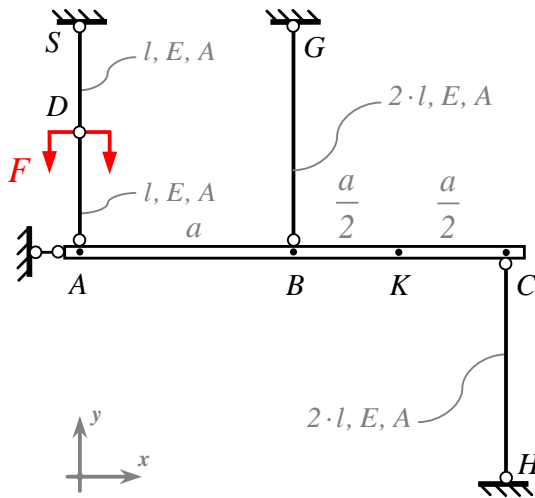


B-15 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: Ферма с жёстким брусом нагружена

сосредоточенной силой в точке D .

E – модуль упругости материала;

A – площадь поперечного сечения.

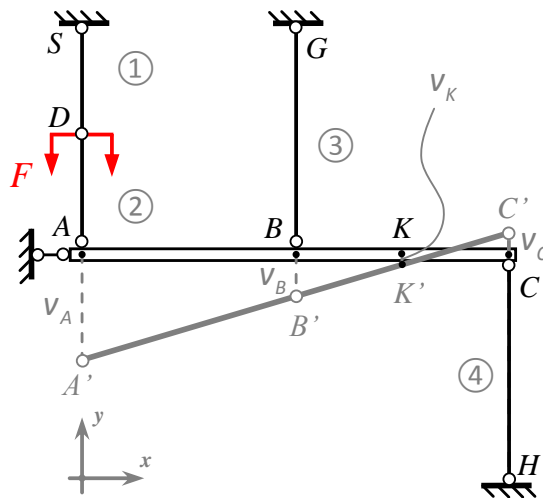
l – длина пролёта;

F – внешняя сила;

Найти: 1) v_K – вертикальное перемещение точки K ;

2) W_F – работу силы F .

Аналитический расчёт (см. [B-15](#)) даёт следующие решения:



$$N_1 = \frac{11}{12} \cdot F = 0,9167 \cdot F \quad ;$$

$$N_2 = -\frac{1}{12} \cdot F = -0,08333 \cdot F \quad ;$$

$$N_3 = \frac{2}{12} \cdot F = 0,1667 \cdot F \quad ;$$

$$N_4 = \frac{1}{12} \cdot F = 0,08333 \cdot F \quad ;$$

$$v_A = -\frac{10}{12} \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} = -0,8333 \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \quad ;$$

$$v_B = -\frac{4}{12} \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} = -0,3333 \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \quad ;$$

$$v_K = -\frac{1}{12} \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} = -0,08333 \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \quad ;$$

$$v_C = +\frac{2}{12} \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} = +0,1667 \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \quad ;$$

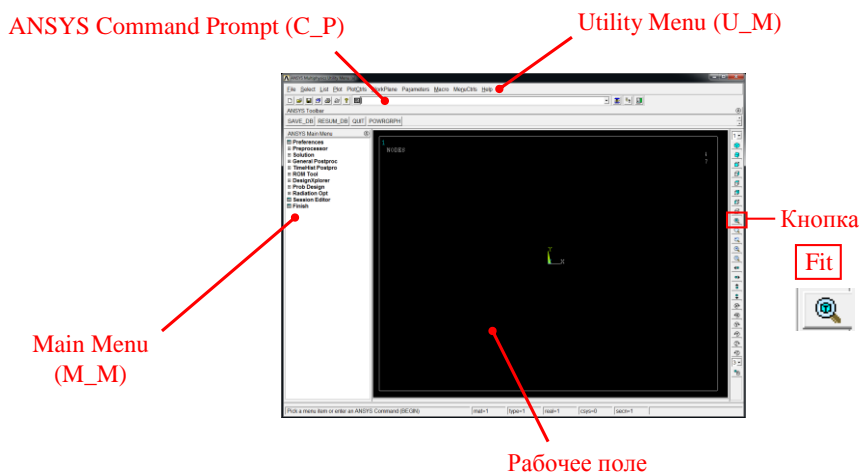
$$W_F = U = \frac{11}{24} \cdot \frac{F^2 \cdot l}{E \cdot A} = 0,4583 \cdot \frac{F^2 \cdot l}{E \cdot A} \quad .$$

Рис. 1.

