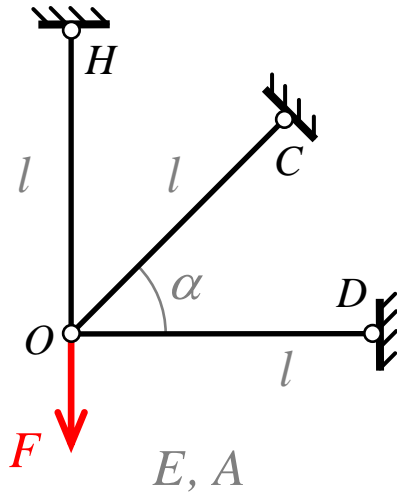


## B-14 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: Несимметричная ферма нагружена внешней сосредоточенной силой.

$E$  – модуль упругости материала;

$A$  – площадь поперечного сечения.

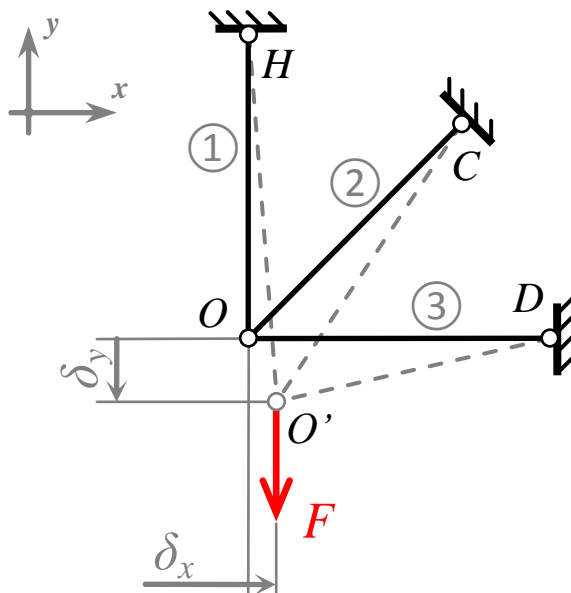
$l$  – длина ;

$F$  – внешняя сила;

$\alpha = 45^\circ$ .

Найти:  $W_F$  - работу силы  $F$ .

Аналитический расчёт (см. [B-14](#)) даёт следующие решения:



$$N_1 = \frac{3}{4} \cdot F = 0,75 \cdot F \quad ;$$

$$N_2 = \frac{\sqrt{2}}{4} \cdot F = 0,3536 \cdot F \quad ;$$

$$N_3 = -\frac{1}{4} \cdot F = -0,25 \cdot F \quad ;$$

$$\delta_x = \frac{1}{4} \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} = 0,25 \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \quad ;$$

$$\delta_y = \frac{3}{4} \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} = 0,75 \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \quad ;$$

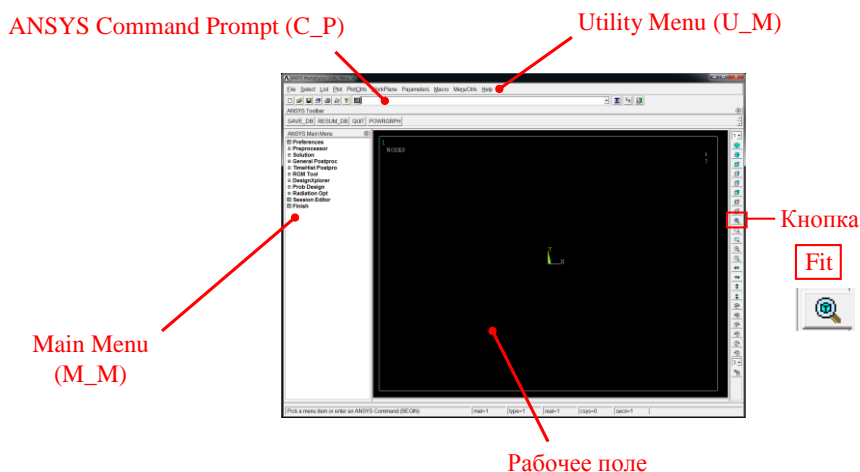
Рис. 1.

