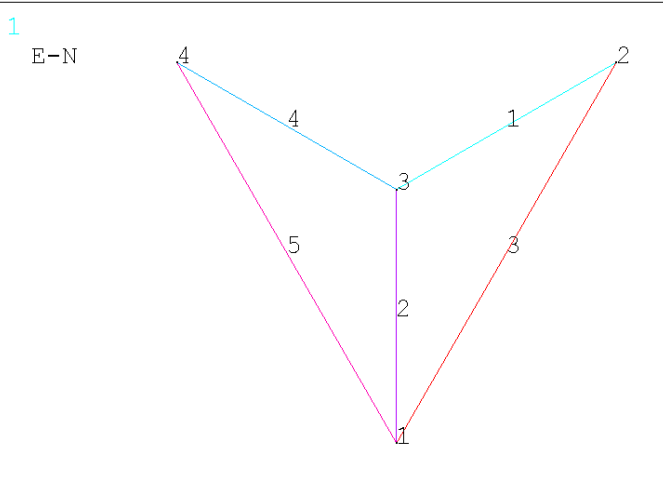
Решение задачи:

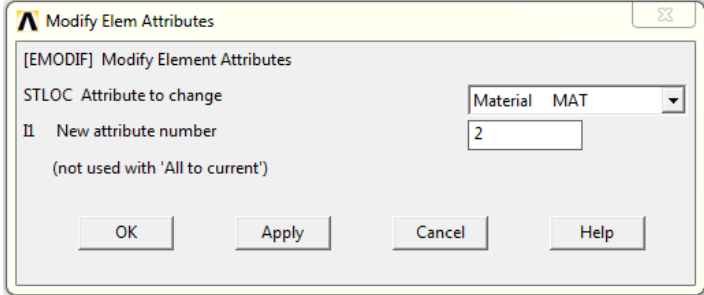
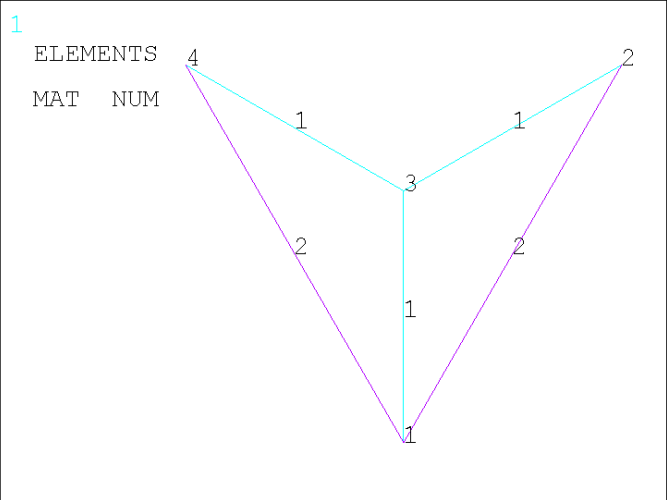
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <pre> U_M > Parameters > Scalar Parameters > E=2e11 > Accept > A=80e-6 > Accept > F=30e3 > Accept > l=1 > Accept > Alpha=11e-6 > Accept > DeltaT=250 > Accept > Beta=30 > Accept > Gamma=60 > Accept > nu=0.3 > Accept > > Close nu – коэффициент Пуассона для металлов.</pre>	
2	<p><i>Первая строчка в таблице конечных элементов – плоский фермовый LINK1:</i></p> <pre> M_M > Preprocessor C_P > ET,1,LINK1 > Enter</pre> <p>Посмотрим таблицу конечных элементов:</p> <pre> M_M > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Close</pre>	