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):

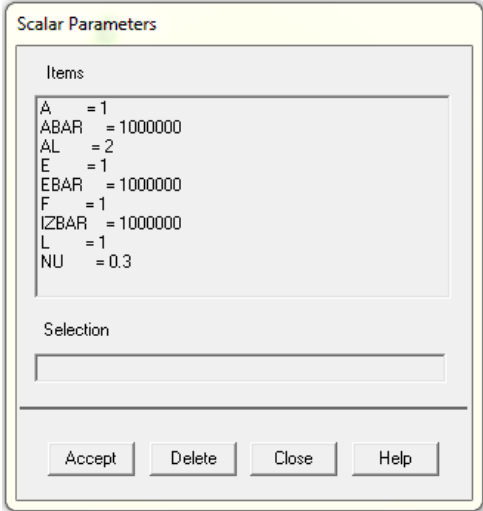
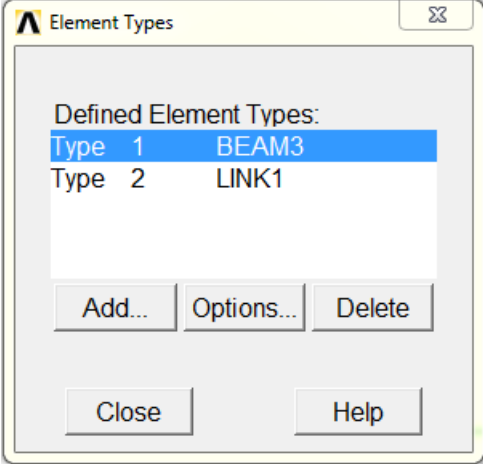
```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
Отметить NODE ;
Установить Elem на "Element numbers";
Установить [/NUM] на "Colors&numbers"
> OK
```

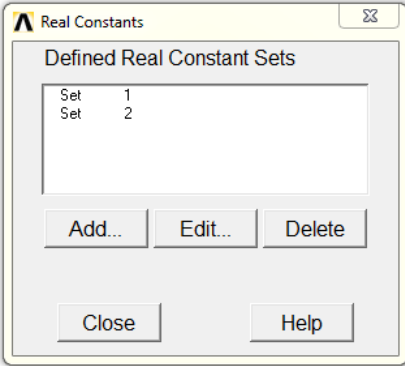
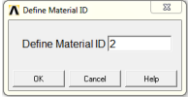
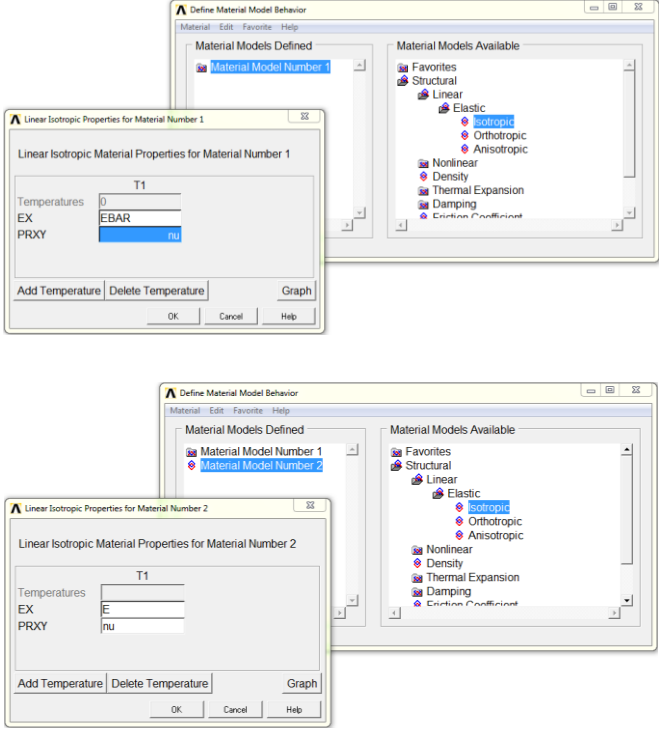
Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

