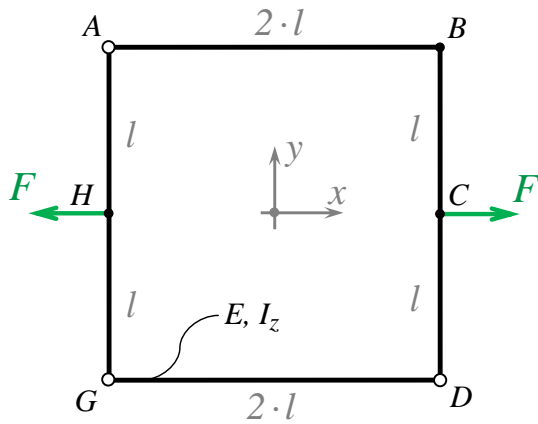


K-06 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано: E, I_z, F, l .

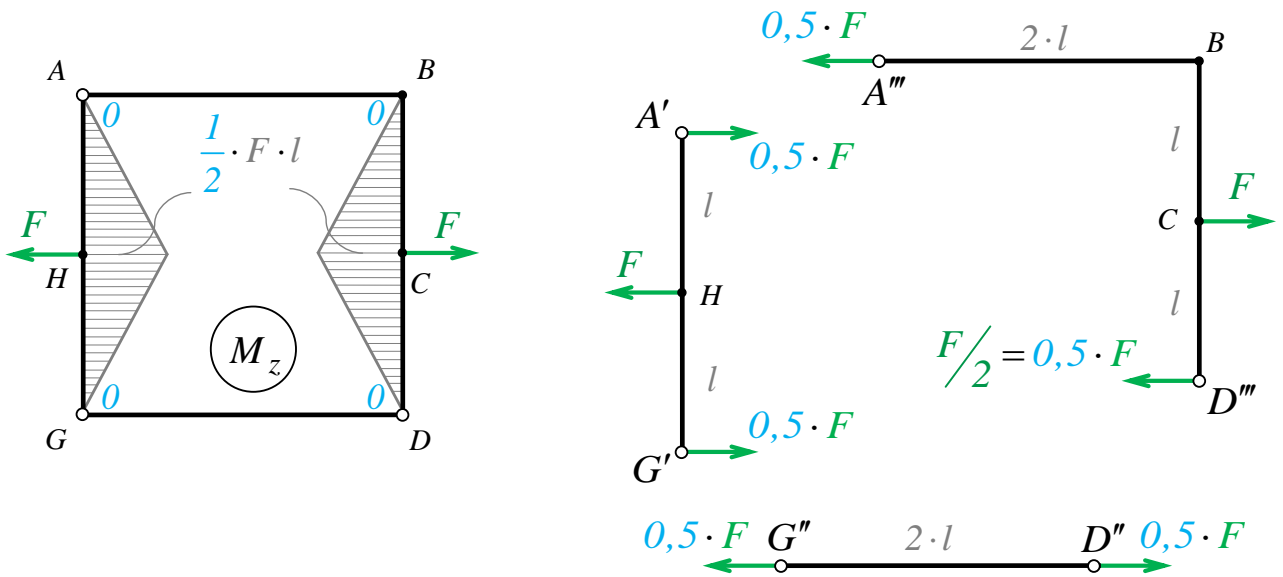
Плоская замкнутая рама, с тремя врезанными шарнирами.

E – модуль упругости материала;

I_z – изгибный момент инерции.

Найти: Эпюру внутреннего изгибающего момента M_z .

Аналитический расчёт (см. [K-06](#)) даёт следующее решение:



а) Эпюра внутреннего изгибающего момента.

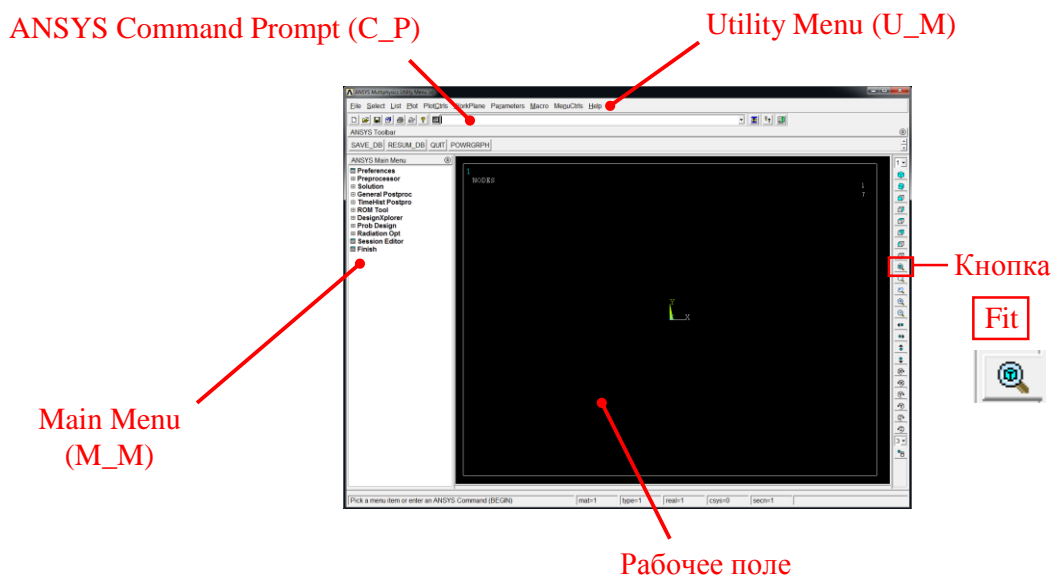
б) Силовая схема;

Рис.1.

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multyphysics получить этот же результат 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 окно C_P вручную вводят текстовые команды, после чего следует нажать на клавиатуре **Enter**.