$$W_F = U = \frac{3}{8} \cdot \frac{F^2 \cdot l}{E \cdot A} = 0,375 \cdot \frac{F^2 \cdot l}{E \cdot A} \quad .$$

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 >
```

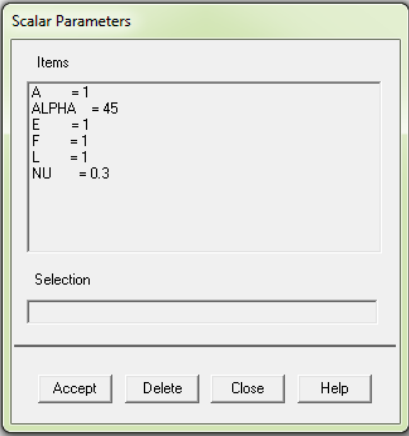
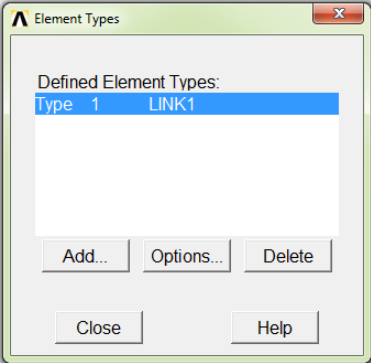
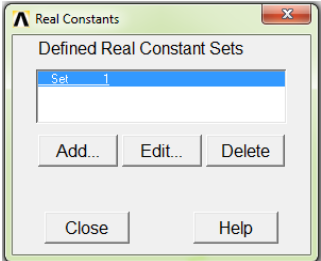
```
Установить «Размер» на «22» > OK
```

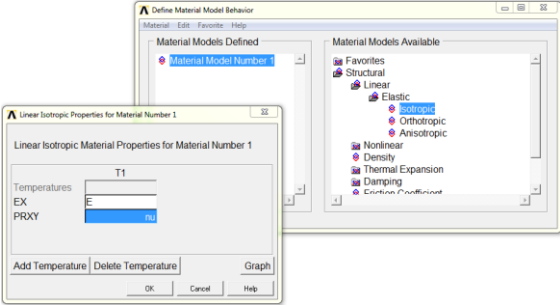
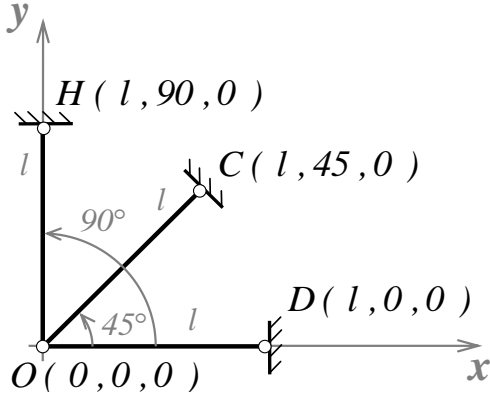
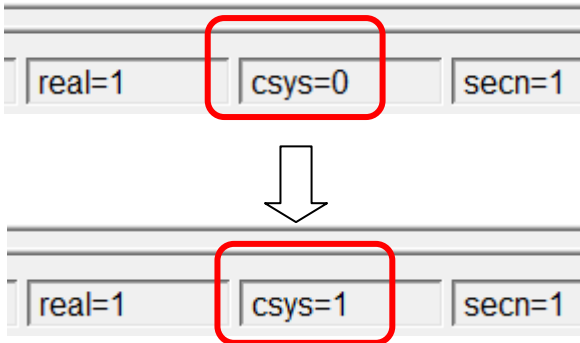
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```


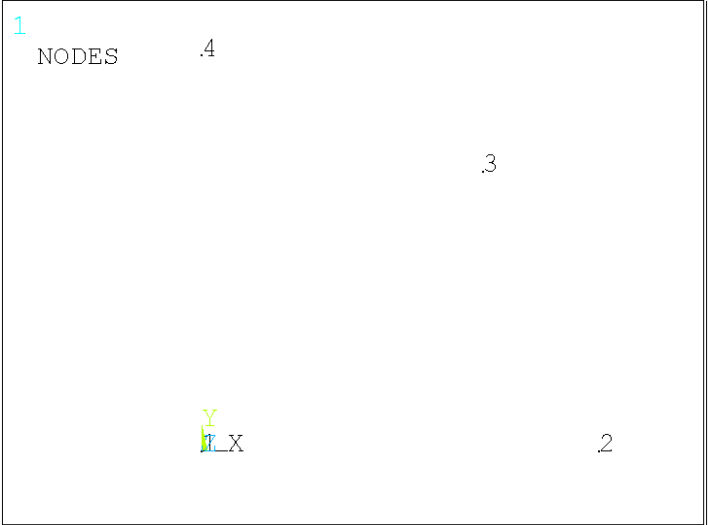
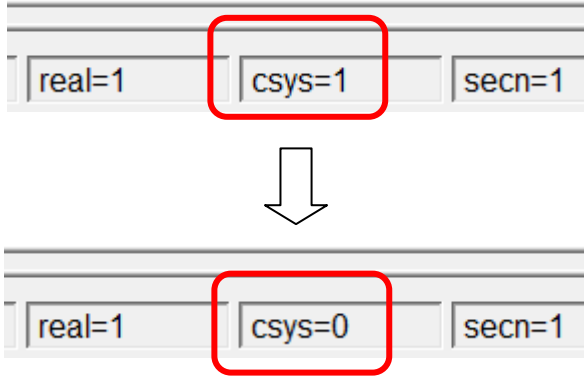
```
Установить «Размер» на «22» > OK
```

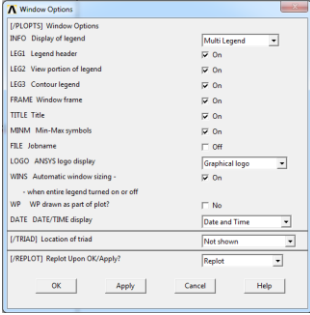

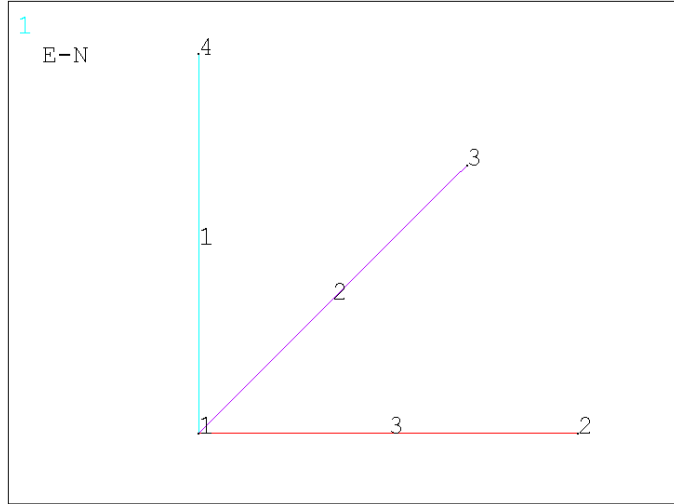
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

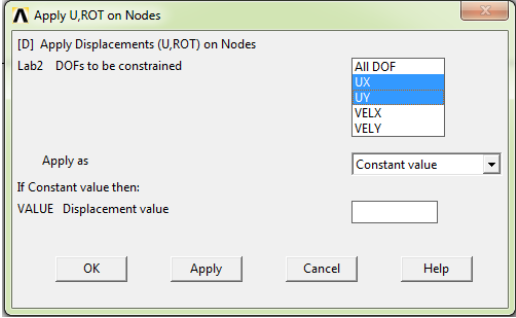
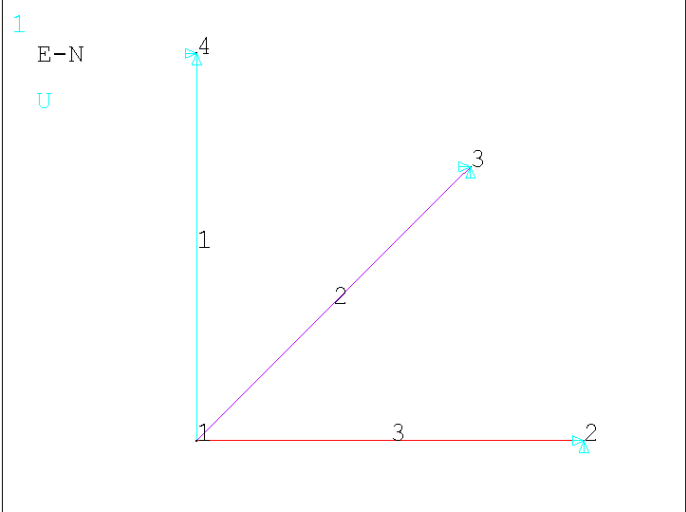
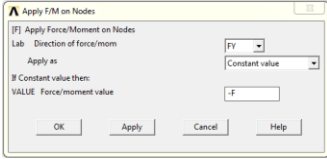
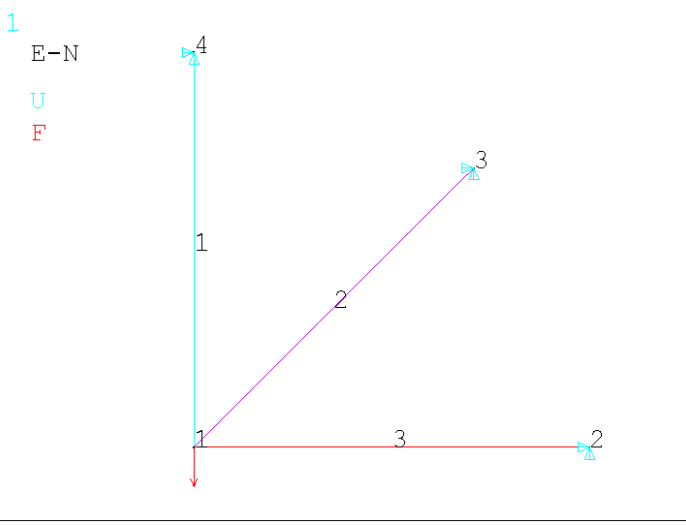
Решение задачи: Приравняв  $E$ ,  $A$ ,  $F$  и  $l$ , к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

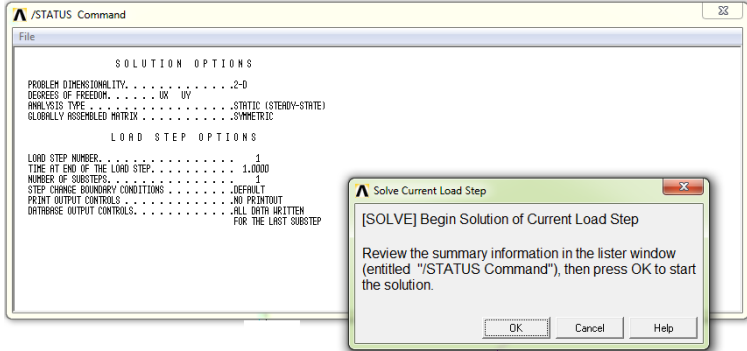
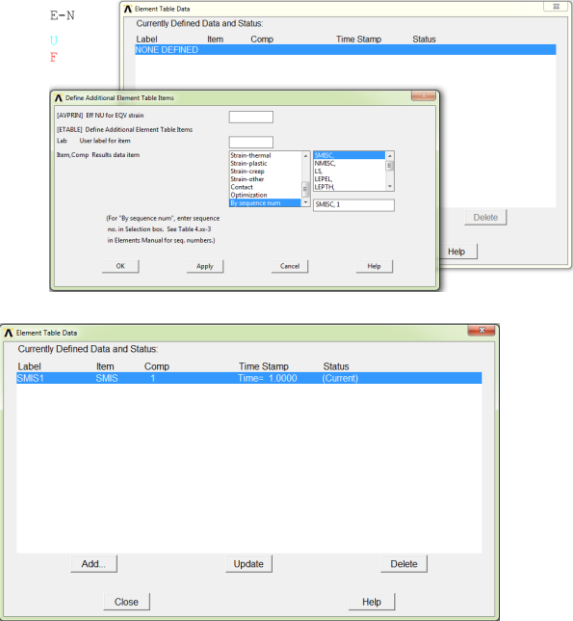
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;            E=1 &gt; Accept &gt;            A=1 &gt; Accept &gt;            F=1 &gt; Accept &gt;            l=1 &gt; Accept &gt;            Alpha=45 &gt; Accept &gt;            nu=0.3 &gt; Accept &gt;            &gt; Close</p> <p>nu – коэффициент Пуассона для металлов.</p>	
