

## L-07 (ANSYS)

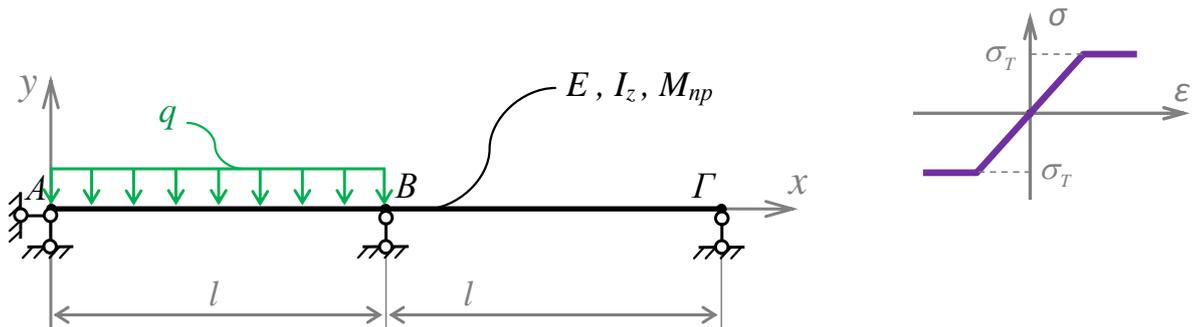
### Формулировка задачи:

*Дано:* Статически неопределимая балка постоянной жёсткости с шарнирными опорами нагружена распределённым поперечным усилием  $q$ .

$E$  – модуль упругости материала;

$I_z$  – изгибный момент инерции;

$M_{np} = M_L$  – предельный внутренний изгибающий момент.



*Требуется:* Определить предельное значение параметра нагрузки  $q_{np}$  и форму потери балкой несущей способности.

Аналитический расчёт (см. [L-07](#)) показывает следующее предельное состояние:

$$q_{np} = 11,66 \cdot \frac{M_L}{l^2}$$

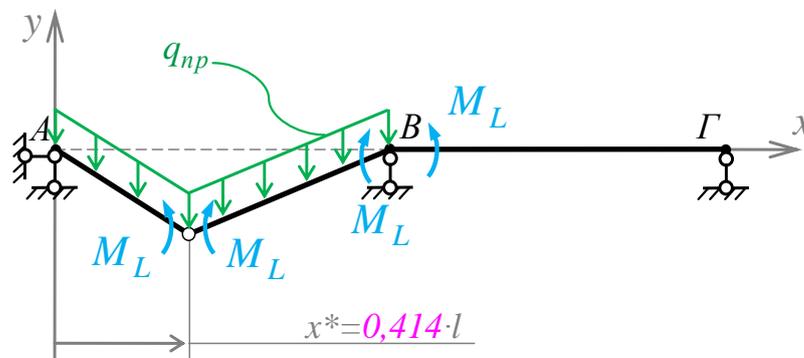
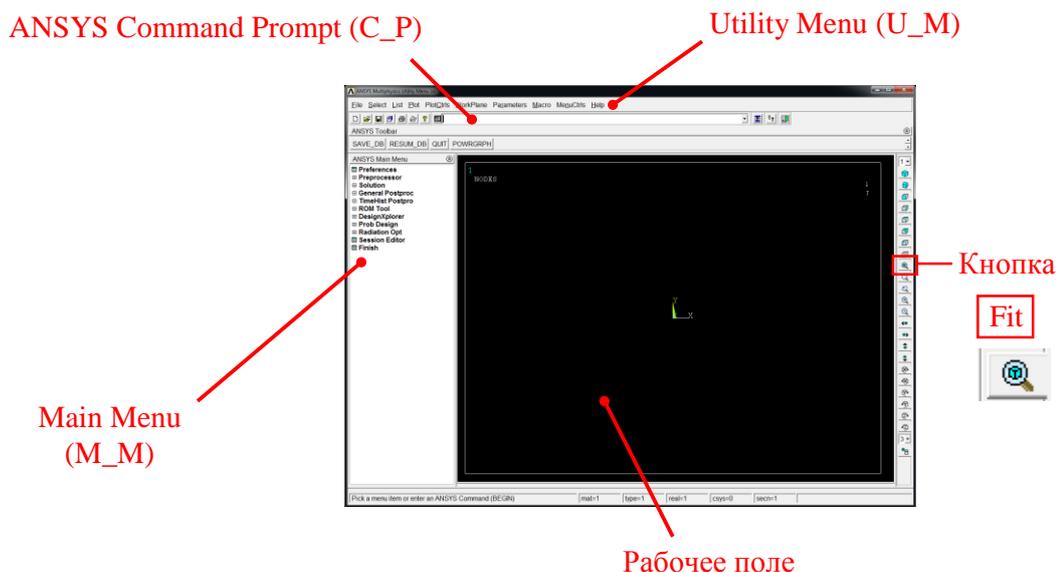


Рис. 1.

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multyphysics получить это же значение предельной нагрузки и эту же форму потери несущей способности.

### 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:

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

```
Отметить KP, LINE ;
```

```
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 >
```

