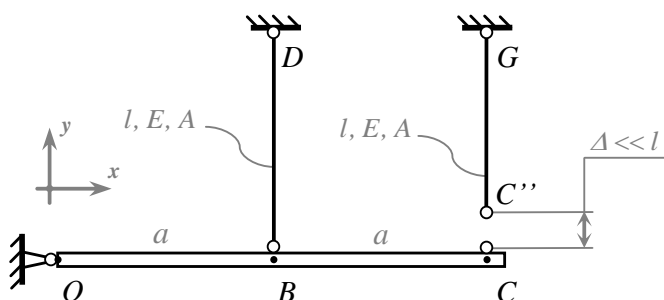


B-17 (ANSYS)

Формулировка задачи:

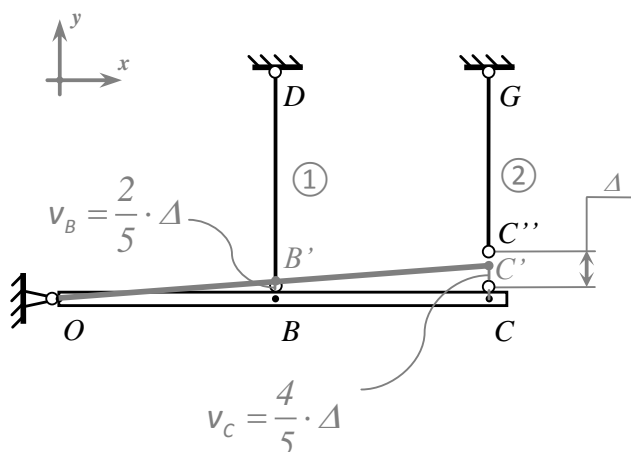
Дано: При сборке фермы с жёстким брусом обнаружен монтажный зазор. Зазор принудительно стягивают, за счёт чего в стержнях фермы изначально возникают напряжения.



E – модуль упругости материала;
 A – площадь поперечного сечения.
 l – длина пролёта;
 σ_T – предел текучести материала;
 Δ – стягиваемый монтажный зазор.

Найти: $v_O, v_B, v_C, N_i, \sigma_i, [\Delta]$.

Аналитический расчёт (см. [B-17](#)) даёт следующие решения: при ликвидации зазора точки C и C'' стягиваются в единую



$$v_O = 0 ;$$

$$v_B = \frac{2}{5} \cdot \Delta = 0,4 \cdot \Delta ;$$

$$v_C = \frac{4}{5} \cdot \Delta = 0,8 \cdot \Delta ;$$

Рис. 1.

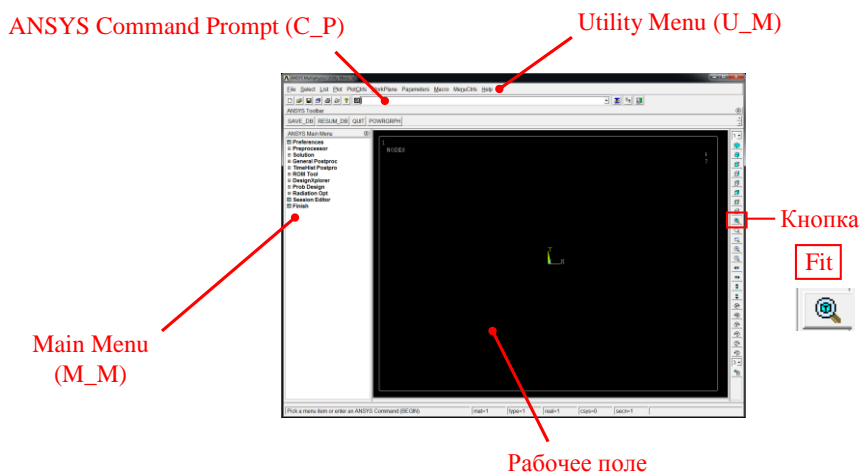
$$N_1 = -\frac{2}{5} \cdot \frac{E \cdot A}{l} \cdot \Delta = -0,4 \cdot \frac{E \cdot A}{l} \cdot \Delta ; \quad \sigma_1 = -\frac{2}{5} \cdot \frac{E}{l} \cdot \Delta = -0,4 \cdot \frac{E}{l} \cdot \Delta ;$$

$$N_2 = \frac{1}{5} \cdot \frac{E \cdot A}{l} \cdot \Delta = 0,2 \cdot \frac{E \cdot A}{l} \cdot \Delta ; \quad \sigma_2 = \frac{1}{5} \cdot \frac{E}{l} \cdot \Delta = 0,2 \cdot \frac{E}{l} \cdot \Delta .$$