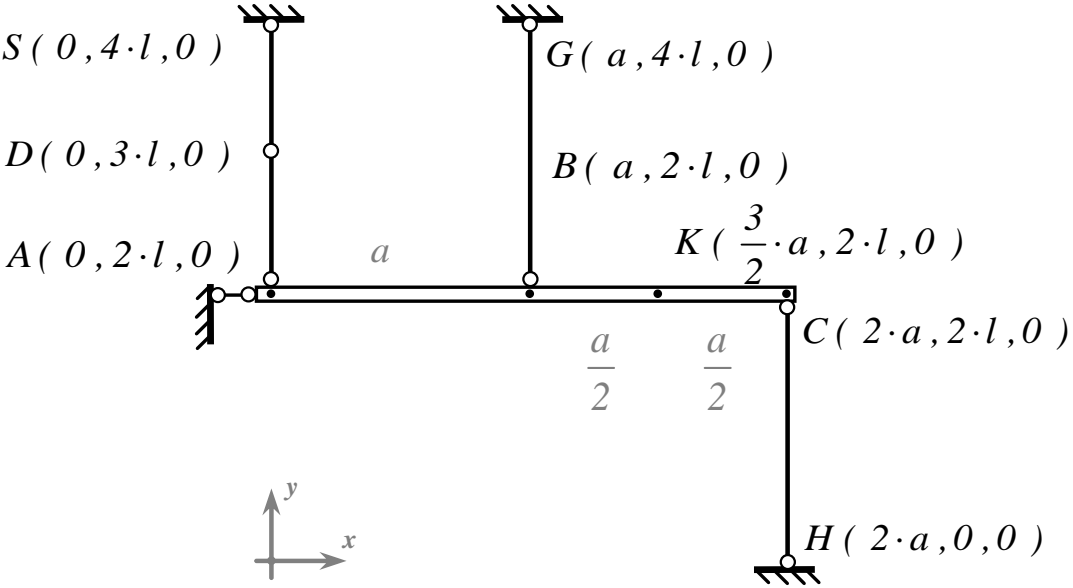
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >
Установить «Размер» на «22» > OK
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
Установить «Размер» на «22» > OK
```


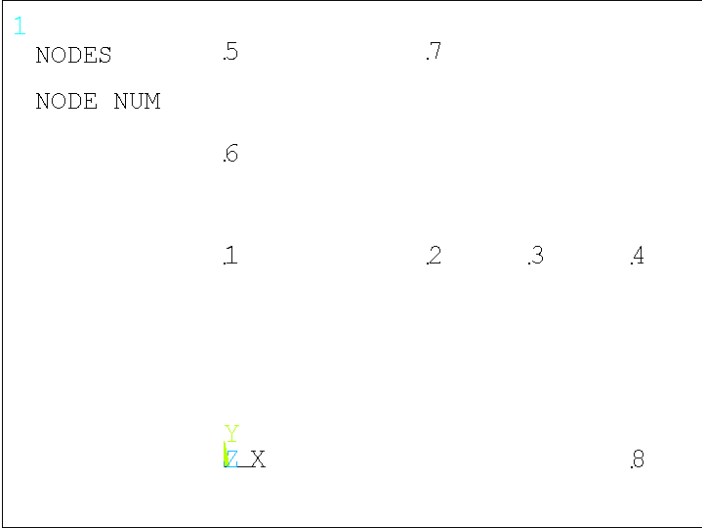
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.


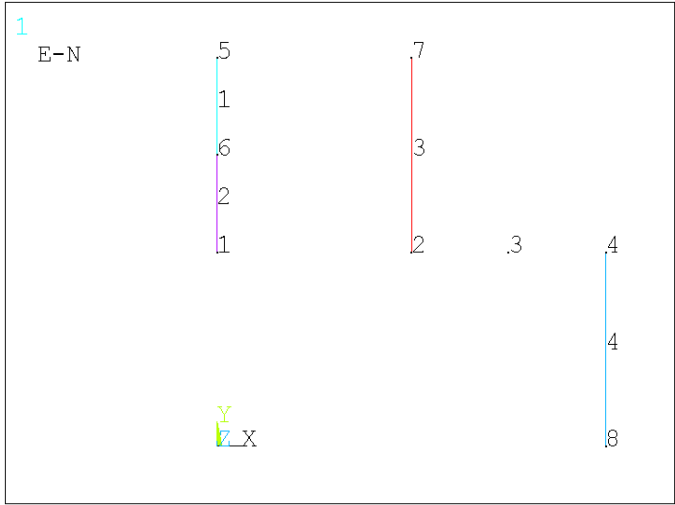
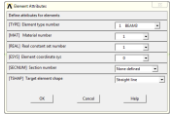
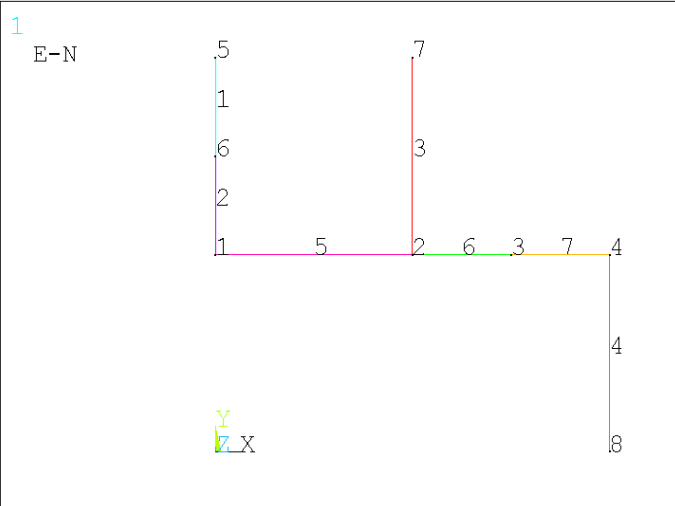
Решение задачи: Приравняв E , A , F и l , к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

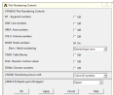
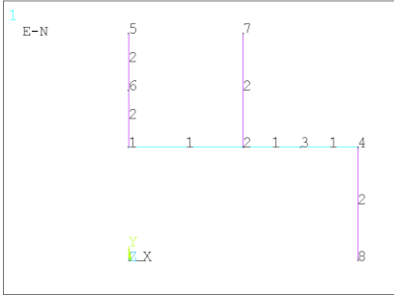

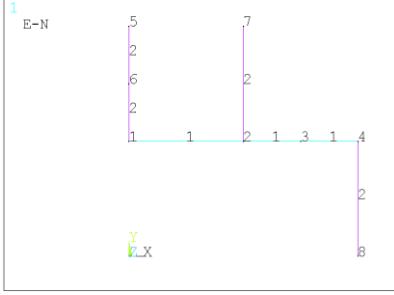
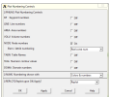
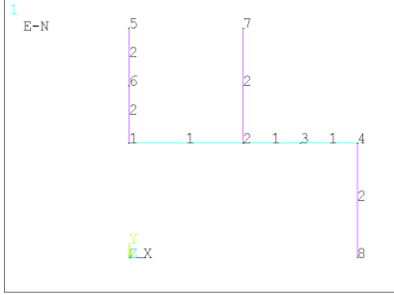
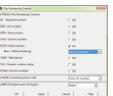
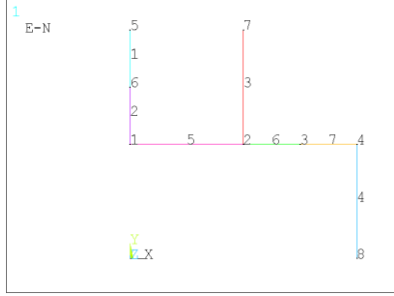
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <pre> U_M > Parameters > Scalar Parameters > l=1 > Accept > EBAR=1e6 > Accept > ABAR=1e6 > Accept > IzBAR=1e6 > Accept > AL=2*l > Accept > E=1 > Accept > A=1 > Accept > F=1 > Accept > nu=0.3 > Accept > > Close</pre> <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>	
2	<p><i>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский балочный BEAM3, вторая строка – плоский фермовый LINK1:</i></p> <pre> M_M > Preprocessor C_P > ET, 1, BEAM3 > Enter C_P > ET, 2, LINK1 > Enter</pre> <p>Посмотрим таблицу конечных элементов:</p> <pre> M_M > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Close</pre>	

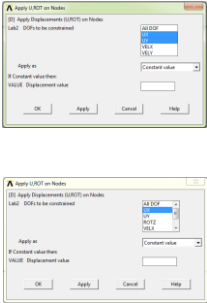
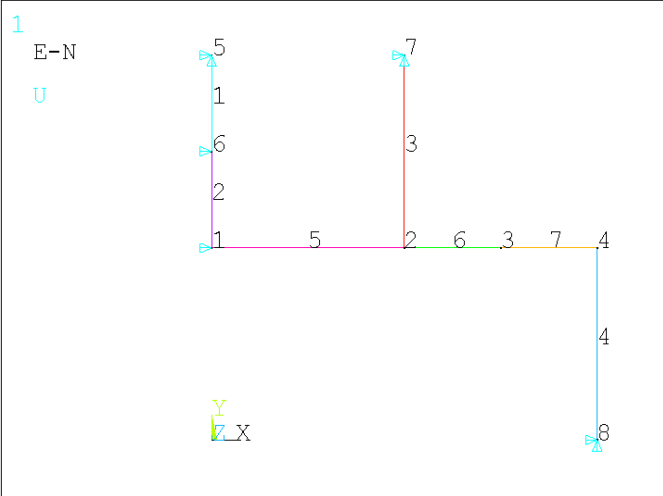
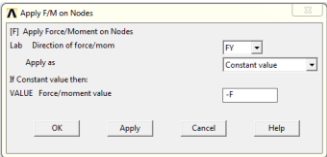
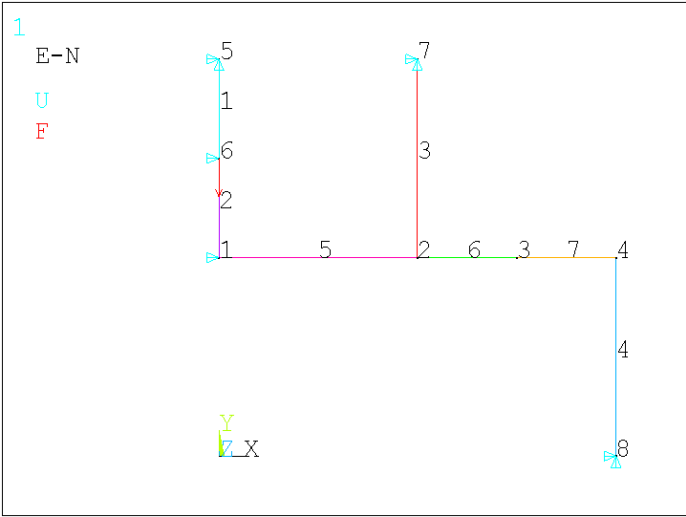
№	Действие	Результат
3	<p><i>Таблица реальных констант:</i></p> <p>Площадь поперечного сечения жёсткого бруса: <code>C_P > R, 1, A_{BAR}, I_{ZBAR}, l/20 > Enter</code></p> <p>Площадь поперечного сечения остальных стержней: <code>C_P > R, 2, A > Enter</code></p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант: <code>M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Close</code></p>	