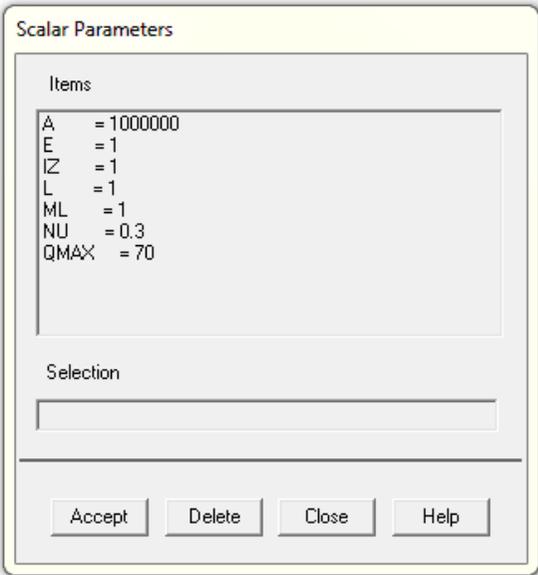
```
Установить «Размер» на «22»> OK
```

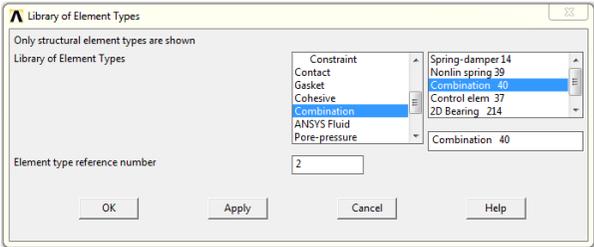
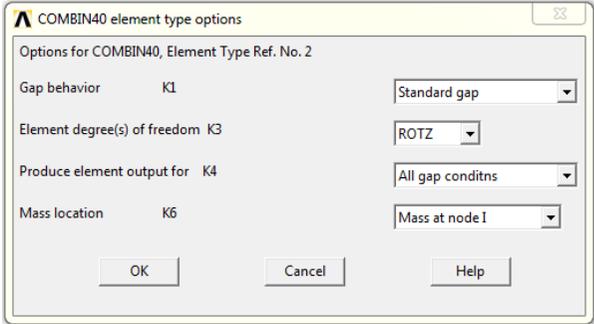
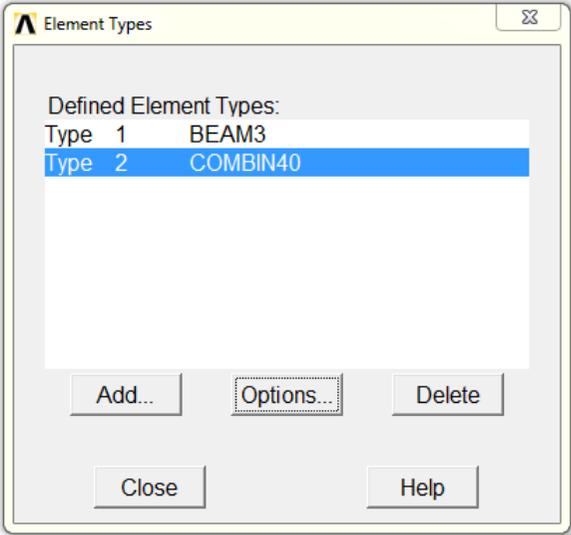
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

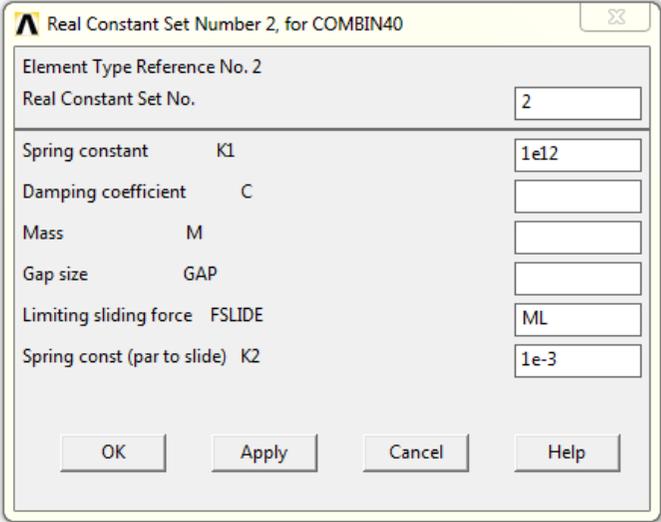
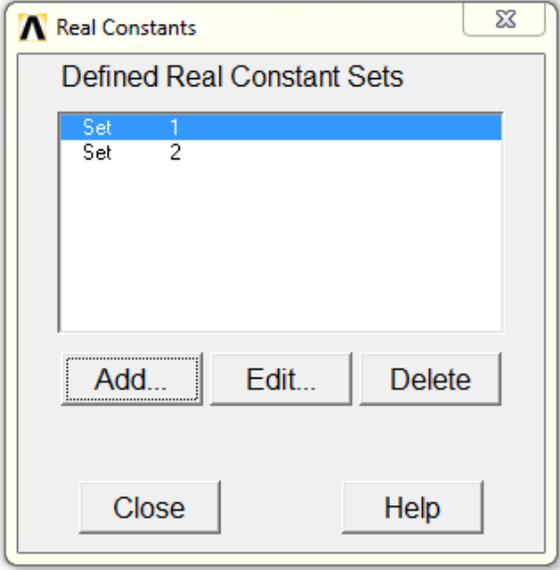
Решение задачи Приравняв  $M_L$  и  $l$  к единице, результат получим в виде числа, обозначенного на *рис. 1*. сиреневым цветом.

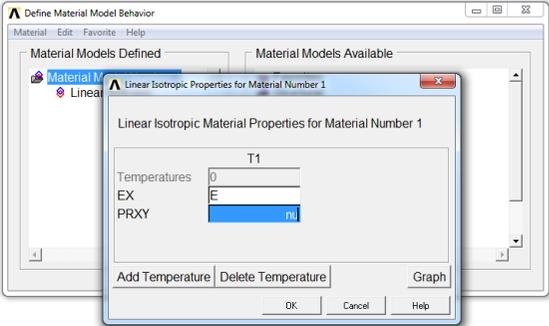
Конкретные значения модуля упругости  $E$ , площади поперечного сечения  $A$ , изгибного момента инерции сечения  $I_z$  и коэффициента Пуассона  $\nu$  на результат не влияют, они просто должны быть ненулевыми. Но  $A$  формально зададим существенно больше  $I_z$  для того, чтобы гнулся стержень легче, чем растягивался.

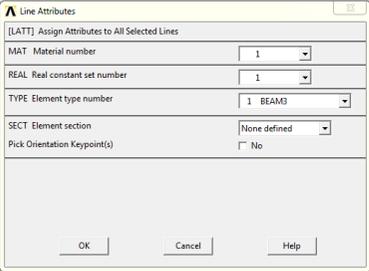
Диапазон поиска предельной нагрузки  $q_{np}$  должен заведомо содержать её значение. Ориентируемся на значение  $q_{np}$ , вычисленное аналитически:  $11,66 \cdot \frac{M_L}{l^2}$ . Диапазон поиска  $q_{np}$  выбираем в несколько раз больший, с верхней границей  $q_{max} = 70 \cdot \frac{M_L}{l^2}$ . Нижняя граница диапазона поиска – нуль.