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
```

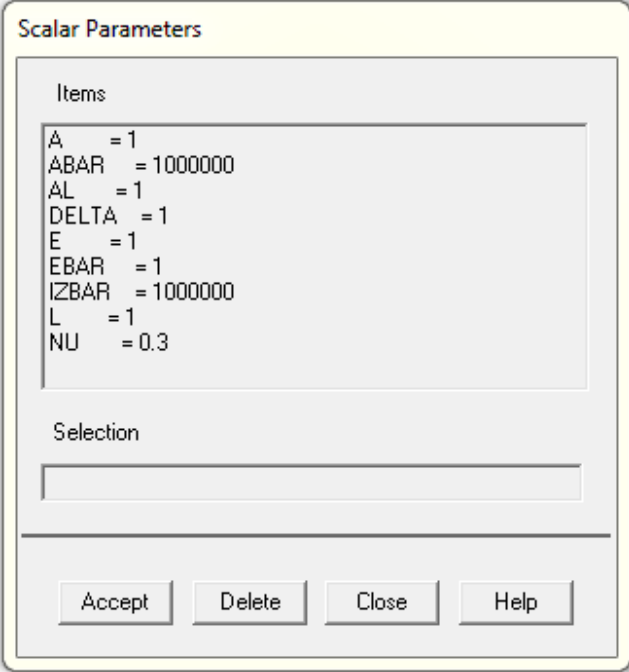
Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

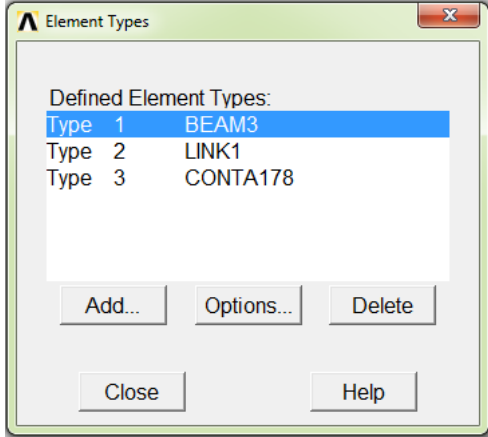
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >
Установить «Размер» на «22» > OK
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
Установить «Размер» на «22» > OK
```

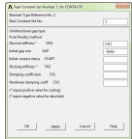
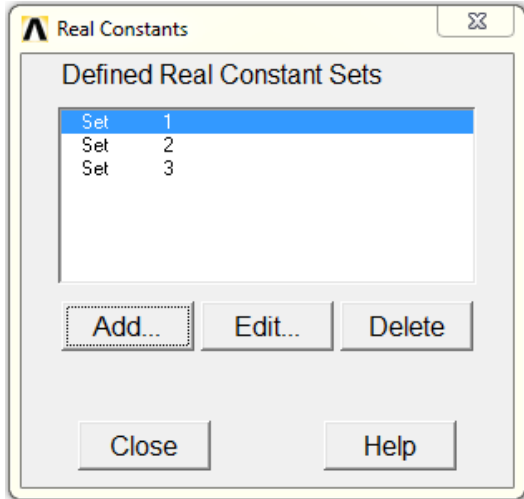
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

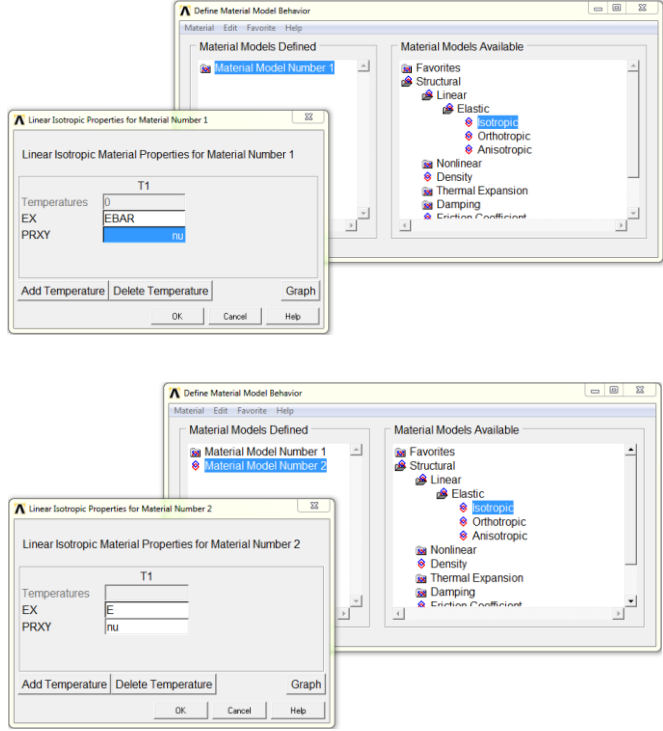
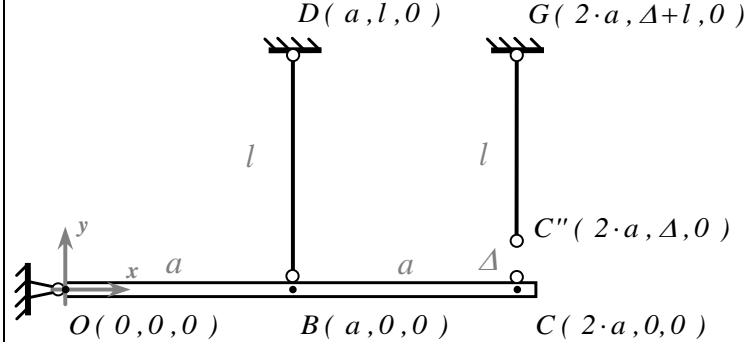
Решение задачи:



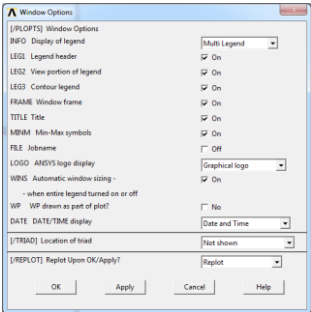

Приравняв E , A , Δ и l , к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

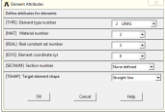
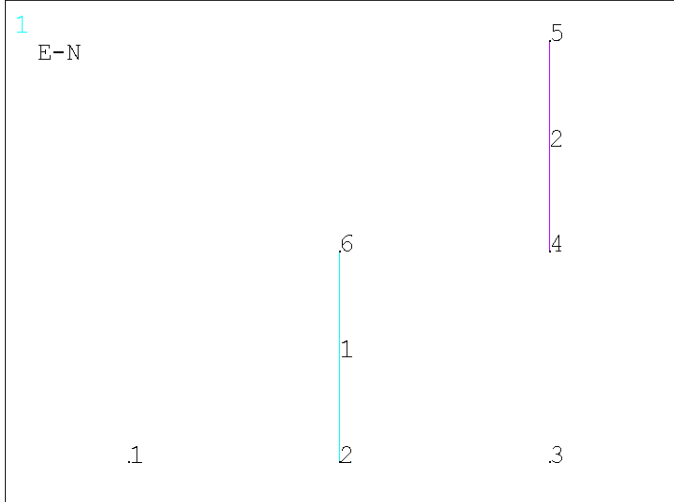
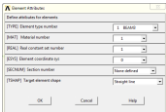
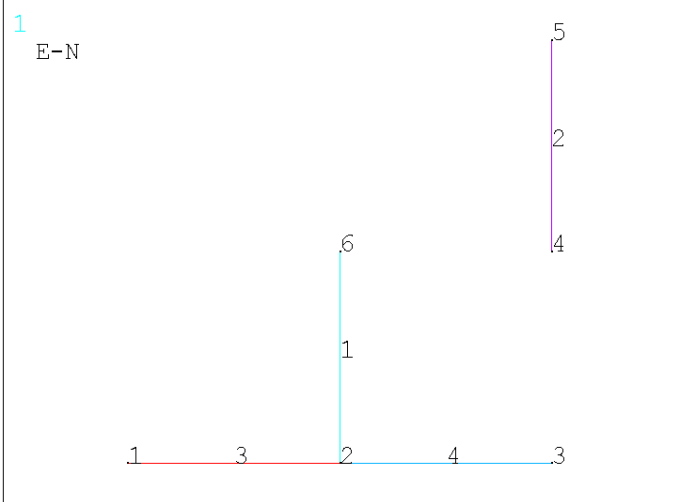
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters > E=1 > Accept > A=1 > Accept > l=1 > Accept > al=l > Accept > EBAR=E > Accept > ABAR=1e6 > Accept > IzBAR=1e6 > Accept > Delta=1 > Accept > nu=0.3 > Accept > > Close</p> <p>EBAR, ABAR, IzBAR и AL – модуль упругости материала, площадь поперечного сечения, изгибный момент инерции и длина пролёта жёсткого бруса; nu – коэффициент Пуассона для металлов.</p>	