Меняем чёрный цвет фона на белый следующими действиями:

```
U_M > PlotCtrls > Style > Colors > Reverse Video
```

В меню оставить только пункты, относящиеся к прочностным расчётам:

```
M_M > Preferences > Отметить "Structural" > OK
```

При построениях полезно видеть номера точек и линий твердотельной модели, узлов модели конечноэлементной:

```
U_M > PlotCtrls > Numbering >
```

```
Отметить KP, LINE, NODE ;
```

```
Установить Elem на "No numbering";
```

```
Установить [/NUM] на "Colors & numbers"> OK
```

Для большей наглядности увеличим размер шрифта:

```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Legend Font >
```

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

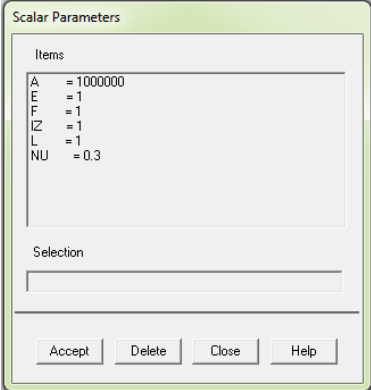
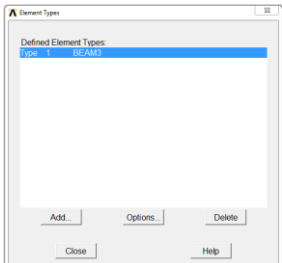
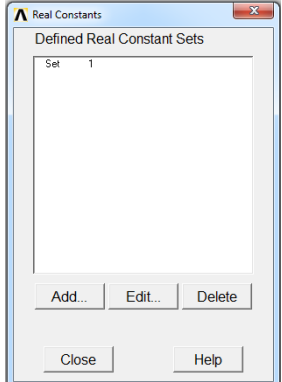
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```

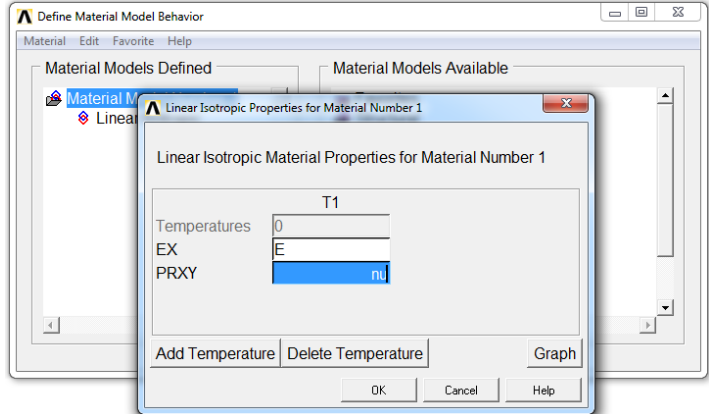
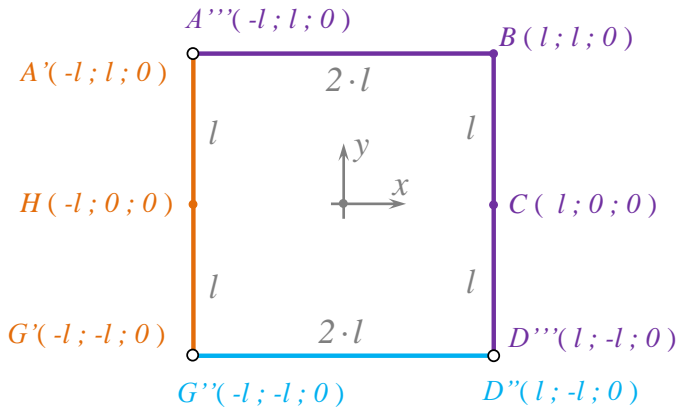
```
Установить «Размер» на «22»> OK
```

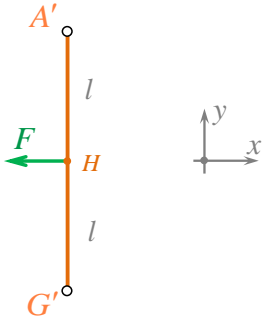
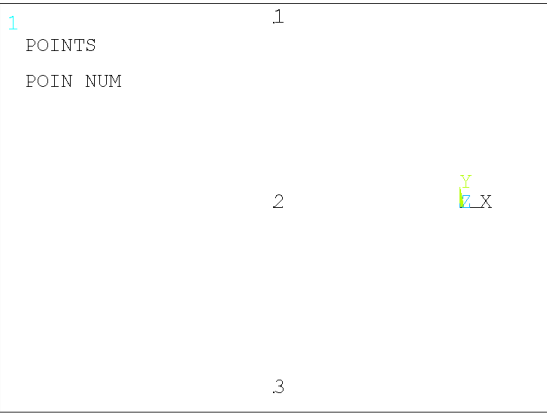
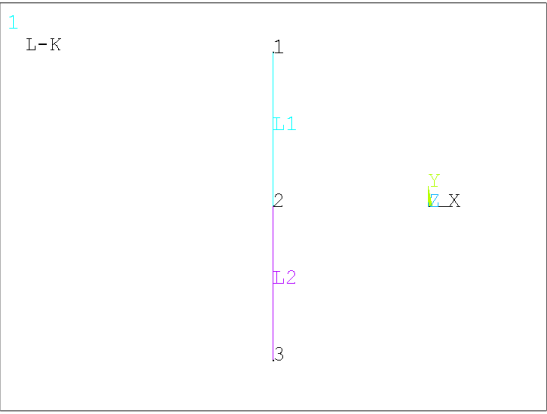
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

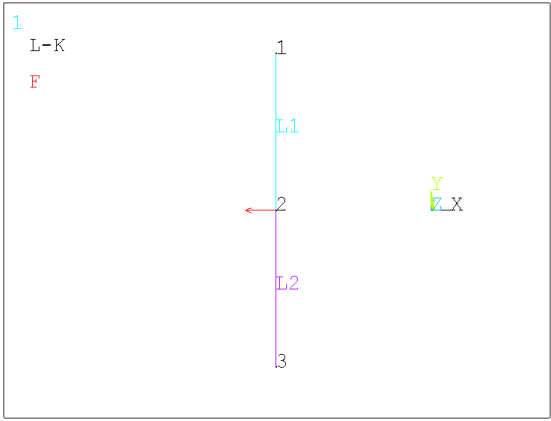
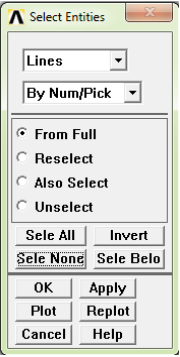
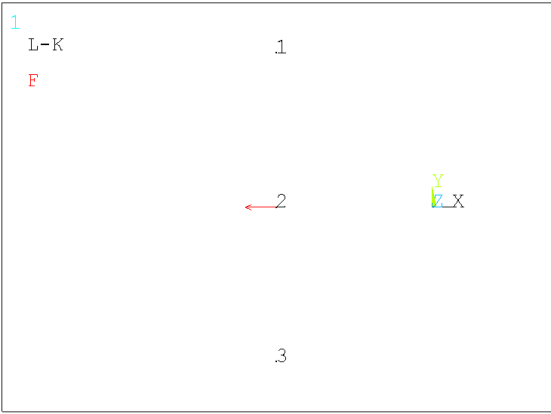
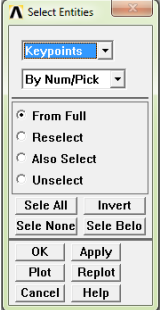
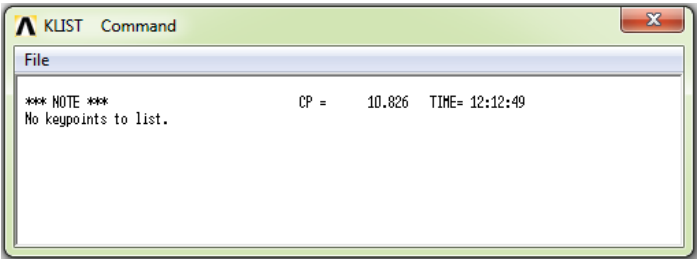
Решение задачи:

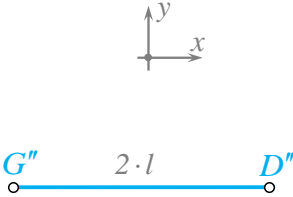

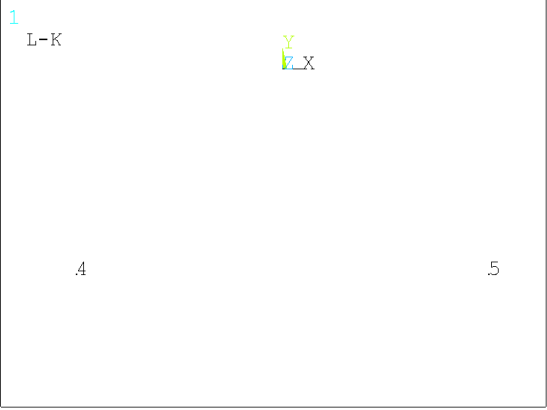
Приравняв E , I_z , F и l к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

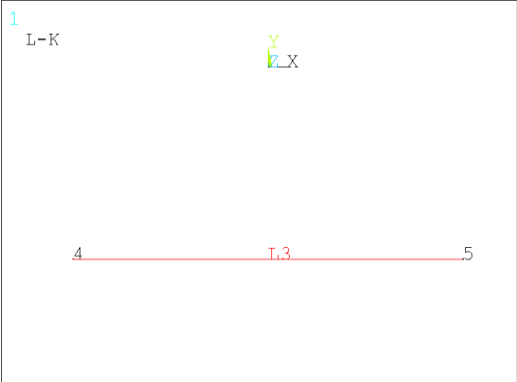
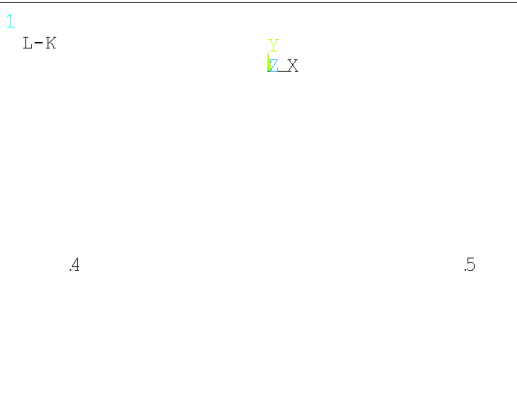
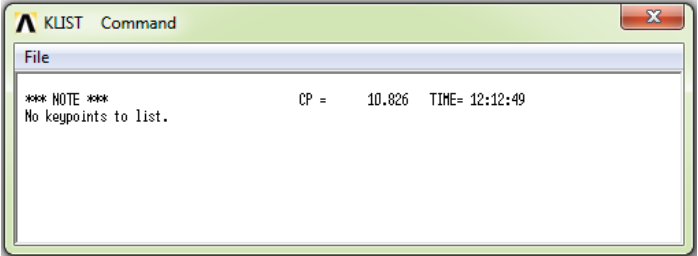
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters > E=1 > Accept > A=1e6 > Accept > Iz=1 > Accept > F=1 > Accept > l=1 > Accept > nu=0.3 > Accept > > Close</p>	
2	<p><i>Первая строчка в таблице конечных элементов – плоский балочный тип BEAM3:</i></p> <p>M_M > Preprocessor C_P > ET, 1, BEAM3 > Enter</p> <p>Посмотрим таблицу конечных элементов: M_M > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > Close</p>	
3	<p><i>Первая строчка в таблице параметров («реальных констант») выбранного типа конечного элемента: площадь поперечного сечения = A; момент инерции = Iz; высота = l/100.</i></p> <p>C_P > R, 1, A, Iz, L/100 > Enter</p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант: M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Close</p>	

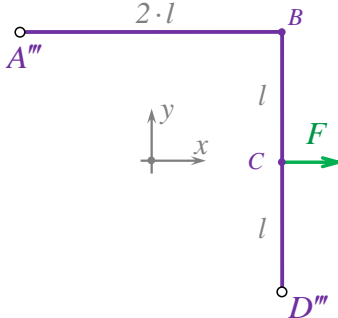

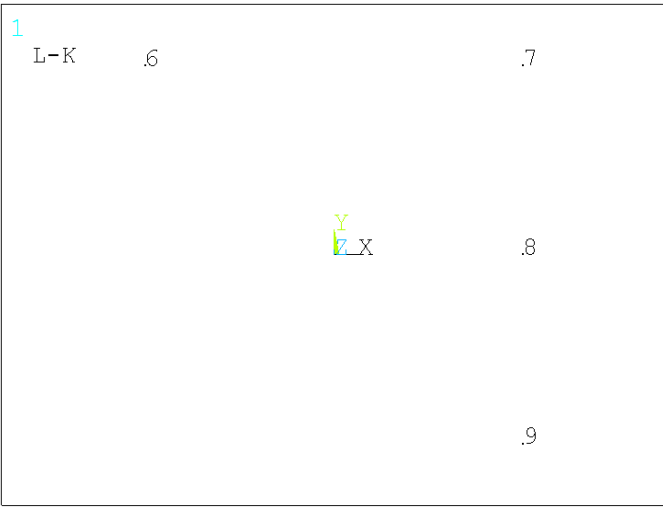
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Material Props > Material Models > Structural > Linear > Elastic > Isotropic ></p> <p>В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu"</p> <p>> OK</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
<p>Твердотельное моделирование</p>		
5	<p><i>Координаты узлов рамы:</i></p> <p>Определяемся с положением рамы относительно глобальной декартовой системы координат. В шарнире совпадают две точки с одинаковыми координатами, каждая принадлежит своей части рамы.</p>	