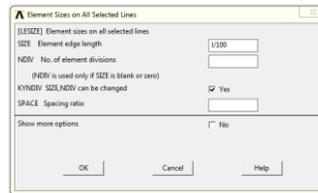
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <pre> U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt; ML=1 &gt; Accept &gt; l=1 &gt; Accept &gt; E=1 &gt; Accept &gt; nu=0.3 &gt; Accept &gt; A=1e6 &gt; Accept &gt; Iz=1 &gt; Accept &gt; qmax=70*ML/l**2 &gt; Accept &gt; &gt; Close </pre>	

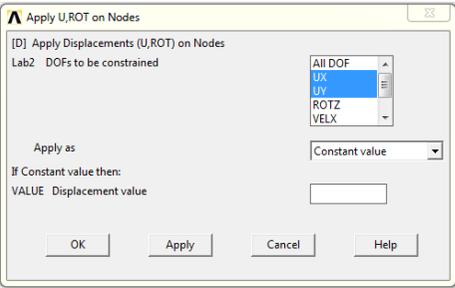
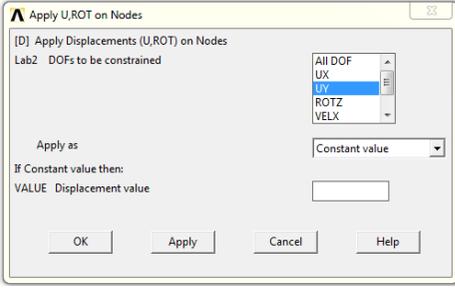
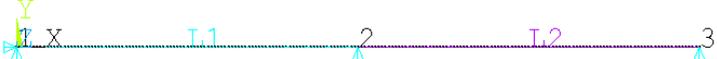
№	Действие	Результат
2	<p>Таблица конечных элементов:</p> <p>Плоский балочный BEAM3:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor  C_P &gt; ET,1, BEAM3 &gt; <b>Enter</b></p> <p>Пластический шарнир COMBIN40:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Element Type &gt; Add/Edit/Delete &gt; Add &gt;  В левом поле выбрать "Combination"  В правом поле выбрать "Combination 40"  Element type reference number пишем 2  &gt; OK &gt;</p>  <p>Мышью в окне Element Types выбираем строчку COMBIN40  &gt; Options... &gt;  В графе K3 выбираем "ROTZ"  &gt; OK &gt;  &gt; Close</p> 	

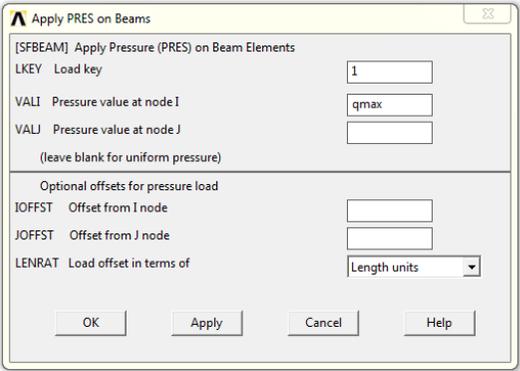
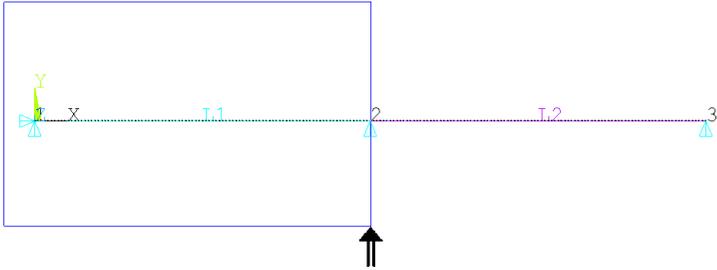
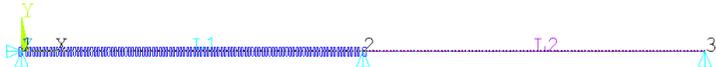
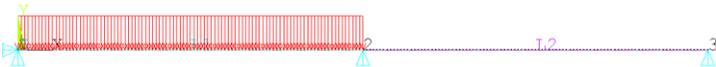
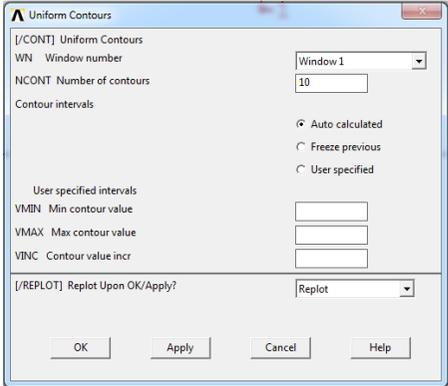
№	Действие	Результат
3	<p>Таблица реальных констант:</p> <p>Первая строчка - набор реальных констант для балочного элемента: площадь поперечного сечения <math>A</math>; момент инерции <math>I_z</math>; высота поперечного сечения <math>l/100</math>.</p> <p><math>C\_P &gt; R, 1, A, I_z, L/100 &gt; \text{Enter}</math></p> <p>Вторая строчка - набор реальных констант для пластического шарнира: высокая жёсткость <math>K_1</math> [<math>H \cdot m / \text{радиан}</math>] до достижения предельного момента и предельный момент <math>M_L</math> в качестве «трения скольжения»; для формального исключения появления механизма после образования второго пластического шарнира устанавливаем дополнительную маленькую угловую жёсткость <math>K_2</math> [<math>H \cdot m / \text{радиан}</math>]:</p> <p><math>M\_M &gt; \text{Preprocessor} &gt; \text{Real Constants} &gt; \text{Add/Edit/Delete} &gt; \text{Add}</math>          Выбрать строчку COMBIN40          &gt; OK &gt;          В графе <math>K_1</math> пишем <math>1e12</math>          В графе FSLIDE пишем <math>M_L</math>          В графе <math>K_2</math> пишем <math>1e-3</math>          &gt; OK &gt;          &gt; Close</p> 	