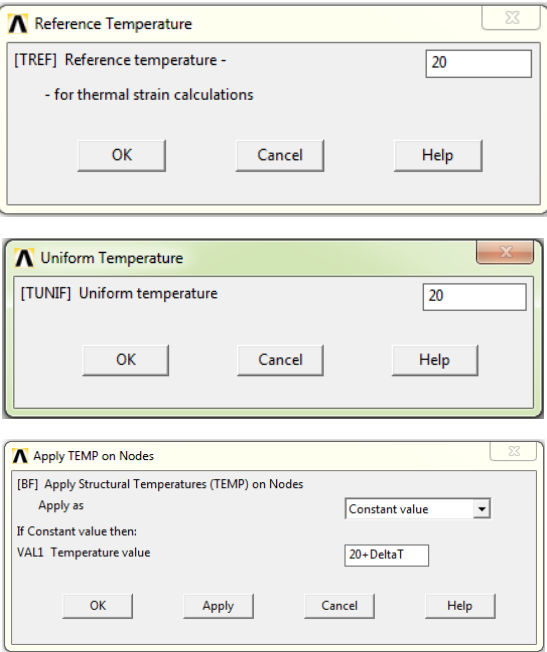
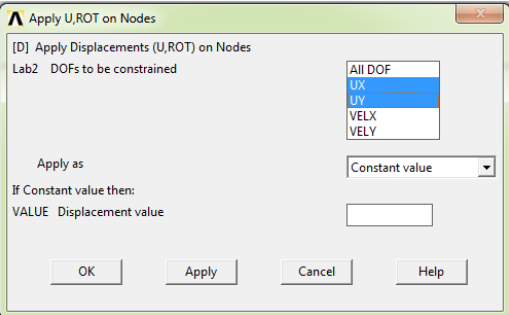
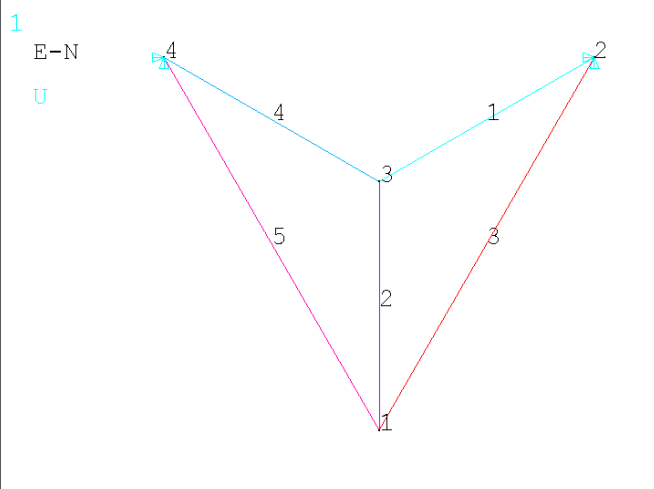
№	Действие	Результат
3	<p>Таблица реальных констант:</p> <p>Сечение площадью A:</p> <p>C_P > R, 1, A > Enter</p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант:</p> <p>M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Close</p>	
4	<p>Таблица материалов:</p> <p>Материал №1, не расширяющийся при нагреве:</p> <p>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic > EX пишем E PRXY пишем nu > OK</p> <p>Материал №2, расширяющийся при нагреве:</p> <p>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > > Material > New Model...</p>  <p>Define Material ID пишем 2 > OK ></p> <p>Structural > Linear > Elastic > Isotropic > EX пишем E PRXY пишем nu > OK ></p> <p>> Structural > Thermal Expansion > Secant Coefficient > Isotropic > ALPX пишем Alpha > OK</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	

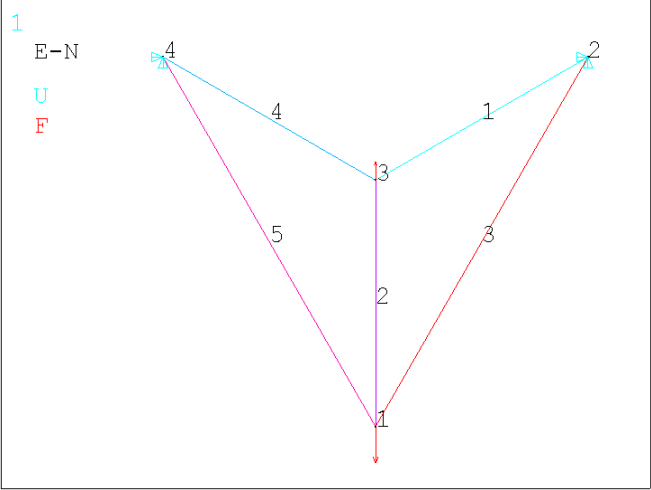
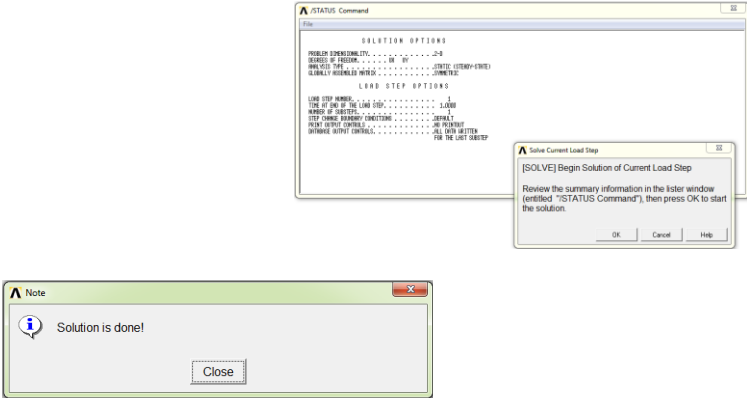
№	Действие	Результат
5	<p><i>Координаты точек конструкции:</i></p> <p>Определяемся с координатами точек (узлов фермы). Можно задать их в декартовой системе координат, но в данном случае все точки лежат на прямых, выходящих из <i>C</i>. Проще всего использовать цилиндрическую систему координат с началом в этой точке. Тогда координаты узлов в формате (<i>R</i>, φ, <i>z</i>) будут следующими:</p> <p><i>C</i> (0,0,0) ; <i>D</i> ($\sqrt{3} \cdot l$, $90 - \beta$, 0) ; <i>B</i> (<i>l</i> , 90 , 0) ; <i>H</i> ($\sqrt{3} \cdot l$, $90 + \beta$, 0) .</p>	
<p>Конечноэлементная модель</p>		
6	<p><i>Активируем глобальную цилиндрическую систему координат:</i></p> <p>U_M > WorkPlane > Change Active CS to > Global Cylindrical</p>	