2	<p><i>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский фермовый LINK1:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor            C_P &gt; ET, 1, LINK1 &gt; <b>Enter</b></p> <p>Посмотрим таблицу конечных элементов:            M_M &gt; Preprocessor &gt; Element Type &gt; Add/Edit/Delete &gt; Close</p>	
3	<p><i>Таблица реальных констант:</i></p> <p>Сечение площадью A:</p> <p>C_P &gt; R, 1, A &gt; <b>Enter</b></p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант:            M_M &gt; Preprocessor &gt; Real Constants &gt; Add/Edit/Delete &gt; Close</p>	

№	Действие	Результат
4	<p><i>Таблица материалов:</i></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; ОК</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
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 точки O. Проще всего использовать цилиндрическую систему координат с началом в этой точке. Тогда координаты узлов в формате ( R, φ, z ) будут следующими:</p>	
<p><b>Конечноэлементная модель</b></p>		
6	<p><i>Активируем глобальную цилиндрическую систему координат:</i></p> <p>U_M &gt; WorkPlane &gt; Change Active CS to &gt; Global Cylindrical</p>	

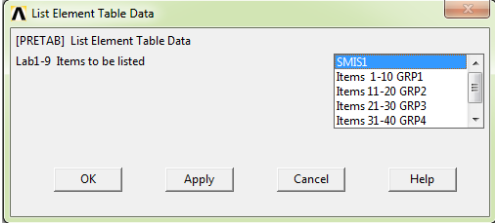
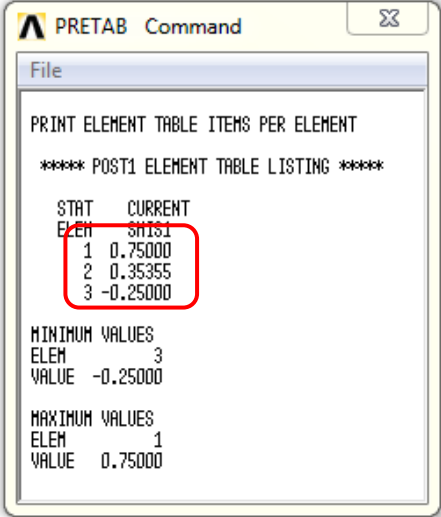
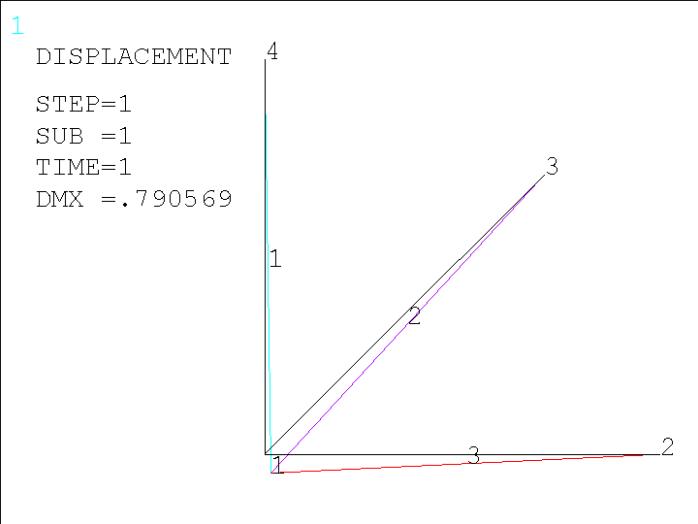
№	Действие	Результат