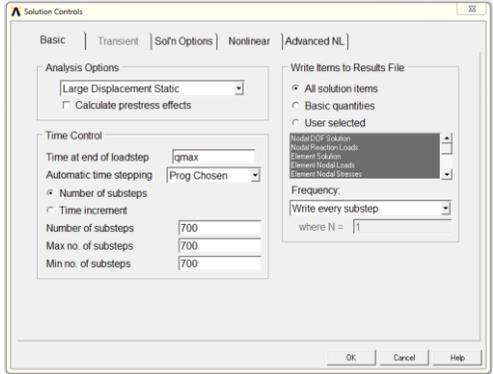
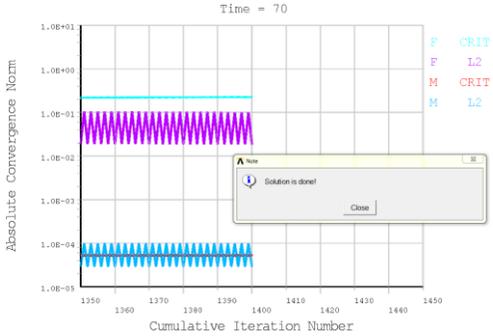
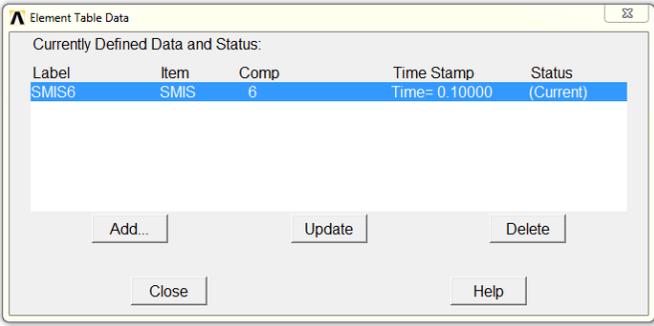
№	Действие	Результат
4	<p><i>Свойства материала стержня – модуль упругости и коэффициент Пуассона:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Material Props &gt; Material Models &gt; Structural &gt; Linear &gt; Elastic &gt; Isotropic &gt;</p> <p>В окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu"</p> <p>&gt; OK</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
<b>Твердотельная модель</b>		
5	<p><i>Ключевые точки – границы участков: A → 1, B → 2 и Γ → 3</i></p> <p>M_M&gt; Preprocessor&gt; Modeling&gt; Create&gt; Keypoints&gt; In Active CS&gt;</p> <p>NPT пишем 1</p> <p>X, Y, Z пишем 0, 0, 0</p> <p>&gt; Apply &gt;</p> <p>NPT пишем 2</p> <p>X, Y, Z пишем l, 0, 0</p> <p>&gt; Apply &gt;</p> <p>NPT пишем 3</p> <p>X, Y, Z пишем 2*l, 0, 0</p> <p>&gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p>	

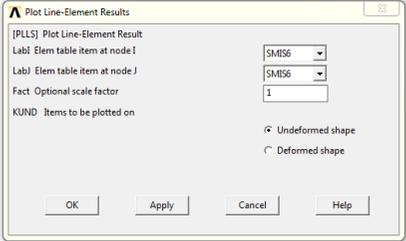
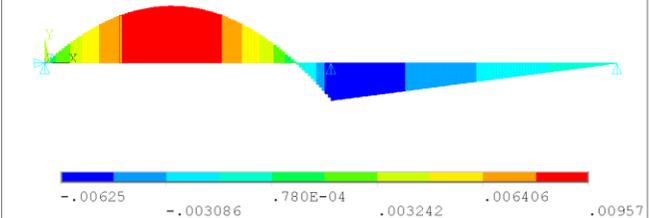
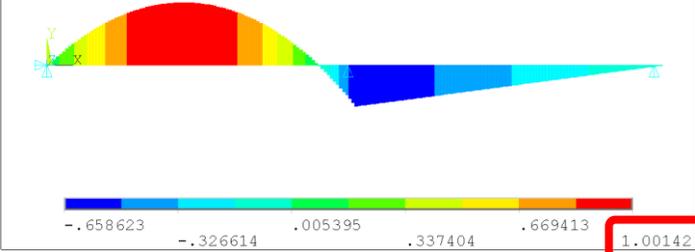
№	Действие	Результат
6	<p><i>Два участка – две линии:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Lines &gt; Lines &gt; Straight Line &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши последовательно нажать на ключевые точки: 1 и 2 2 и 3 &gt; ОК</p>	
<b>Конечноэлементная модель</b>		
7	<p><i>Атрибуты разбиения линиям - материал, реальные константы и тип элементов:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh Attributes &gt; All Lines &gt;</p> <p>MAT установить "1" REAL установить "1" TYPE установить "1 BEAM3" &gt; ОК</p>	
8	<p><i>Участки без распределённых нагрузок можно бить одним конечным элементом: Но нам понадобятся короткие балочные конечные элементы, каждый из которых можно превратить в пластический шарнир:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Size Cntrls &gt;</p> <p>&gt; ManualSize &gt; Lines &gt; All Lines &gt; ОК</p> <p>В графе SIZE пишем 1/100 &gt; ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

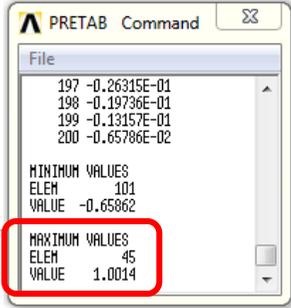
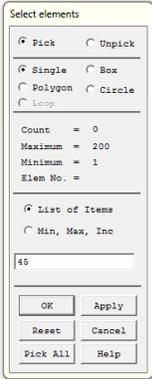
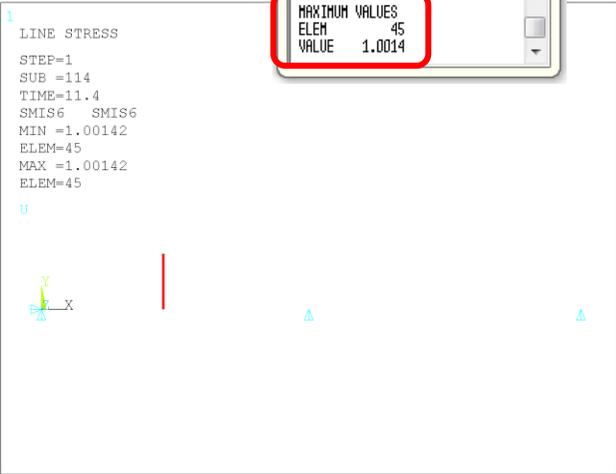