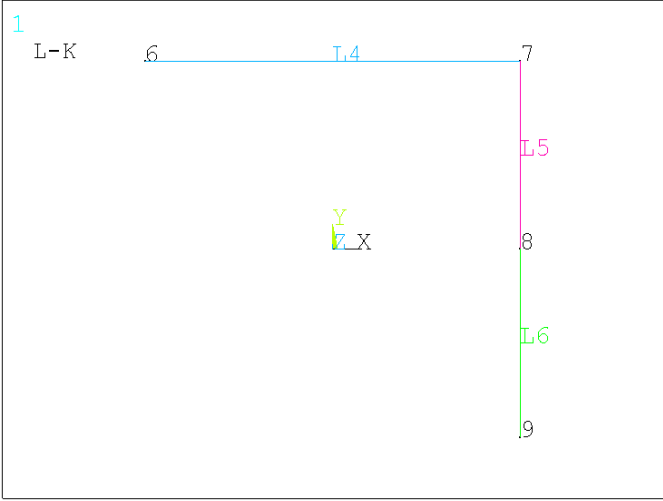
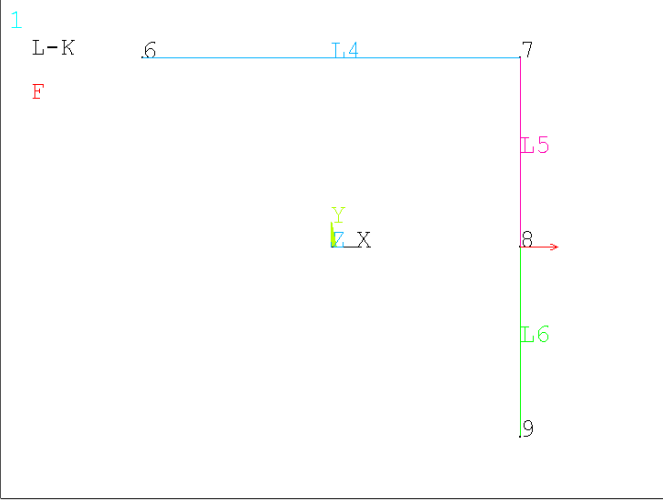
№	Действие	Результат
	<p>Левая часть рамы:</p> 	
6	<p><i>Ключевые точки – границы участков: $A' \rightarrow 1$, $H \rightarrow 2$ и $G' \rightarrow 3$:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS > NPT пишем 1 X, Y, Z пишем $-l, l, 0$ > Apply > NPT пишем 2 X, Y, Z пишем $-l, 0, 0$ > Apply > NPT пишем 3 X, Y, Z пишем $-l, -l, 0$ > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
7	<p><i>Два участка – две линии:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line ></p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки: 1 и 2 2 и 3 > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

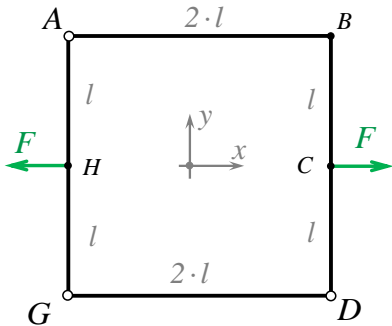
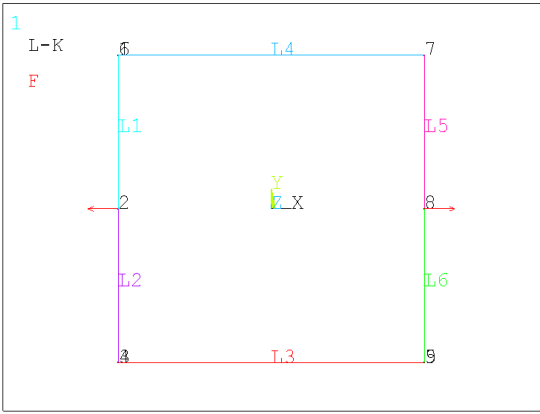
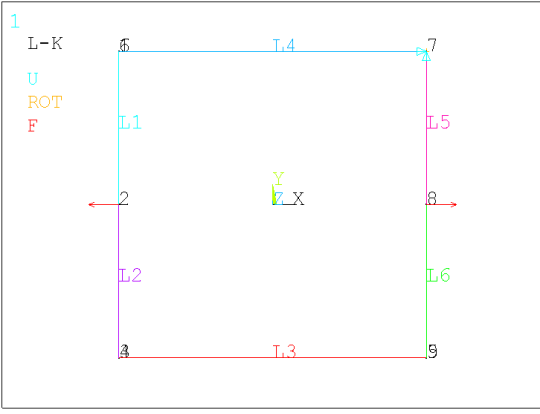
№	Действие	Результат
8	<p><i>Внешняя сосредоточенная сила:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints > Левой кнопкой мыши нажать на 2 ключевую точку > OK > Lab установить "FX" VALU пишем -F > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
9	<p><i>Скрываем линии:</i></p> <p>U_M > Select > Entities > Устанавливаем "Lines" и "By Num/Pick" > Sele None > Cancel</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> 	
10	<p><i>Скрываем ключевые точки:</i></p> <p>U_M > Select > Entities > Устанавливаем "Lines" и "By Num/Pick" > Sele None > Cancel</p> <p>Проверяем, действительно ли все ключевые точки скрыты U_M > List > Keypoint > Coordinates only В появившемся окне читаем: «No keypoint to list».</p> 	

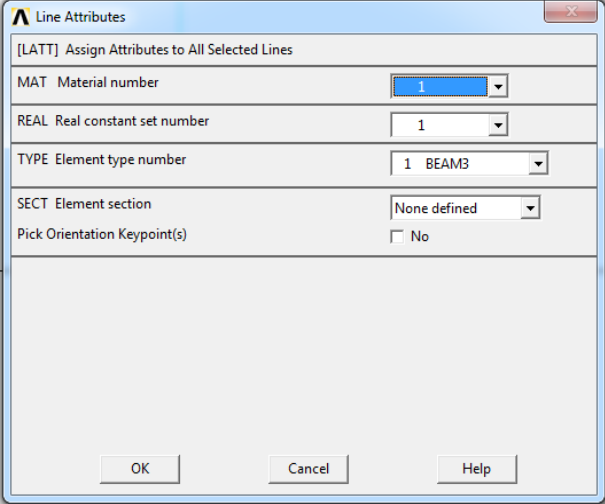
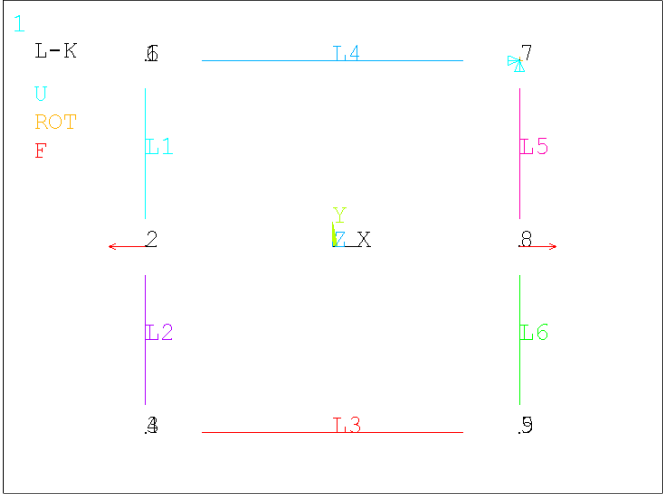
№	Действие	Результат
	<p data-bbox="521 435 846 472">Нижняя часть рамы:</p> 	
11	<p data-bbox="165 624 949 660"><i>Ключевые точки – границы участков: $G'' \rightarrow 4$ и $D'' \rightarrow 5$:</i></p> <p data-bbox="165 683 1335 751">M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Keypoints> In Active CS> NPT пишем 4</p> <p data-bbox="165 770 725 807">X, Y, Z пишем $-l, -l, 0$ > Apply ></p> <p data-bbox="165 815 376 852">NPT пишем 5</p> <p data-bbox="165 860 629 896">X, Y, Z пишем $l, -l, 0$ > ОК</p> <p data-bbox="165 916 1039 952">Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p data-bbox="165 991 1055 1027">При необходимости используйте кнопку автомасштабирования: </p>	