7	<p>Узлы 1, 2, 3 и 4 в точках O, D, C и H соответственно:</p> <pre>M_M&gt; Preprocessor&gt; Modeling&gt; Create&gt; Nodes&gt; In Active CS &gt; NODE пишем 1 X,Y,Z пишем 0,0,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 2 X,Y,Z пишем l,0,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 3 X,Y,Z пишем l,45,0 &gt; Apply &gt; NODE пишем 4 X,Y,Z пишем l,90+Beta,0 &gt; OK</pre> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p>	
8	<p>Активируем глобальную декартову систему координат:</p> <pre>U_M &gt; WorkPlane &gt; Change Active CS to &gt; Global Cartesian</pre>	

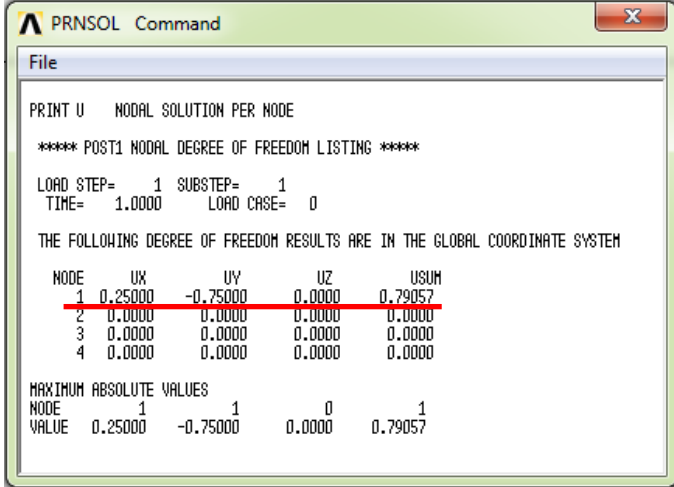
№	Действие	Результат
9	<p><i>Скрываем оси системы координат:</i></p> <pre>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Window Controls &gt; Window Options &gt; [/Triad] установить "Not Shown" &gt; OK</pre> 	
10	<p><i>Конечные элементы последовательно протягиваем по участкам фермы:</i></p> <pre>M_M&gt; Preprocessor&gt; Modeling&gt;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

№	Действие	Результат
11	<p><i>Заделки:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt;            &gt; Structural &gt; Displacement &gt; On Nodes &gt;            Левой кнопкой мыши нажать на узлы 2, 3 и 4            &gt; OK &gt;            Lab2 установить "UX" и "UY"            &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:            U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	