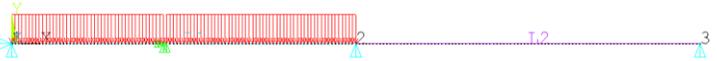
№	Действие	Результат
9	<p><i>Рабиваем линии на элементы:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh &gt; Lines &gt; Pick All</p> <p>Показываем обе модели, твердотельную и конечноэлементную:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
10	<p><i>Опоры:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; &gt; Structural &gt; Displacement &gt; On Nodes &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на узел в ключевой точке 1 &gt; OK &gt;</p> <p>Lab2 установить "UX"</p> <p>Lab2 установить "UY"</p> <p>&gt; Apply &gt;</p>  <p>Левой кнопкой мыши нажать на узлы в ключевых точках 2 и 3 &gt; OK &gt;</p> <p>Lab2 установить "UY"</p> <p>&gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	

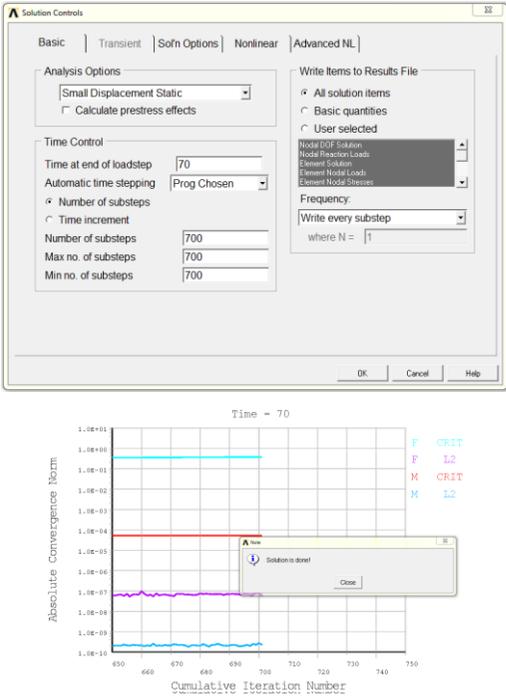
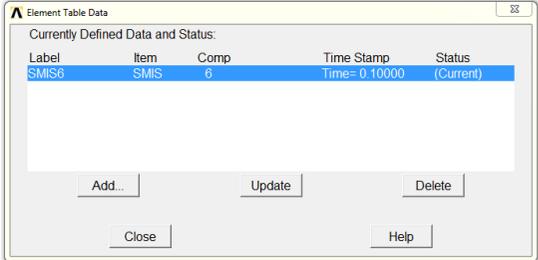
№	Действие	Результат
11	<p><i>Распределённая нагрузка:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt;            &gt; Structural &gt; Pressure &gt; On Beams &gt;</p> <p>Селектор появившегося окошка Apply PRES on Beams устанавливаем в положение "Box"</p> <p>Левой кнопкой мыши растянуть прямоугольник, в который попадают все конечные элементы линии L1</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>VALI qmax</p> <p>&gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>  	  
12	<p><i>Цветовая шкала будет состоять из десяти цветов:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Contours &gt; Uniform Contours &gt;</p> <p>NCONT пишем 10</p> <p>&gt; OK</p>	

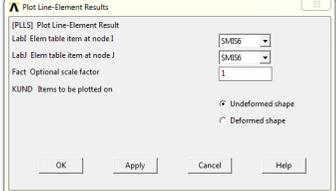
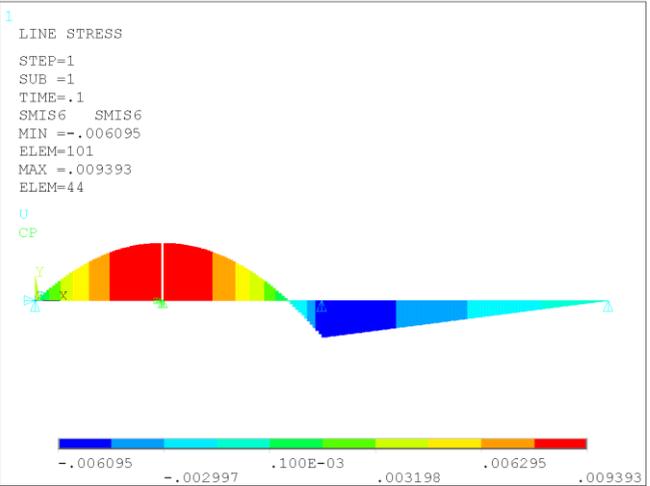
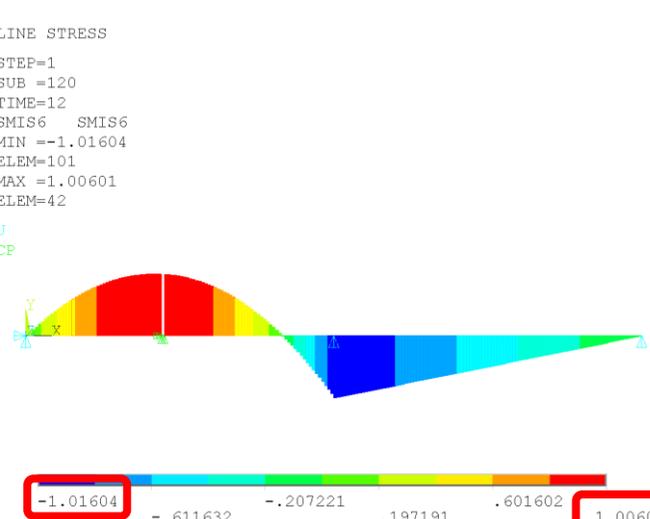
№	Действие	Результат
<b>Предварительное определение положения первого пластического шарнира</b>		
<b>13</b>	<p><i>Расчёт упругой балки при возрастающей нагрузке:</i></p> <p>Производим 700 расчётов упругой балки под нагрузкой <math>q</math>, которая равномерно увеличивается от 0 до <math>q_{max}</math></p> <p>M_M &gt; Solution &gt; Analysis Type &gt; Sol'n Controls</p> <p>В графе Analysis Options выбираем Large Displacement Static</p> <p>В графе Time at end of loadstep пишем <math>q_{max}</math></p> <p>Левый селектор ставим на Number of substeps</p> <p>В графе Number of substeps пишем 700</p> <p>В графе Max no. of substeps пишем 700</p> <p>В графе Min no. of substeps пишем 700</p> <p>Правый селектор ставим на All solution items</p> <p>В графе Frequency выбираем Write every substep</p> <p>&gt; OK</p> <p>Запускаем расчёт:</p> <p>M_M &gt; Solution &gt; Solve &gt; Current LS &gt; OK</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p>	 
<b>14</b>	<p><i>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента <math>M_{изг}</math> на первом шаге по нагрузке:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Read Results &gt; First Set</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Add &gt;</p> <p>В левом списке выбрать "By sequence num"</p> <p>В правом верхнем списке выбрать "SMISC,"</p> <p>В правой нижней графе пишем "SMISC,6"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>&gt; Close</p>	