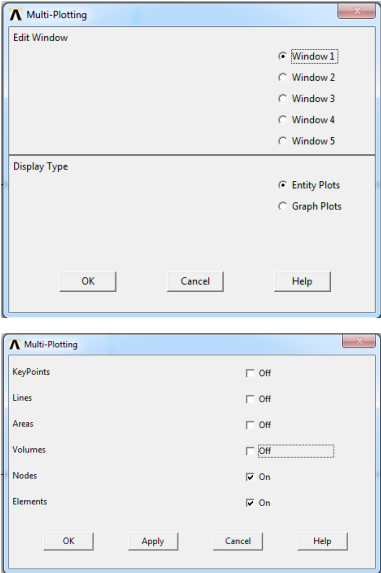
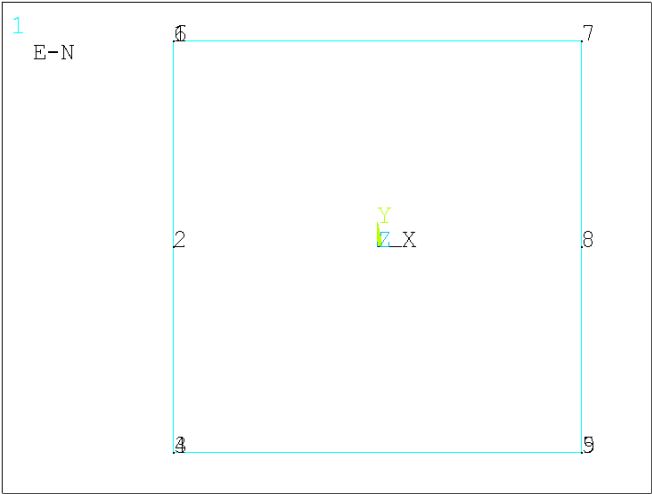
№	Действие	Результат
12	<p><i>Один участок – одна линия:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line ></p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки: 4 и 5</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
13	<p><i>Скрываем линии:</i></p> <p>U_M > Select > Entities ></p> <p>Устанавливаем "Lines" и "By Num/Pick"</p> <p>> Sele None > Cancel</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
14	<p><i>Скрываем ключевые точки:</i></p> <p>U_M > Select > Entities ></p> <p>Устанавливаем "Lines" и "By Num/Pick"</p> <p>> Sele None > Cancel</p> <p>Проверяем, действительно ли все ключевые точки скрыты</p> <p>U_M > List > Keypoint > Coordinates only</p> <p>В появившемся окне читаем: «No keypoint to list».</p>	

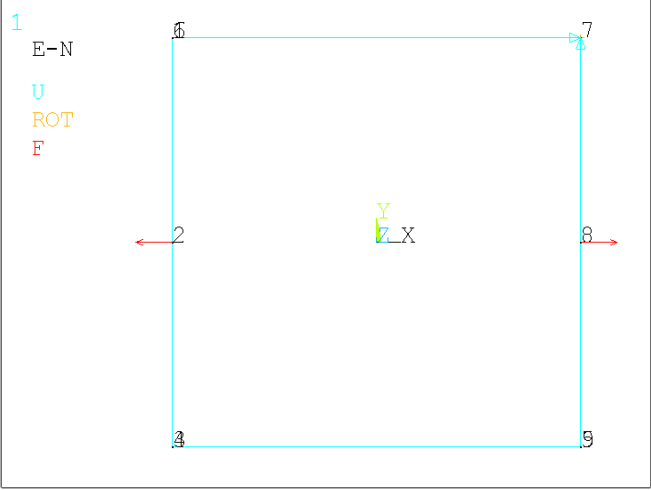
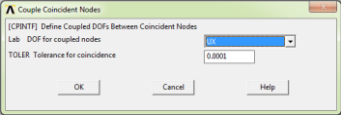
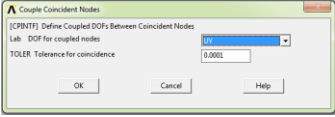
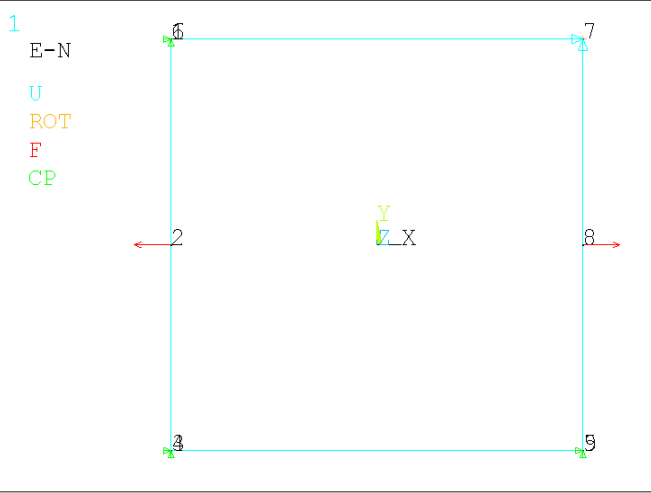
№	Действие	Результат																				
	<p>Правая верхняя часть рамы:</p> 																					
15	<p>Ключевые точки – границы участков: $A''' \rightarrow 6$, $B \rightarrow 7$, $C \rightarrow 8$ и $D''' \rightarrow 9$:</p> <p>M_M> Preprocessor> Modeling> Create> Keypoints> In Active CS> NPT пишем 6 X,Y,Z пишем $-l, l, 0$ > Apply > NPT пишем 7 X,Y,Z пишем $l, l, 0$ > Apply > NPT пишем 8 X,Y,Z пишем $l, 0, 0$ > Apply > NPT пишем 9 X,Y,Z пишем $l, -l, 0$ > ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>При необходимости используйте кнопку автомасштабирования: </p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Keypoint Number</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6</td> <td>-l</td> <td>l</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>l</td> <td>l</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>l</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>l</td> <td>-l</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Keypoint Number	X	Y	Z	6	-l	l	0	7	l	l	0	8	l	0	0	9	l	-l	0
Keypoint Number	X	Y	Z																			
6	-l	l	0																			
7	l	l	0																			
8	l	0	0																			
9	l	-l	0																			