4	<p><i>Таблица материалов:</i></p> <p>Материал жёсткого бруса: <code>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic > EX пишем E_{BAR} PRXY пишем nu > OK</code></p> <p>Материал остальных стержней: В окне «Define Material Model Behavior» сверху: <code>Material > New Model...</code> Define Material ID пишем 2  > OK > <code>Structural > Linear > Elastic > Isotropic > EX пишем E PRXY пишем nu > OK</code> Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	

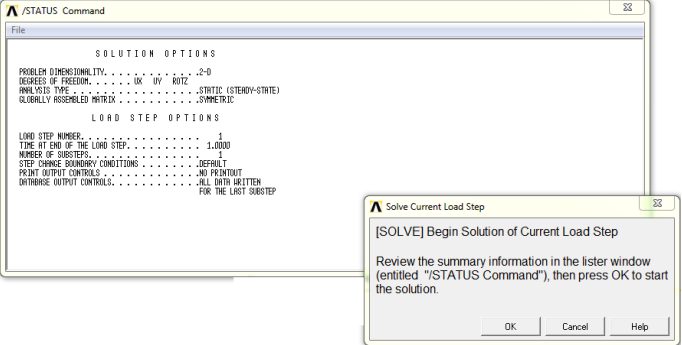
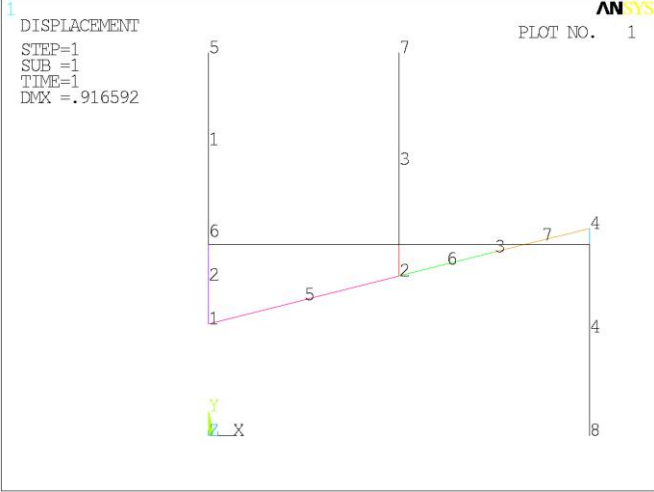
№	Действие	Результат
5	<p>Координаты точек конструкции: Определяемся с координатами точек (узлов фермы).</p>	 <p> $S(0, 4 \cdot l, 0)$ $G(a, 4 \cdot l, 0)$ $D(0, 3 \cdot l, 0)$ $B(a, 2 \cdot l, 0)$ $A(0, 2 \cdot l, 0)$ $K(\frac{3}{2} \cdot a, 2 \cdot l, 0)$ $C(2 \cdot a, 2 \cdot l, 0)$ $H(2 \cdot a, 0, 0)$ </p> <p> $\frac{a}{2}$ $\frac{a}{2}$ </p> <p> y x </p>

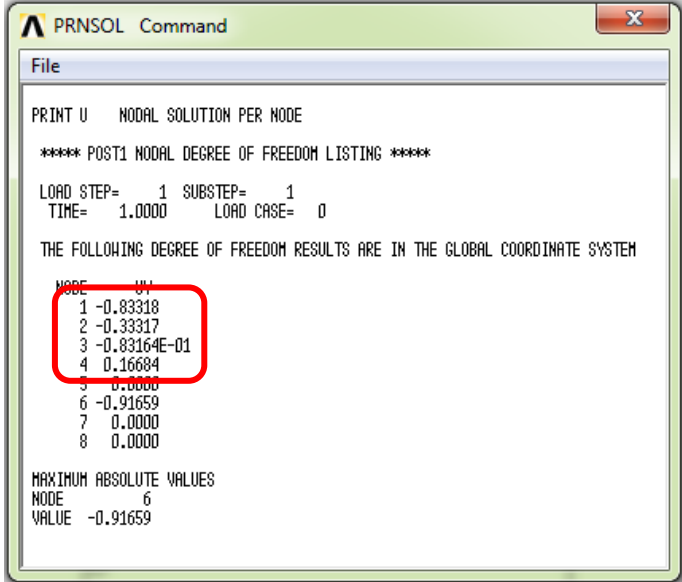
№	Действие	Результат
Конечноэлементная модель		
6	<p>Узлы 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8 в точках A, B, K, C, S, D, G и H соответственно:</p> <pre> M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Nodes> In Active CS > NODE пишем 1 X,Y,Z пишем 0,2*l,0 > Apply > NODE пишем 2 X,Y,Z пишем a1,2*l,0 > Apply > NODE пишем 3 X,Y,Z пишем 3/2*a1,2*l,0 > Apply > NODE пишем 4 X,Y,Z пишем 2*a1,2*l,0 > Apply > NODE пишем 5 X,Y,Z пишем 0,4*l,0 > Apply > NODE пишем 6 X,Y,Z пишем 0,3*l,0 > Apply > NODE пишем 7 X,Y,Z пишем a1,4*l,0 > Apply > NODE пишем 8 X,Y,Z пишем 2*a1,0,0 > ОК Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit . </pre>	


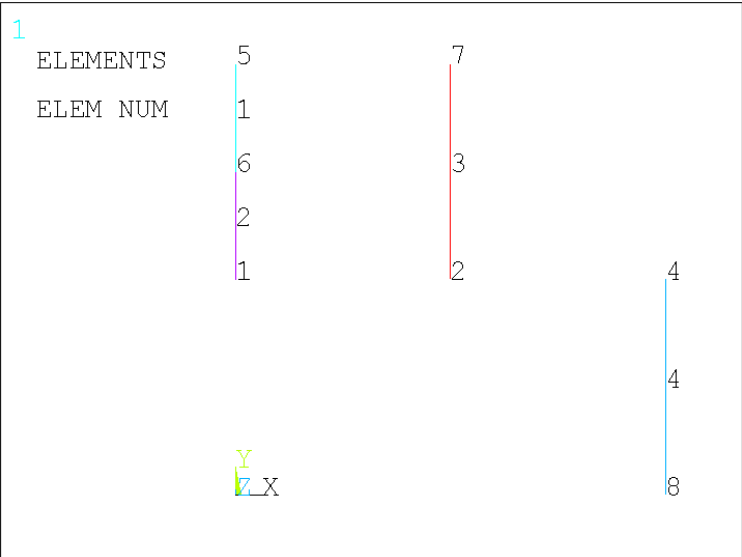
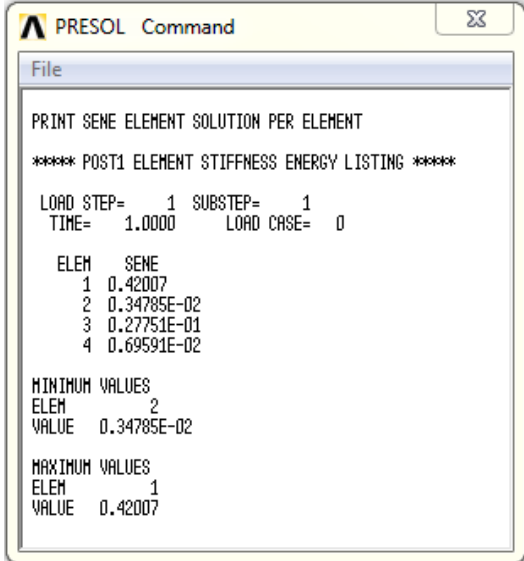
№	Действие	Результат