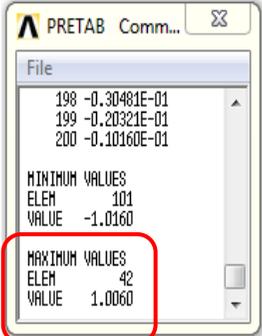
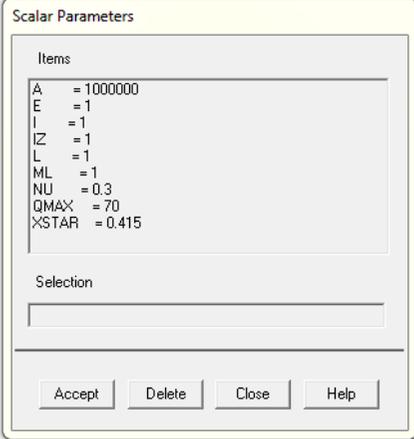
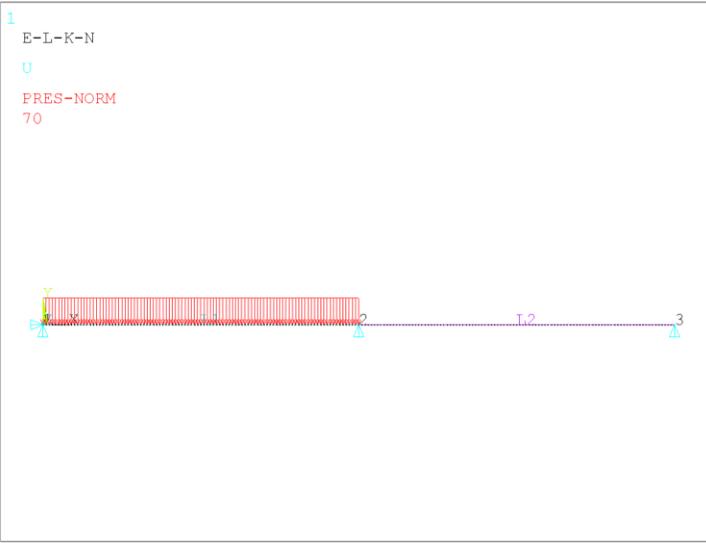
№	Действие	Результат
15	<p><i>Эпюра <math>M_{uz2}</math> на первом шаге:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; &gt; Contour Plot &gt; Line Elem Res &gt; LabI установить "SMIS6" LabJ установить "SMIS6" &gt; OK</p> <p>Некоторые символы пропадают. Восстановим их: U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt; Boundary condition устанавливаем "All Applied BCs" &gt; OK</p> <p>Эпюры будем смотреть на недеформированной форме: U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Displacement Scaling &gt; DMULT устанавливаем "0.0 (off)" &gt; OK</p>	 <pre data-bbox="1420 328 2069 810"> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=.1 SMIS6 SMIS6 MIN =-.00625 ELEM=101 MAX =.00957 ELEM=45 U </pre> 
16	<p><i>Поиск места образования первого пластического шарнира:</i></p> <p>C_P &gt; SET, NEXT \$ ETABLE, REFL \$ /REPLOT &gt; <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Enter</span></p> <p>Эпюра перерисовывается – сила <math>q</math> увеличилась (это видно по надписи Time), эпюра увеличилась тоже (это видно по цветовой шкале).</p> <p>Вводите команду «SET, NEXT \$ ETABLE, REFL \$ /REPLOT» до тех пор, пока максимальное или минимальное значение внутреннего изгибающего момента на эпюре не превысит по модулю значения <math>ML=1</math>.</p> <p>Видим: первый пластический шарнир (<math>M_{uz2}=1,00142 \cdot M_L</math>) образуется в вершине упругой параболы под распределённой нагрузкой.</p>	<pre data-bbox="1397 935 2092 1458"> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =114 TIME=11.4 SMIS6 SMIS6 MIN =-.658623 ELEM=101 MAX =1.00142 ELEM=45 U </pre> 

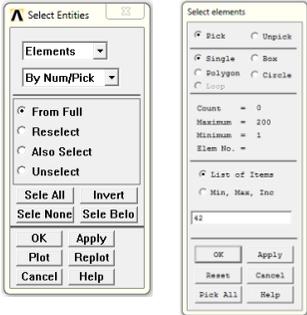
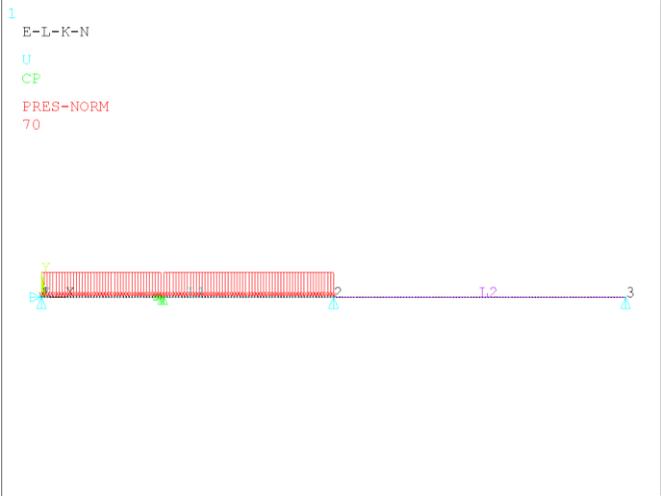
№	Действие	Результат
<b>Вставка первого пластического шарнира (первое приближение)</b>		
<b>17</b>	<p><i>Место образования первого пластического шарнира:</i></p> <p>Номер элемента с экстремальным положительным моментом:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Elem Table Data  В окне List Element Table Data отмечаем SMIS6  &gt; ОК</p> <p>Смотрим в конец списка: момент <math>-1,0014</math> реализуется в элементе №45.</p> <p>Выделим этот элемент:</p> <p>U_M &gt; Select &gt; Entities &gt;  В первой графе устанавливаем "Elements"  Во второй графе устанавливаем "By Num/Pick"  Селектор устанавливаем на "From Full"  &gt; ОК &gt;  В графе окна Select elements пишем 45  &gt; ОК</p> <p>Перерисовываем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Replot</p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =114 TIME=11.4 SMIS6 SMIS6 MIN =1.00142 ELEM=45 MAX =1.00142 ELEM=45 U </pre>   