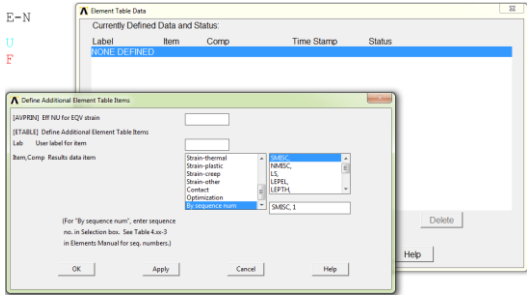
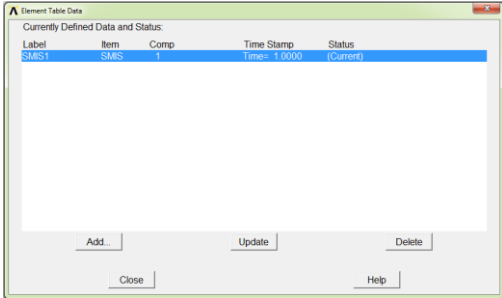
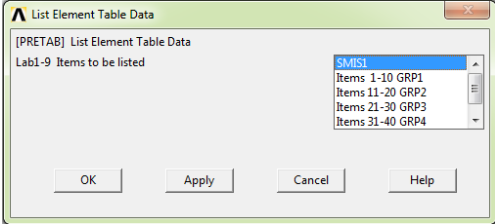
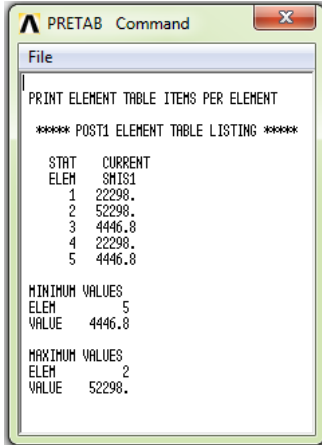
№	Действие	Результат
7	<p>Узлы 1, 2, 3 и 4 в точках C, D, B и H' соответственно:</p> <pre>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Nodes> In Active CS > NODE пишем 1 X,Y,Z пишем 0,0,0 > Apply > NODE пишем 2 X,Y,Z пишем sqrt(3)*l,90-Beta,0 > Apply > NODE пишем 3 X,Y,Z пишем l,90,0 > Apply > NODE пишем 4 X,Y,Z пишем sqrt(3)*l,90+Beta,0 > OK</pre> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p>	
8	<p>Активируем глобальную декартову систему координат:</p> <pre>U_M > WorkPlane > Change Active CS to > Global Cartesian</pre>	

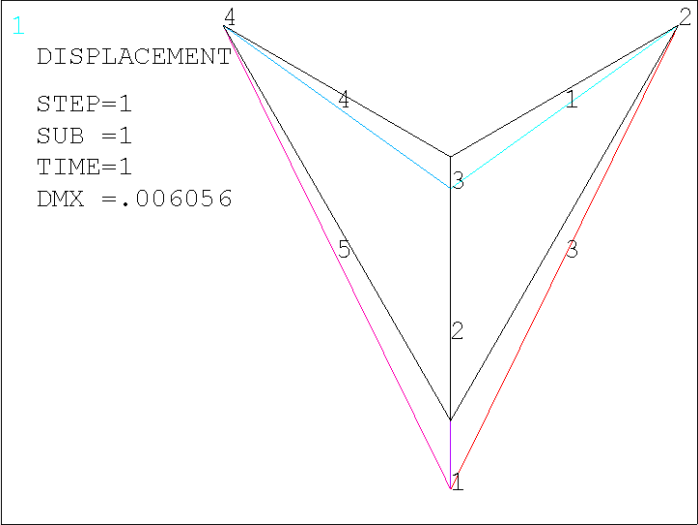
№	Действие	Результат
9	<p>Скрываем оси системы координат:</p> <pre>U_M > PlotCtrls > Window Controls > Window Options > [/Triad] установить "Not Shown" > OK</pre> 	
10	<p>Конечные элементы последовательно протягиваем по участкам фермы от 1^{го} до 5^{го}; все они из материала №1:</p> <pre>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Elements> Elem Attributes [TYPE]установить "1 LINK1" [MAT]установить "1" [REAL]установить "1" > OK</pre> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > > Auto Numbered > Thru Nodes</p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно кликаем узлы 2 и 3 > Apply > 3 и 1 > Apply > 2 и 1 > Apply > 4 и 3 > Apply > 4 и 1 > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