12	<p><i>Внешняя сила:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt;            &gt; Structural &gt; Force/Moment &gt; On nodes &gt;            Левой кнопкой мыши нажимаем на узел 1            &gt; OK &gt;            Lab устанавливаем "FY"            VALUE пишем -F            &gt; OK</p>  <p>Прорисовываем всё, что есть:            U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

№	Действие	Результат										
<b>Расчёт</b>												
<b>13</b>	<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. 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 UV RANK SOLS TYPE. . . . . SYSTIC (STEADY-STATE) GLOBALLY 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 DATABASE OUTPUT CONTROLS. . . . . ALL DATA WRITTEN FOR THE LAST SUBSTEP </pre> <p>Overlaid on this is a "Solve Current Load Step" dialog box 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. [OK] [Cancel] [Help]</p>										
<b>Просмотр результатов</b>												
<b>14</b>	<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>	 <p>The screenshot shows the "Element Table Data" dialog box with the following text:</p> <pre> Currently Defined Data and Status: Label Item Comp Time Stamp Status NONE DEFINED  Define Additional Element Table Items (SUPPORT) BEF NU for EQV stress (ETABLE) Define Additional Element Table Items Lab: User label for item Item,Comp: Results data item Item: SMISC Comp: 1 </pre> <p>Below the dialog box is the "Element Table Data" window showing the following