7	<p><i>Конечные элементы – упругие стержни фермы:</i></p> <p>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Elements> Elem Attributes [TYPE]установить "2 LINK1" [MAT]установить "2" [REAL]установить "2" > ОК</p>  <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > > Auto Numbered > Thru Nodes Левой кнопкой мыши последовательно кликаем узлы 5 и 6 > Apply > 6 и 1 > Apply > 7 и 2 > Apply > 4 и 8 > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
8	<p><i>Конечные элементы – отрезки жёсткого бруса:</i></p> <p>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Elements> Elem Attributes [TYPE]установить "1 BEAM3" [MAT]установить "1" [REAL]установить "1" > ОК</p>  <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Elements > > Auto Numbered > Thru Nodes Левой кнопкой мыши последовательно кликаем узлы 1 и 2 > Apply > 2 и 3 > Apply > 3 и 4 > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

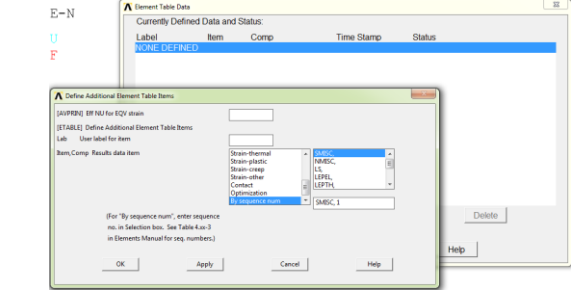
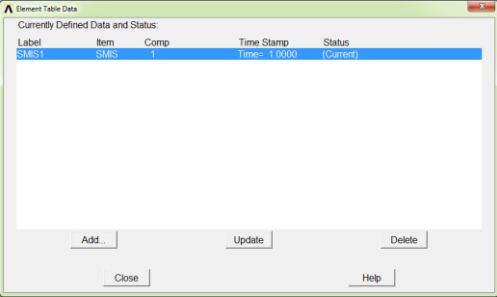
№	Действие	Результат
9	<p><i>Проверяем правильность формирования модели:</i></p> <p>Нумеруем элементы по их типу:</p> <pre>U_M > PlotCtrls > Numbering > Установить Elem на "Element type num"; > ОК</pre> 	
	<p>Нумеруем элементы по номеру их материала:</p> <pre>U_M > PlotCtrls > Numbering > Установить 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> 	

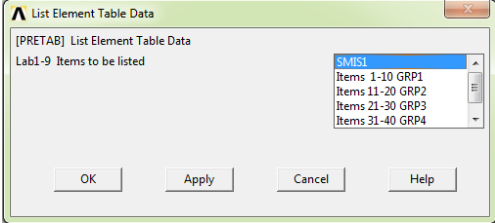
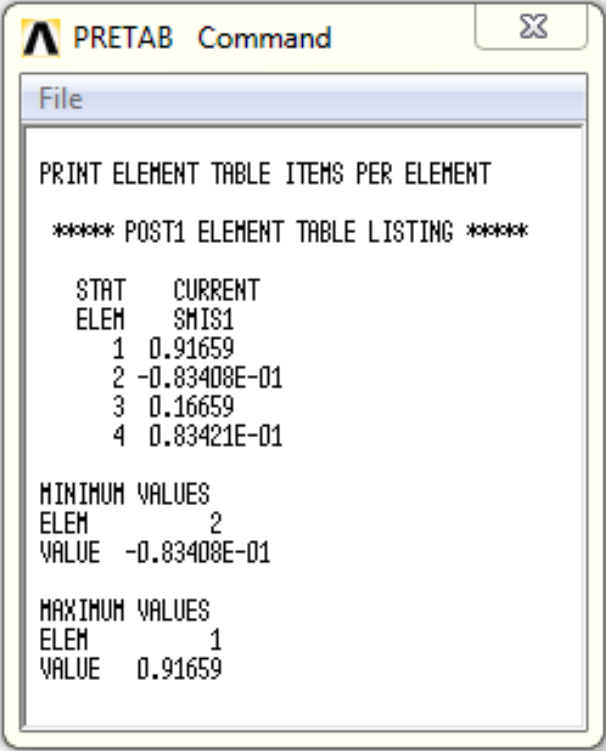
№	Действие	Результат
10	<p><i>Заделки:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Nodes > Left mouse button click on nodes 5, 7 and 8 > OK > Lab2 set "UX" and "UY" > Apply > Left mouse button click on nodes 1 and 6 > OK > Lab2 set "UX"</p> <p>Prorisyvayem vse, chto est':</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p> 	
11	<p><i>Внешняя сила:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On nodes > Left mouse button click on node 6 > OK > Lab set "FY" > VALUE write -F > OK</p>  <p>Prorisyvayem vse, chto est':</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

№	Действие	Результат
Расчёт		