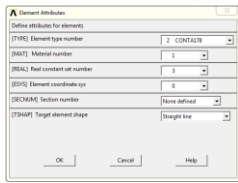
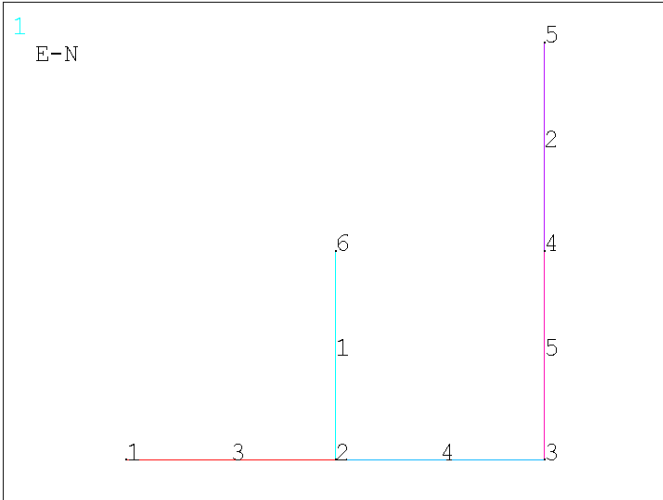
№	Действие	Результат
2	<p>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский балочный BEAM3, вторая строка – плоский фермовый LINK1, третья – контактный элемент CONTA178:</p> <p>M_M > Preprocessor</p> <p>C_P > ET,1,BEAM3 > Enter</p> <p>C_P > ET,2,LINK1 > Enter</p> <p>M_M > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Add</p> <p>Element reference number пишем 3</p> <p>В левом окошке выбираем "Contact"</p> <p>В правом окошке "nd-to-nd 178"</p> <p>> OK ></p> <p>В окошке Element types отметить третью строку "3 CONTA178"</p> <p>> Options ></p> <p>K2 установить "Penalty method"</p> <p>K4 установить "Real const GAP"</p> <p>K5 установить "Nodal coord - Y"</p> <p>> OK ></p> <p>> Close</p> <p>Посмотрим таблицу конечных элементов:</p> <p>M_M > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Close</p>	

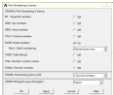
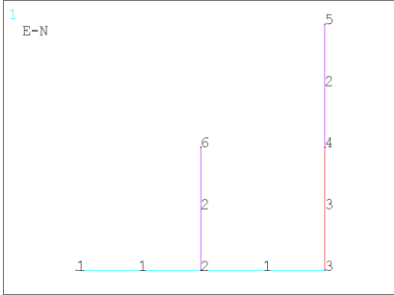

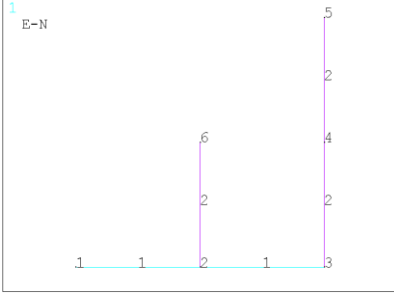
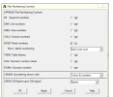
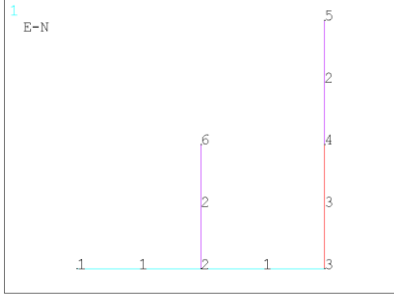
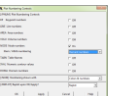
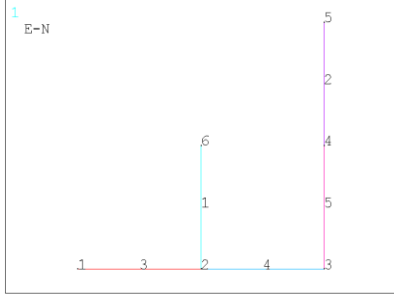
№	Действие	Результат
3	<p><i>Таблица реальных констант:</i></p> <p>Площадь, изгибный момент инерции и высота для поперечного сечения жёсткого бруса: C_P > R, 1, A_{BAR}, I_{ZBAR}, l/20 > Enter</p> <p>Площадь поперечного сечения остальных стержней: C_P > R, 2, A > Enter</p> <p>Жёсткость контакта и величина зазора:</p> <p>M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Add В окошке Element Type for Real Constants выбрать CONTA178 > OK ></p> <p>В поле FKN пишем 1e12 В поле GAP пишем -Delta > OK</p>  <p>Посмотрим таблицу реальных констант: M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Close</p>	