table:</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>SMISC</td> <td>SMISC</td> <td>1</td> <td>Time= 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> </tbody> </table>	Label	Item	Comp	Time Stamp	Status	SMISC	SMISC	1	Time= 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status								
SMISC	SMISC	1	Time= 1.0000	(Current)								



№	Действие	Результат
15	<p>Распечатка значений внутренних осевых растягивающих сил <math>N_i</math> в конечных элементах:</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 (числа, выделенные синим цветом).</p>	 <pre> PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT **** POST1 ELEMENT TABLE LISTING **** STAT  CURRENT ELEM  SMIS1 1     0.75000 2     0.35355 3    -0.25000  MINIMUM VALUES ELEM  3 VALUE -0.25000  MAXIMUM VALUES ELEM  1 VALUE 0.75000                     </pre>
16	<p>Деформированная форма конструкции:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt;                      &gt; Deformed Shape &gt;                      KUND установить Def + undeformed                      &gt; OK</p> <p>Чёрным цветом начерчена недеформированная форма фермы, цветными линиями – ферма после нагружения (масштаб перемещений выбирается автоматически).</p>	

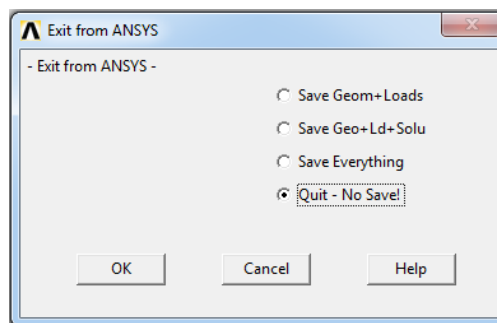
№	Действие	Результат