№	Действие	Результат
11	<p><i>Нагретым стержням меняем материал на №2 (подверженный температурному расширению):</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Move/Modify > Elements > Modify Attrib ></p> <p>Левой кнопкой мыши кликнуть на элементы 5 и 3</p> <p>> OK ></p> <p>STLOC установить "Material MAT"</p> <p>И1 пишем 2</p> <p>> OK</p>	
12	<p><i>Проверяем правильность задания материалов стержней – нумеруем элементы не по порядковому номеру, а по номеру материала:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Numbering ></p> <p>Установить Elem на "Material numbers";</p> <p>> OK</p> <p><i>Возвращаемся к порядковой нумерации элементов:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Numbering ></p> <p>Установить Elem на "Element numbers";</p> <p>> OK</p>	

№	Действие	Результат
13	<p><i>Температуру (а не нагрев!) прикладываем к узлам:</i></p> <p>20° = температура, при которой собиралась конструкция: M_M> Preprocessor> Loads> Define Loads> Settings> > Uniform Temp> [TUINF] пишем 20 > OK</p> <p>20° = температура, от которой отсчитывается начало температурных деформаций: M_M> Preprocessor> Loads> Define Loads> Settings> > Reference Temp> [TREF] пишем 20 > OK</p> <p>$20^{\circ} + \Delta t^{\circ}$ = температура узлов фермы в финале нагружения: M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > > Structural > Temperature > On Nodes > Pick All > [BF] устанавливаем "Constant value" VAL1 пишем 20+DeltaT > OK</p>	
14	<p><i>Заделки:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > > Structural > Displacement > On Nodes > Левой кнопкой мыши нажать на 2 и 4 узлы > OK > Lab2 установить "UX" и "UY" > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> 	

№	Действие	Результат
15	<p><i>Внешние силы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > > Structural > Force/Moment > On nodes > Левой кнопкой мыши нажимаем на узел 3 > OK > Lab устанавливаем "FY" VALUE пишем F > Apply > Левой кнопкой мыши нажимаем на узел 1 > OK > Lab устанавливаем "FY" VALUE пишем -2*F > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
Расчёт		
16	<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. Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p> <p>Расчёт окончен.</p>	

№	Действие	Результат
Просмотр результатов		
17	<p><i>Расчёт внутренних осевых растягивающих сил в фермовых элементах:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "1" > OK > > Close</p>	 
18	<p><i>Распечатка значений внутренних осевых растягивающих сил N_i в конечных элементах:</i></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. 1.</p>	 <pre> PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT **** POST1 ELEMENT TABLE LISTING **** STRT CURRENT ELEM SMIS1 1 22298. 2 52298. 3 4446.8 4 22298. 5 4446.8 MINIMUM VALUES ELEM 5 VALUE 4446.8 MAXIMUM VALUES ELEM 2 VALUE 52298. </pre>

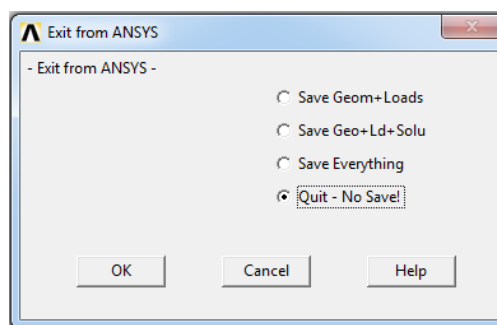
№	Действие	Результат
19	<p><i>Деформированная форма конструкции:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > > Deformed Shape > KUND установить Def + undeformed > OK</p> <p>U_M > PlotCtrls > Style > Displacement Scaling > DMULT устанавливаем "User specified" User specified factor увеличиваем в три раза с 14.3 до 43. > OK</p> <p>Чёрным цветом начерчена недеформированная форма фермы, цветными линиями – ферма после нагружения (масштаб перемещений 43:1). В левом верхнем углу можно прочесть величину максимального перемещения узлов в конструкции: 6,056 мм. Очевидно это вертикальное перемещение узла №1.</p> <p>По форме видно, что симметричная конструкция и деформируется симметрично.</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.