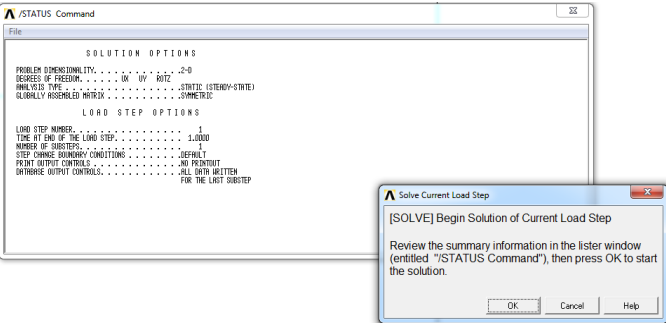
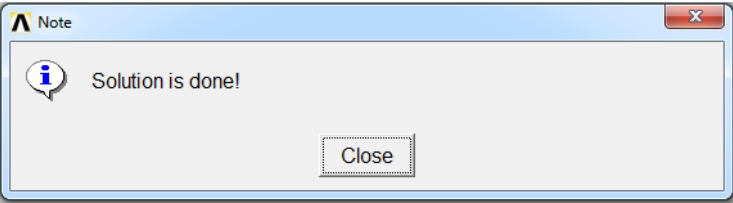
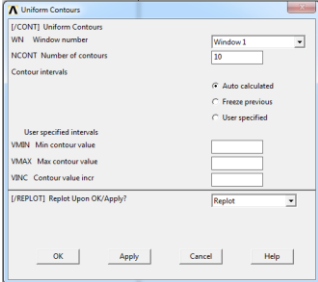
№	Действие	Результат
16	<p><i>Три участка – три линии:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line ></p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки:</p> <p>6 и 7 7 и 8 8 и 9 > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	 <p>The screenshot shows a 2D plot with a coordinate system (X, Y, Z) centered at the origin. Three lines are drawn: L4 (blue) connects keypoints 6 and 7; L5 (magenta) connects keypoints 7 and 8; L6 (green) connects keypoints 8 and 9. The keypoints are labeled as follows: 6 at the top left, 7 at the top right, 8 at the middle right, and 9 at the bottom right. The text 'L-K' is visible in the top left corner of the plot area.</p>
17	<p><i>Внешняя сосредоточенная сила:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 8 ключевую точку > OK ></p> <p>Lab установить "FX"</p> <p>VALU пишем F</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	 <p>The screenshot shows the same 2D plot as in step 16. A force 'F' (indicated by a red arrow) is applied at keypoint 8, pointing along the positive X-axis. The coordinate system (X, Y, Z) and the lines (L4, L5, L6) are the same as in the previous step.</p>

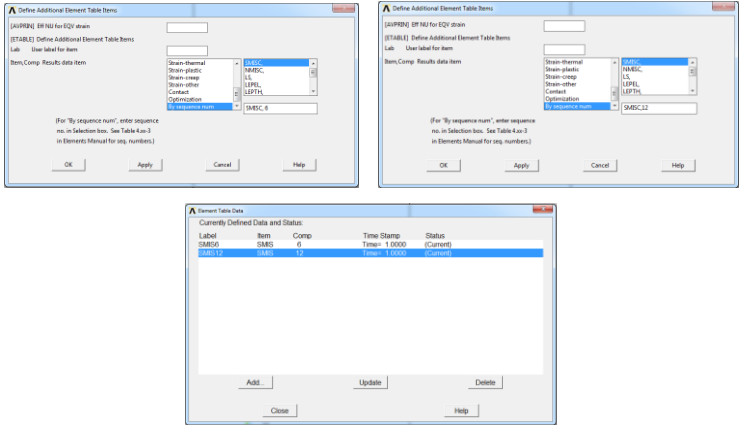
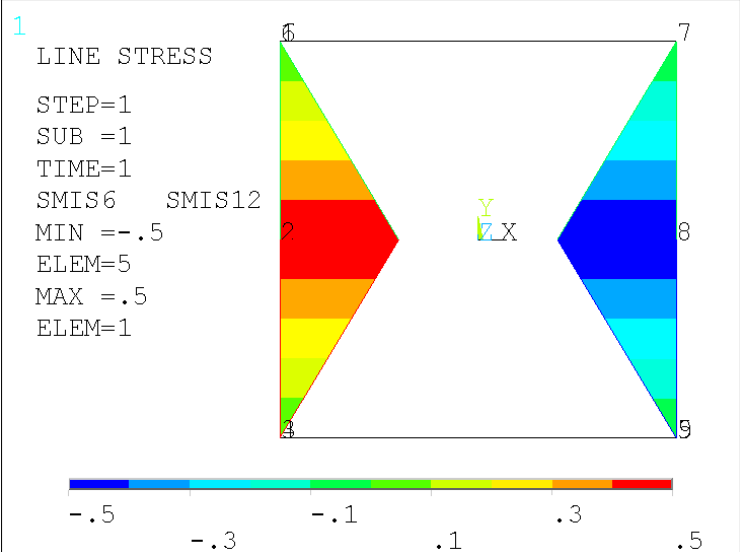
№	Действие	Результат
	<p>Все части рамы:</p> 	
18	<p><i>Выделяем всё, что сделано:</i></p> <p>U_M > Select > Everything</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M > Plot > Multi-Plots</p>	
19	<p><i>Заделка в точке B для исключения кинематической изменяемости системы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на 7 ключевую точку</p> <p>> OK ></p> <p>Lab2 отметить "ALL DOF"</p> <p>> OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	