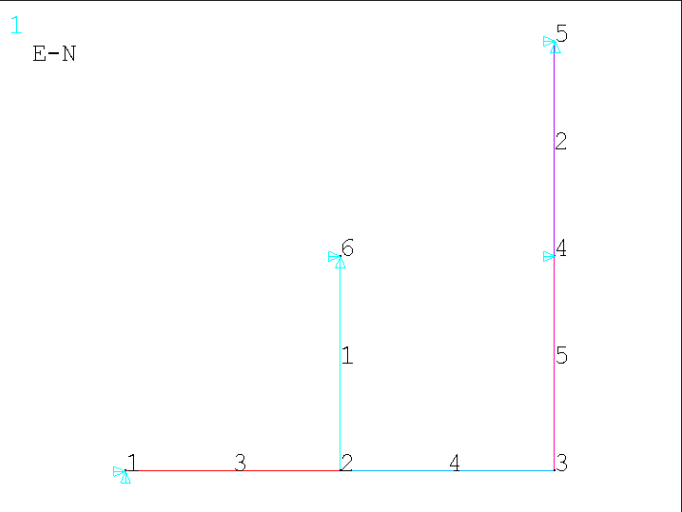
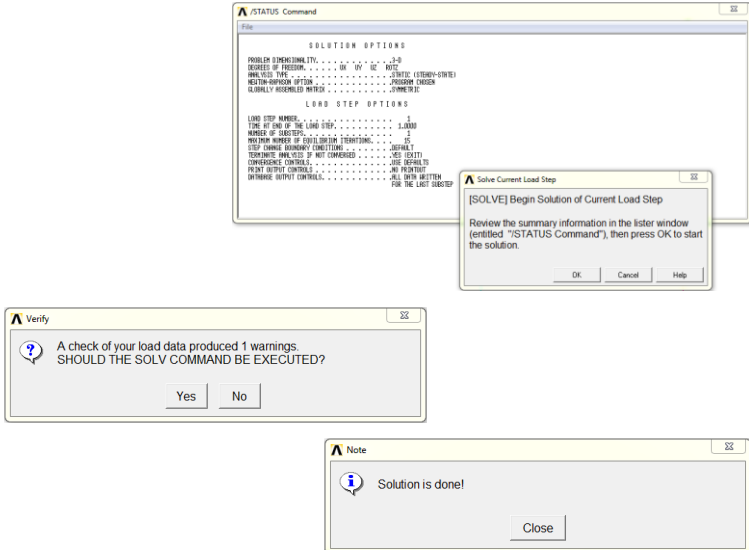
№	Действие	Результат
4	<p>Таблица материалов:</p> <p>Материал жёсткого бруса: M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic > EX пишем EBAR PRXY пишем nu > ОК</p> <p>Материал остальных стержней: В окне «Define Material Model Behavior» сверху: Material > New Model... Define Material ID пишем 2 > ОК > Structural > Linear > Elastic > Isotropic > EX пишем E PRXY пишем nu > ОК</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
5	<p>Координаты точек конструкции: Определяемся с координатами точек (узлов фермы).</p>	

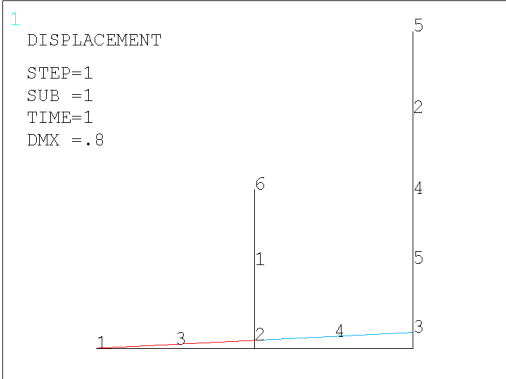
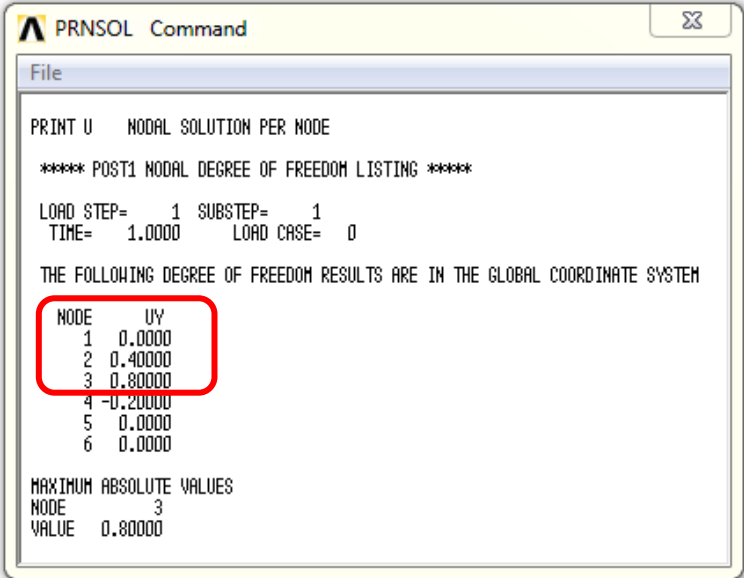
№	Действие	Результат
Конечноэлементная модель		
6	<p><i>Узлы 1, 2, 3, 4, 5 и 6 в точках O, B, C, C', G и D соответственно:</i></p> <pre>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Nodes> In Active CS > NODE пишем 1 X,Y,Z пишем 0,0,0 > Apply > NODE пишем 2 X,Y,Z пишем a1,0,0 > Apply > NODE пишем 3 X,Y,Z пишем 2*a1,0,0 > Apply > NODE пишем 4 X,Y,Z пишем 2*a1,Delta,0 > Apply > NODE пишем 5 X,Y,Z пишем 2*a1,Delta+l,0 > Apply > NODE пишем 6 X,Y,Z пишем a1,l,0 > OK</pre> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p>	
7	<p><i>Скрываем оси системы координат:</i></p> <pre>U_M> PlotCtrls> Window Controls> Window Options> [/Triad] установить "Not Shown" > OK</pre> 	