12	<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>	 <p>The screenshot shows the STATUS Command window with the following text:</p> <pre> SOLUTION OPTIONS PROBLEM DIMENSIONALITY.....2-D DEGREES OF FREEDOM.....UX UY ROTZ ANALYSIS TYPE.....STATIC (STEADY-STATE) GLOBALY ASSEMBLED MATRIX.....SYMMETRIC LOAD STEP OPTIONS LOAD STEP NUMBER.....1 TIME AT END OF THE LOAD STEP.....1.0000 NUMBER OF SUBSTEPS.....1 STEP CHANGE BOUNDARY CONDITIONS.....DEFAULT PRINT OUTPUT CONTROLS.....NO PRINTOUT OUTWRITE OUTPUT CONTROLS.....ALL DATA WRITTEN FOR THE LAST SUBSTEP </pre> <p>Below it is a dialog box titled "Solve Current Load Step" with the text: "[SOLVE] Begin Solution of Current Load Step. Review the summary information in the lister window (entitled "STATUS Command"), then press OK to start the solution." with OK, Cancel, and Help buttons.</p>
Просмотр результатов		
13	<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>U_M > PlotCtrls > Style > Displacement Scaling ></p> <p>DMULT устанавливаем "User specified" User specified factor увеличиваем в три раза с 0.2182 до 1 > OK</p> <p>Чёрным цветом начерчена недеформированная форма фермы, цветными линиями – ферма после нагружения (масштаб перемещений выбирается автоматически).</p>	 <p>The screenshot shows the ANSYS Displacement plot window. The title bar says "DISPLACEMENT" and "PLOT NO. 1". The text in the window reads: "STEP=1, SUB =1, TIME=1, DMX =.916592". The plot shows a truss structure with nodes numbered 1 through 8. Node 1 is at the bottom left, node 2 is at the bottom center, node 3 is at the top center, node 4 is at the top right, node 5 is on the left vertical member, node 6 is on the bottom horizontal member, node 7 is on the right vertical member, and node 8 is at the bottom right corner. The undeformed shape is shown in black, and the deformed shape is shown in various colors (pink, green, blue) to indicate displacement magnitude.</p>

№	Действие	Результат