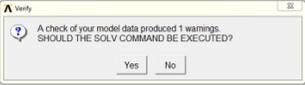
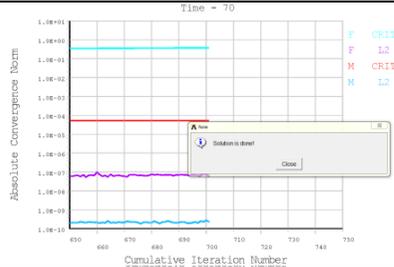
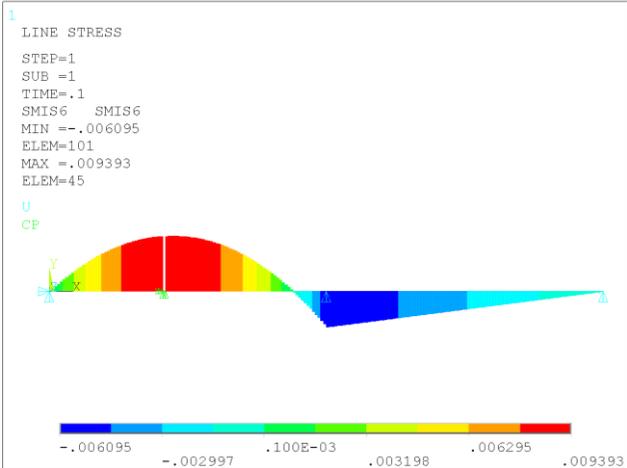
№	Действие	Результат
18	<p><i>Вместо выделенного балочного элемента устанавливаем пластический шарнир:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Move/Modify &gt;          &gt; Elements &gt; Modify Attrib &gt; Pick All          STLOC устанавливаем "Elem type TYPE"          И1 пишем 2          &gt; Apply &gt; Pick All &gt;          STLOC устанавливаем "Real const REAL"          И1 пишем 2          &gt; OK</p> <p>Узлы выделенного элемента:</p> <p>U_M &gt; Select &gt; Everything Below &gt; Selected Elements</p> <p>Связываем эти два узла по вертикали и по горизонтали. По угловому перемещению узлы уже связаны пластическим шарниром – элементом COMBIN40:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Coupling/Ceqn &gt; Couple DOFs &gt; Pick All &gt;          NSET пишем NEXT          Lab выбираем UX          &gt; Apply &gt; Pick All &gt;          NSET пишем NEXT          Lab выбираем UY          &gt; OK</p>   <p>Выделить всё: U_M &gt; Select &gt; Everything</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Изображение распределённой нагрузки пропадает. Восстановим его:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt;          [/PSF] устанавливаем "Pressures"          &gt; OK</p>	

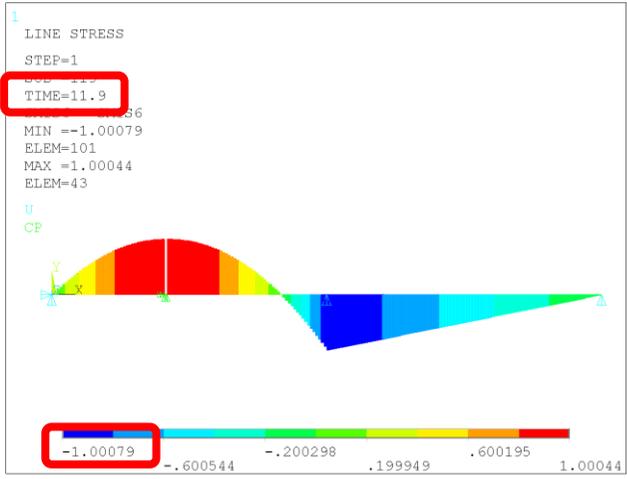
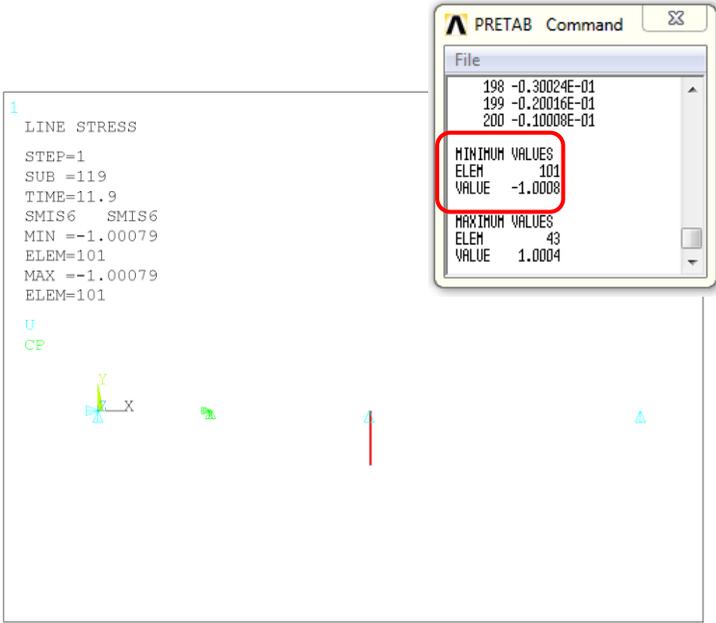
№	Действие	Результат
<p>Корректировка положения первого пластического шарнира.</p> <p>Пластические шарниры, возникшие под распределённой нагрузкой, при дальнейшем нагружении смещаются вдоль оси стержня.</p>		
19	<p><i>Расчёт балки с одним пластическим шарниром при возрастающей нагрузке:</i></p> <p>Множество расчётов ANSYS позволяет только в нелинейной задаче, поэтому в упругую балку мы привнесли геометрическую нелинейность учётом больших перемещений (опция Large Displacement Static, действие 13). Теперь нелинейность в задачу итак вносит пластический шарнир. Отказываемся от учёта больших перемещений для лучшего совпадения с результатами аналитического расчёта:</p> <p>M_M &gt; Solution &gt; Analysis Type &gt; Sol'n Controls  В графе Analysis Options выбираем Small Displacement Static &gt; OK</p> <p>Запускаем расчёт:</p> <p>M_M &gt; Solution &gt; Solve &gt; Current LS &gt; OK  В окне Verify нажмите кнопку OK</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p>	
20	<p><i>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента <math>M_x</math> на первом шаге по нагрузке:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Read Results &gt; First Set  M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Update &gt; Close</p>	