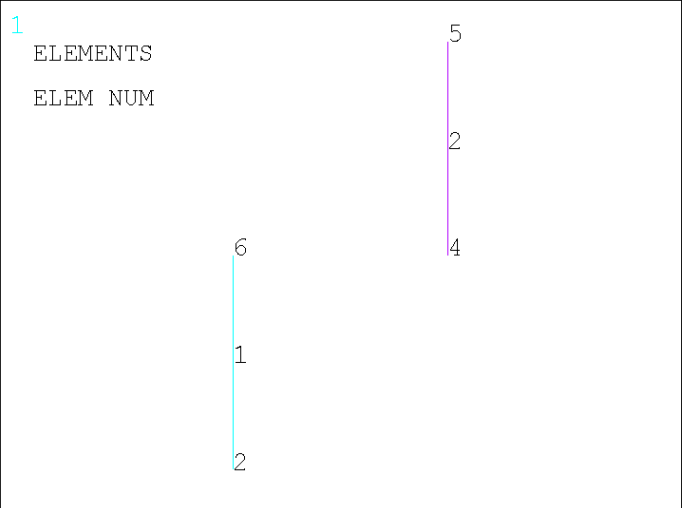
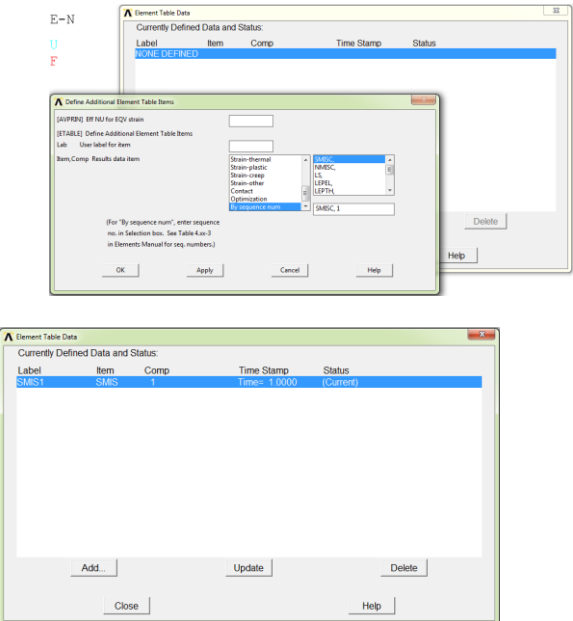
№	Действие	Результат
8	<p><i>Конечные элементы – упругие стержни фермы:</i></p> <pre>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Elements> Elem Attributes [TYPE]установить "2 LINK1" [MAT]установить "2" [REAL]установить "2" > ОК</pre>  <pre>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > > Auto Numbered > Thru Nodes Левой кнопкой мыши последовательно кликаем узлы 6 и 2 > Apply > 5 и 4 > ОК</pre> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
9	<p><i>Конечные элементы – отрезки жёсткого бруса:</i></p> <pre>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Elements> Elem Attributes [TYPE]установить "1 BEAM3" [MAT]установить "1" [REAL]установить "1" > ОК</pre>  <pre>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > > Auto Numbered > Thru Nodes Левой кнопкой мыши последовательно кликаем узлы 1 и 2 > Apply > 2 и 3 > ОК</pre> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