14	<p>Вертикальные перемещения точек жёсткого бруса:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > > Nodal Solution > Y-Component of displacement > ОК</p> <p>Вертикальное перемещение точки A (узла №1)</p> $UY = -0,8332 \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \text{ (отрицательное, то есть вниз),}$ <p>вертикальное перемещение точки B (узла №2)</p> $UY = -0,3332 \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \text{ (отрицательное, то есть вниз) ,}$ <p>вертикальное перемещение точки K (узла №3)</p> $UY = -0,08316 \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \text{ (отрицательное, то есть вниз)}$ <p>и вертикальное перемещение точки C (узла №4)</p> $UY = +0,1668 \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \text{ (положительное, то есть вверх)}$ <p>совпадают с результатом аналитического расчёта (рис. 1., числа, выделенные синим цветом) с точностью до сотых долей 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 UY 1 -0.83318 2 -0.33317 3 -0.83164E-01 4 0.16684 5 0.0000 6 -0.91659 7 0.0000 8 0.0000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE 6 VALUE -0.91659 </pre>

№	Действие	Результат																					
15	<p>Из всех конечных элементов конструкции выделяем только фермовые:</p> <p>Прорисовываем все конечные элементы элементы:</p> <p>U_M > Plot > Elements</p> <p>Выделяем нужные:</p> <p>U_M > Select > Entities ></p> <p>Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick"</p> <p>Селектор на "From Full"</p> <p>> ОК</p> <p>Кликаем левой кнопкой мыши на упругие стержни – элементы 1, 2, 3 и 4</p> <p>> ОК</p> <p>Прорисовываем:</p> <p>U_M > Plot > Replot</p> 	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ELEMENTS</th> <th>5</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ELEM NUM</td> <td>1</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>4</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table>	ELEMENTS	5	7	ELEM NUM	1	3		6	2		2			1	4			4			8