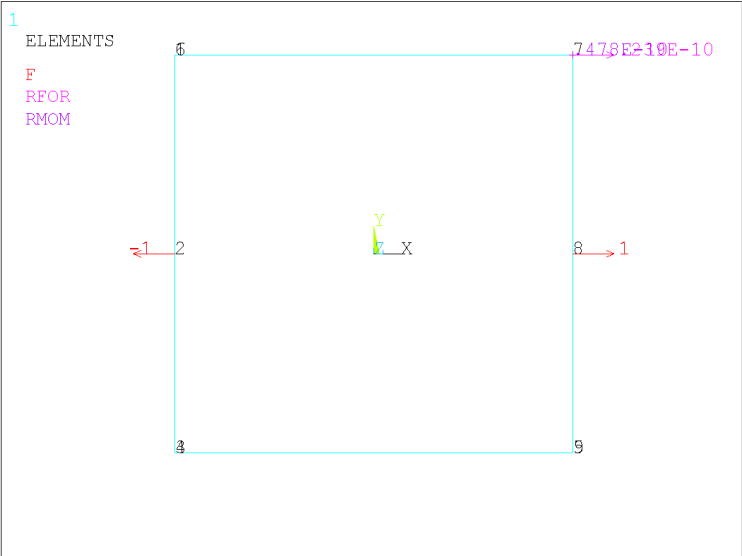
№	Действие	Результат
Конечноэлементная модель		
20	<p><i>Указываем материал, реальные константы и тип элементов:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > All Lines > MAT установить "1" REAL установить "1" TYPE установить "1 BEAM3" > OK</p>	
21	<p><i>Участки без распределённых нагрузок можно битть одним конечным элементом:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Lines > All Lines > NDIV пишем 1 > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	



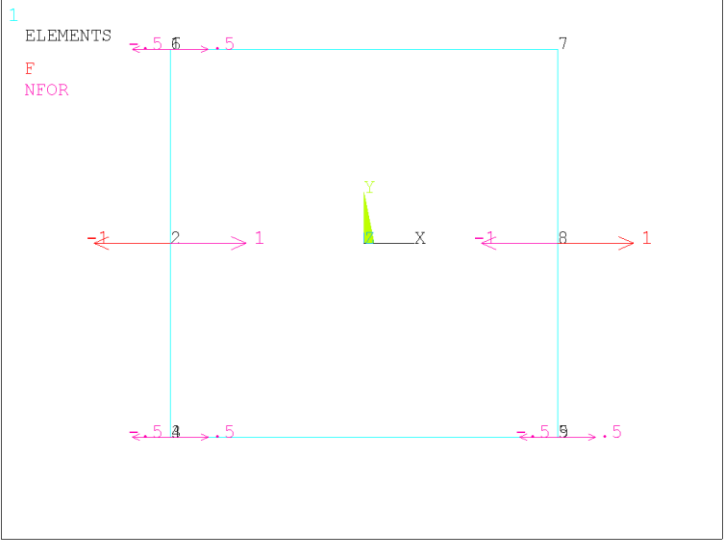
№	Действие	Результат
22	<p><i>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Multi-Plot Controls... > Появляется первое окно Multi-Plotting > OK > Появляется второе окно Multi-Plotting > Оставляем в нём отметки только напротив Nodes и Elements > OK</p>	
23	<p><i>Рабиваем линии на элементы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Pick All</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Бирюзовым цветом изображены балочные элементы. Чёрные точки – это их узлы.</p>	

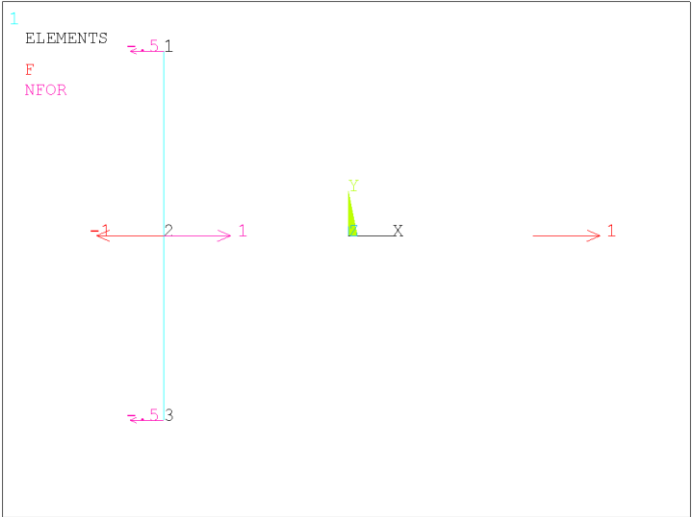
№	Действие	Результат
24	<p><i>Переносим на конечноэлементную модель нагрузки и закрепления с модели твердотельной:</i></p> <p>M_M > Loads > Define Loads > Operate > Transfer to FE > All Solid Lds > OK</p>	
25	<p><i>Связывание линейных степеней свободы узлов в шарнирах:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Coupling/Seqn > Coincident Nodes > lab установить "UX" TOLER оставьте по умолчанию "0.0001" > OK</p>  <p>M_M > Preprocessor > Coupling/Seqn > Coincident Nodes > lab установить "UY" TOLER оставьте по умолчанию "0.0001" > OK</p>  <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p>	

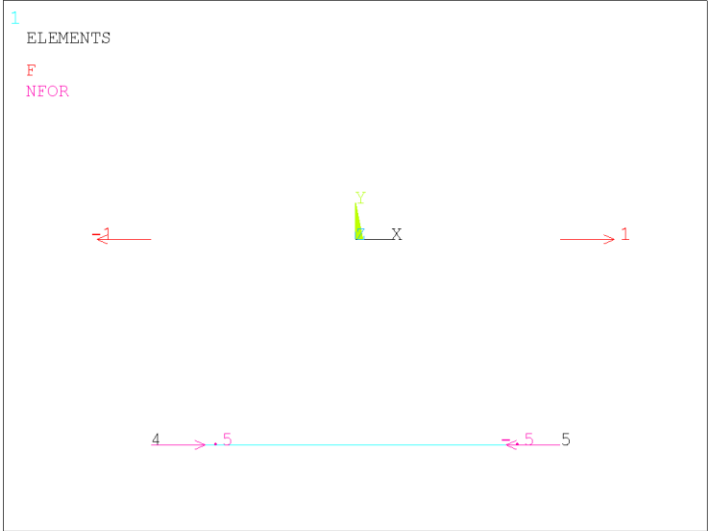
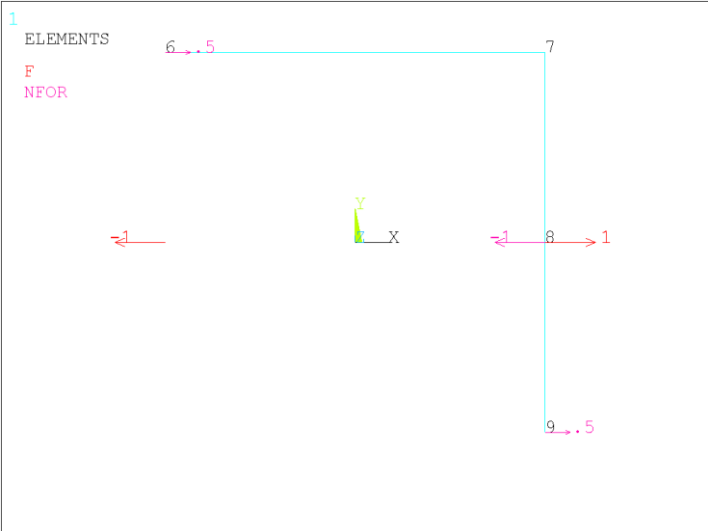
№	Действие	Результат
Расчёт		
26	<p><i>Запускаем расчёт:</i></p> <pre>M_M > Solution > Solve > Current LS</pre> <p>Синхронно появляются два окна: белое информационное и серое исполнительное. Белое закрываем, на сером нажимаем ОК.</p> <p>Расчёт пошёл.</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p> <p>Расчёт окончен.</p>	 
Просмотр результатов расчёта		
27	<p><i>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</i></p> <pre>U_M > PlotCtrls > Style > Contours > Uniform Contours > NCONT пишем 10</pre> <p>> ОК</p>	