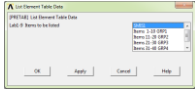
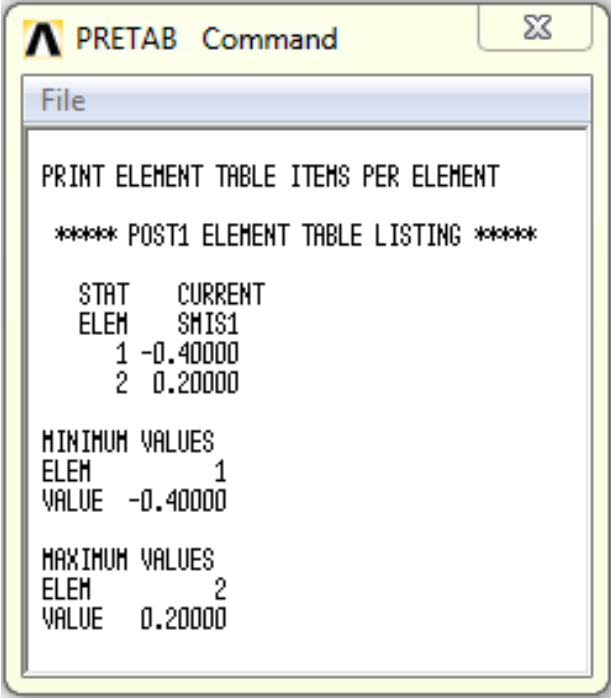
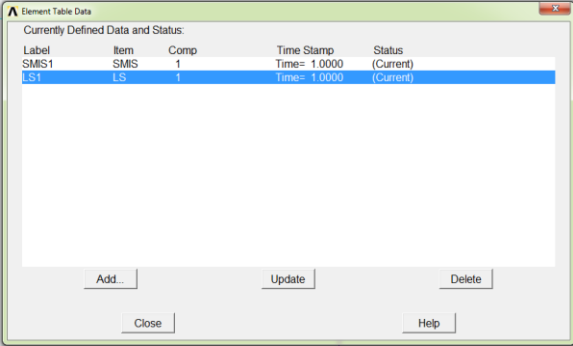
№	Действие	Результат
10	<p><i>Контактный конечный элемент в зазоре (протягиваем по направлению оси Y):</i></p> <p>Свойства элемента:</p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > > ElemAttributes > [TYPE]установить "3 CONTA178" [MAT]установить "2" [REAL]установить "3" > ОК</p>  <p>Протягиваем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

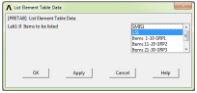
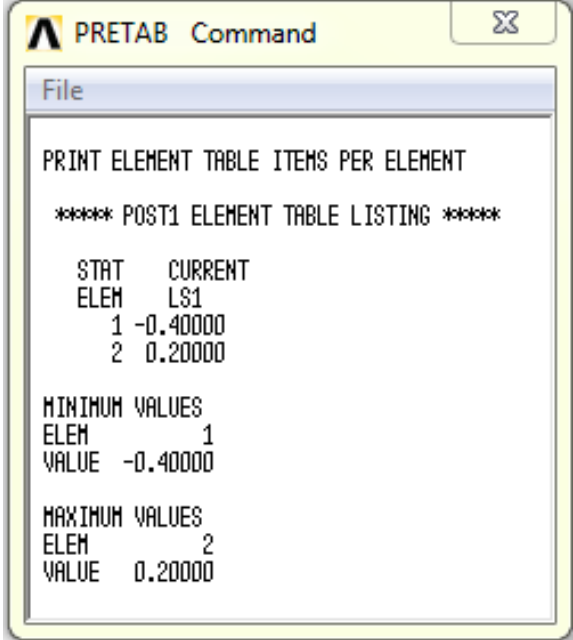
№	Действие	Результат
11	<p><i>Проверяем правильность формирования модели:</i></p> <p>Нумеруем элементы по их типу:</p> <pre>U_M > PlotCtrls > Numbering > Установить Elem на "Element type num"; > ОК</pre> 	
	<p>Нумеруем элементы по номеру их материала:</p> <pre>U_M > PlotCtrls > Numbering > Установить Elem на "Material numbers"; > ОК</pre> 	
	<p>Нумеруем элементы по номеру набора реальных констант:</p> <pre>U_M > PlotCtrls > Numbering > Установить Elem на "Real const num"; > ОК</pre> 	
	<p>Возвращаемся к порядковой нумерации элементов:</p> <pre>U_M > PlotCtrls > Numbering > Установить Elem на "Element numbers"; > ОК</pre> 	