ELEMENTS	5	7																					
ELEM NUM	1	3																					
	6	2																					
	2																						
	1	4																					
		4																					
		8																					
16	<p>Потенциальная энергия упругой деформации в конструкции (она же – работа внешней силы):</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Element Solution > Energy > Strain energy > ОК</p> <p>Получаем список «Элемент-энергия». Суммируем энергию:</p> $U = 0,4201 + 0,003479 + 0,02775 + 0,006959 = 0,4583 \cdot \frac{F^2 \cdot l}{E \cdot A} .$ <p>Получаем тот же результат, что и на рис. 1. (коэффициент перед формулой, выделен синим цветом).</p>	 <pre> PRESOL Command File PRINT SENE ELEMENT SOLUTION PER ELEMENT **** POST1 ELEMENT STIFFNESS ENERGY LISTING **** LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0 ELEM SENE 1 0.42007 2 0.34785E-02 3 0.27751E-01 4 0.69591E-02 MINIMUM VALUES ELEM 2 VALUE 0.34785E-02 MAXIMUM VALUES ELEM 1 VALUE 0.42007 </pre>																					

№	Действие	Результат
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"</p> <p>> OK ></p> <p>> Close</p>	 

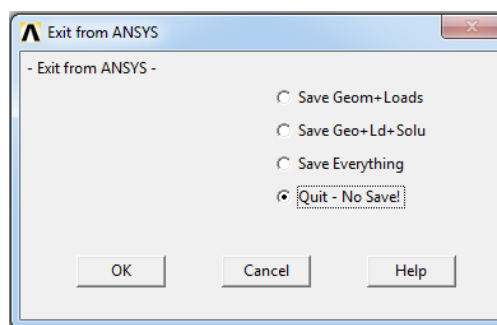
№	Действие	Результат
18	<p>Распечатка значений внутренних осевых растягивающих сил N_i в конечных элементах:</p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Elem Table Data > Отметить мышью строку SMIS1 > OK</p>  <p>С точностью до сотых долей процента получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1</i> (числа, выделенные синим цветом):</p> $N_1 = 0,9166 \cdot F ;$ $N_2 = -0,08341 \cdot F ;$ $N_3 = 0,1666 \cdot F ;$ $N_4 = 0,08342 \cdot F .$	 <pre> PRETAB Command File PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT ***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING ***** STAT CURRENT ELEM SMIS1 1 0.91659 2 -0.83408E-01 3 0.16659 4 0.83421E-01 MINIMUM VALUES ELEM 2 VALUE -0.83408E-01 MAXIMUM VALUES ELEM 1 VALUE 0.91659 </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.