17	<p><i>Перемещения точки O конструкции (узла №1 конечноэлементной модели) :</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt; &gt; Nodal Solution &gt; Displacement vector sum &gt; OK</p> <p>Горизонтальное перемещение узла №1</p> $UX = 0,25 \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \text{ (положительное, то есть вправо, по оси X) ;}$ <p>Вертикальное перемещение узла №1</p> $UY = -0,75 \cdot \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \text{ (отрицательное, то есть вниз, против оси Y) ;}$ <p>в точности совпадает с результатом аналитического расчёта (рис. 1., числа, выделенные синим цветом).</p>	 <pre> PRNSOL Command File PRINT U  MODAL SOLUTION PER NODE **** POST1 MODAL 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      UX      UY      UZ      USUM 1  0.25000  -0.75000  0.0000  0.79057 2  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000 3  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000 4  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE      1      1      0      1 VALUE  0.25000  -0.75000  0.0000  0.79057 </pre>
18	<p><i>Потенциальная энергия упругой деформации в конструкции (она же – работа внешней силы):</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Element Solution &gt; Energy &gt; Strain energy &gt; OK</p> <p>Получаем список «Элемент-энергия». Суммируем энергию:</p> $U = 0,28125 + 0,0625 + 0,03125 = 0,375 \cdot \frac{F^2 \cdot l}{E \cdot A} .$ <p>Получаем тот же результат, что и на рис. 1. (только коэффициент перед формулой, выделен синим цветом).</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.