№	Действие	Результат
12	<p><i>Заделки:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > > Structural > Displacement > On Nodes > Левой кнопкой мыши нажать на узлы 1, 6 и 5 > OK > Lab2 установить "UX" и "UY" > Apply > Левой кнопкой мыши нажать на узел 4 > OK > Lab2 установить "UX" > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
Расчёт		
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. В окне "Verify" нажмите "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
Просмотр результатов		
14	<p><i>Деформированная форма конструкции:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > > Deformed Shape ></p> <p>KUND установить Def + undeformed > OK</p> <p>Чёрным цветом начерчена недеформированная форма фермы, цветными линиями – ферма после нагружения (масштаб перемещений выбирается автоматически).</p>	
15	<p><i>Вертикальные перемещения точек жёсткого бруса:</i></p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > > Nodal Solution > Y-Component of displacement > OK</p> <p>Вертикальное перемещение точки O (узла №1)</p> <p>$UY = 0,$</p> <p>вертикальное перемещение точки B (узла №2)</p> <p>$UY = 0,4 \cdot \frac{E \cdot A}{l} \cdot \Delta$ (положительное, то есть вверх),</p> <p>и вертикальное перемещение точки C (узла №3)</p> <p>$UY = 0,8 \cdot \frac{E \cdot A}{l} \cdot \Delta$ (положительное, то есть вверх)</p> <p>совпадают с результатом аналитического расчёта (рис. 1., числа, выделенные синим цветом).</p>	

№	Действие	Результат
16	<p><i>Из всех конечных элементов конструкции выделяем только фермовые:</i></p> <p>Прорисовываем все конечные элементы элементы: U_M > Plot > Elements</p> <p>Выделяем нужные: U_M > Select > Entities > Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick" Селектор на "From Full" > OK</p> <p>Кликаем левой кнопкой мыши на упругие стержни- элементы 1 и 2 > OK</p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> 	
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>	

№	Действие	Результат															
18	<p>Распечатка значений внутренних осевых растягивающих сил N_i в конечных элементах:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Elem Table Data > Отметить мышью строčku SMIS1 > OK</p>  <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1</i> (числа, выделенные синим цветом):</p> $N_1 = -0,4 \cdot \frac{E \cdot A}{l} \cdot \Delta ;$ $N_2 = 0,2 \cdot \frac{E \cdot A}{l} \cdot \Delta .$	 <pre> PRETAB Command File PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT ***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING ***** STAT CURRENT ELEM SMIS1 1 -0.40000 2 0.20000 MINIMUM VALUES ELEM 1 VALUE -0.40000 MAXIMUM VALUES ELEM 2 VALUE 0.20000 </pre>															
19	<p>Расчёт осевых напряжений в фермовых элементах:</p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "LS,", "1" > OK > > Close</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Label</th> <th>Item</th> <th>Comp</th> <th>Time Stamp</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SMIS1</td> <td>SMIS</td> <td>1</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> <tr> <td>LS1</td> <td>LS</td> <td>1</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> </tbody> </table>	Label	Item	Comp	Time Stamp	Status	SMIS1	SMIS	1	Time= 1.0000	(Current)	LS1	LS	1	Time= 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status													
SMIS1	SMIS	1	Time= 1.0000	(Current)													
LS1	LS	1	Time= 1.0000	(Current)													

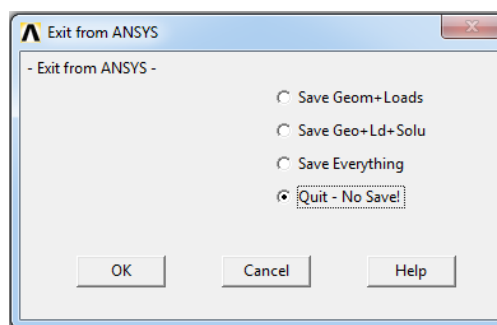
№	Действие	Результат
20	<p>Распечатка значений осевых напряжений σ_i в конечных элементах:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Elem Table Data > Отметить мышью строчку LS1 > OK</p>  <p>С точностью до сотых долей процента получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1</i>:</p> $\sigma_1 = -0,4 \cdot \frac{E}{l} \cdot \Delta ;$ $\sigma_2 = 0,2 \cdot \frac{E}{l} \cdot \Delta .$	 <pre> PRETAB Command File PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT **** POST1 ELEMENT TABLE LISTING **** STAT CURRENT ELEM LS1 1 -0.40000 2 0.20000 MINIMUM VALUES ELEM 1 VALUE -0.40000 MAXIMUM VALUES ELEM 2 VALUE 0.20000 </pre>
21	<p>Допустимое значение зазора $[\Delta]$ соответствует достижению максимальным (по модулю) напряжением в стержнях фермы значения, раного предела текучести σ_T:</p> $\sigma_{max} = \max(\sigma_1 , \sigma_2) = \sigma_1 = 0,4 \cdot \frac{E}{l} \cdot \Delta ;$ $[\Delta] \rightarrow \sigma_{max} = \sigma_T$ $0,4 \cdot \frac{E}{l} \cdot [\Delta] = \sigma_T$ $[\Delta] = \frac{l \cdot \sigma_T}{0,4 \cdot E} .$	

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.