№	Действие	Результат										
28	<p><i>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "6" > Apply > "By sequence num", "SMISC,", "12" > OK > > Close</p> <p>Закрываем таблицу результатов: Close</p>	 <table border="1" data-bbox="1556 448 1928 671"> <thead> <tr> <th>Label</th> <th>Item</th> <th>Comp</th> <th>Time Stamp</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SMIS17</td> <td>SMISC</td> <td>17</td> <td>Time = 1.0000</td> <td>(Current)</td> </tr> </tbody> </table>	Label	Item	Comp	Time Stamp	Status	SMIS17	SMISC	17	Time = 1.0000	(Current)
Label	Item	Comp	Time Stamp	Status								
SMIS17	SMISC	17	Time = 1.0000	(Current)								
29	<p><i>Прорисовка эпюры внутреннего изгибающего момента:</i></p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > LabI установить "SMIS6" LabJ установить "SMIS12" Fact пишем 1 > OK</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1а</i>. (только числа, выделенные синим цветом). Значения показывает цветовая шкала.</p> <p>Можете рисунок эпюры сделать крупнее: коэффициент Fact установите 2 или 3.</p>	 <p>1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=1 SMIS6 SMIS12 MIN =-.5 MAX =.5 ELEM=1</p> <p>Color scale: -0.5, -0.3, -0.1, 0.1, 0.3, 0.5</p>										

№	Действие	Результат
30	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M > Plot > Elements</p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous"</p> <p>Surface Load Symbols устанавливаем Pressures</p> <p>Show pres and convect as устанавливаем Arrows</p> <p>> OK ></p> <p>В окне "Applied Boundary Conditions"</p> <p>U установить "Off"</p> <p>Rot установить "Off"</p> <p>F установить "Symbol+Value"</p> <p>M установить "Symbol+Value"</p> <p>> OK ></p> <p>В окне "Reactions"</p> <p>NFOR установить "Off"</p> <p>NMOM установить "Off"</p> <p>RFOR установить "Symbol+Value"</p> <p>RMOM установить "Symbol+Value"</p> <p>> OK ></p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Elements</p> <p>При необходимости корректируйте масштаб кнопками  или .</p> <p>Реактивные силы и моменты в заделке точки B практически равны нулю ($\sim 10^{-10}$). Так и должно быть в данной задаче: система внешних сил взаимно уравновешена, закрепление нужно лишь для того, чтобы механическая система формально не являлась механизмом.</p>	 <p>1</p> <p>ELEMENTS</p> <p>7.478E-10</p> <p>F</p> <p>RFOR</p> <p>RMOM</p>

№	Действие	Результат
31	<p><i>Усилия в шарнирах:</i></p> <p>U_M > Plot > Elements</p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous"</p> <p>Surface Load Symbols устанавливаем Pressures</p> <p>Show pres and convect as устанавливаем Arrows</p> <p>> OK ></p> <p>В окне "Applied Boundary Conditions"</p> <p>U установить "Off"</p> <p>Rot установить "Off"</p> <p>F установить "Symbol+Value"</p> <p>M установить "Symbol+Value"</p> <p>> OK ></p> <p>В окне "Reactions"</p> <p>NFOR установить "Symbol+Value"</p> <p>NMOM установить "Off"</p> <p>RFOR установить "Off"</p> <p>RMOM установить "Off"</p> <p>> OK ></p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Elements</p> <p>При необходимости корректируйте масштаб кнопками  или .</p> <p>Мы видим силы, с которыми конечные элементы действуют на свои узлы. То есть, силы, <i>противоположные по направлению</i> реакциям в шарнирах, изображённым на рис. 1б. Но, поскольку они попарно равны, на общем рисунке это незаметно.</p>	

№	Действие	Результат
32	<p><i>Левая часть рамы:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>Выделяем мышью (левая кнопка) конечные элементы левой части:</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>Последовательно кликаем левой кнопкой мыши на оба элемента.</p> <p>> ОК</p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>Напоминаю: силы в узлах 1 и 3, которые вы видите (начерчены малиновым цветом), равны по модулю и <i>противоположны</i> по направлению реакциям в соответствующих шарнирах – точках А' и G' (рис. 1б.). К сожалению посмотреть можно только так.</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M > Select > Everything</p>	

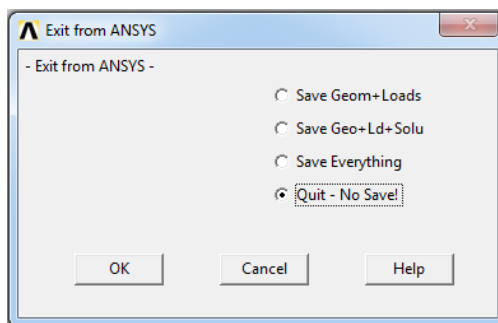
№	Действие	Результат
33	<p><i>Нижняя часть рамы:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>Выделяем мышью (левая кнопка) нужные конечные элементы: U_M > Select > Entities > Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick" Селектор на "From Full" > OK</p> <p>Последовательно кликаем левой кнопкой мыши на элемент. > OK</p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>Видим силы в узлах 4 и 5 равные по модулю и <i>противоположные</i> по направлению реакциям в точках G'' и D'' (рис. 1б.).</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M > Select > Everything</p>	
34	<p><i>Верхняя левая часть рамы:</i></p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>Выделяем мышью (левая кнопка) нужные конечные элементы: U_M > Select > Entities > Устанавливаем "Elements" и "By Num/Pick" Селектор на "From Full" > OK</p> <p>Последовательно кликаем на каждый из трёх элементов. > OK</p> <p>Прорисовываем: U_M > Plot > Replot</p> <p>Видим силы в узлах 6 и 9 равные по модулю и <i>противоположные</i> по направлению реакциям в точках A''' и D''' (рис. 1б.).</p> <p>Выделяем всё, что есть: U_M > Select > Everything</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.