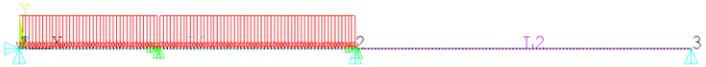
№	Действие	Результат
21	<p>Этюра на первом шаге:</p> <p>Эпюра внутреннего изгибающего момента в балке с одним пластическим шарниром:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; &gt; Contour Plot &gt; Line Elem Res &gt; LabI установить "SMIS6" LabJ установить "SMIS6" &gt; OK</p>  <p>Некоторые символы пропадают. Восстановим их:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt; Boundary condition устанавливаем "All Applied BCs" &gt; OK</p> <p>Эпюры будем смотреть на недеформированной форме:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Displacement Scaling &gt; DMULT устанавливаем "0.0 (off)" &gt; OK</p>	
22	<p>Поиск момента образования второго пластического шарнира:</p> <p>C_P &gt; SET, NEXT \$ ETABLE, REFL \$ /REPLOTT &gt; <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Enter</span></p> <p>Вводите команду «SET, NEXT \$ ETABLE, REFL \$ /REPLOTT» до тех пор, пока максимальное или минимальное значение внутреннего изгибающего момента <i>вне</i> окрестности первого пластического шарнира не превысит по модулю значения <math>ML=1</math>. То есть, до тех пор, пока в другом месте балки не появятся условия для возникновения второго пластического шарнира.</p> <p>Видим: второй пластический шарнир (<math>M_{uz2} = -1,00601 \cdot M_L</math>) наметился в срединной опоре. Но сейчас нам нужен не он. Важно: к моменту его возникновения экстремум параболы сместился левее первого пластического шарнира. Там и будет его окончательное расположение – в вершине упруго-пластической параболы.</p>	

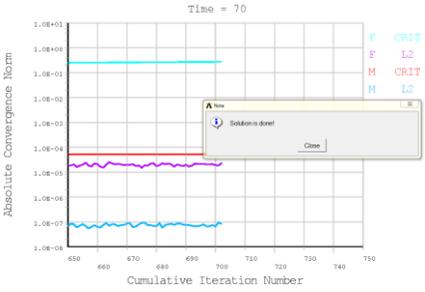
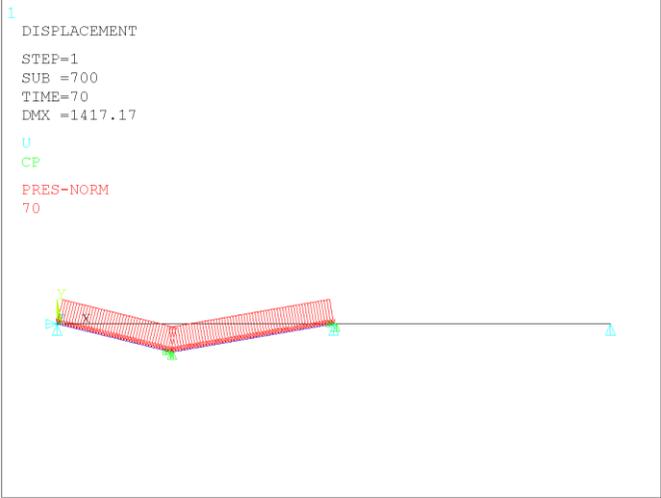
№	Действие	Результат
23	<p><i>Уточнение места образования первого пластического шарнира:</i></p> <p>Номер элемента с экстремальным положительным моментом:  M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Elem Table Data  В окне List Element Table Data отмечаем SMIS6  &gt; OK</p>  <p>Смотрим в конец списка: момент <math>1,0060</math> реализуется в элементе №42. Координата <math>x^*</math> центра тяжести этого элемента:  U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;  Xstar=centrx(42) &gt; Accept &gt;</p> <p>Координата пластического шарнира <math>x^* = 0,415 \cdot l</math>. Расхождение с результатом аналитического расчёта (рис. 1.) составляет <math>\Delta = 0,2\%</math>.  &gt; Close</p>	 
24	<p><i>Удаление старого пластического шарнира:</i></p> <p>Удаляем связи с узлами:  M_M &gt; Preprocessor &gt; Coupling/Seqn &gt; Del Coupled Sets &gt;  В графе NSET1 пишем all  &gt; OK</p>  <p>Старый шарнир снова становится балочным конечным элементом:  M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Move/Modify &gt;  &gt; Elements &gt; Modify Attrib &gt; Pick All  STLOC устанавливаем "Elem type TYPE"  I1 пишем 1  &gt; Apply &gt; Pick All &gt;  STLOC устанавливаем "Real const REAL"  I1 пишем 1  &gt; OK</p>   <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

№	Действие	Результат
25	<p><i>Первый пластический шарнир устанавливаем в новом положении – в элементе №42:</i></p> <p>Выделим этот элемент:  U_M &gt; Select &gt; Entities &gt;  Устанавливаем "Elements", "By Num/Pick"  &gt; OK &gt;  В графе окна Select elements пишем 42  &gt; OK</p> <p>Пластический шарнир в нём:  M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Move/Modify &gt; Elements &gt;  &gt; Modify Attrib &gt; Pick All  STLOC устанавливаем "Elem type TYPE"  I1 пишем 2  &gt; Apply &gt; Pick All &gt;  STLOC устанавливаем "Real const REAL"  I1 пишем 2  &gt; OK</p> <p>Узлы выделенного элемента:  U_M &gt; Select &gt; Everything Below &gt; Selected Elements</p> <p>Связываем эти два узла по вертикали и по горизонтали:  M_M &gt; Preprocessor &gt; Coupling/Ceqn &gt; Couple DOFs &gt; Pick All &gt;  NSET пишем NEXT  Lab выбираем UX  &gt; Apply &gt; Pick All &gt;  Lab выбираем UY  &gt; OK</p> <p>Выделяем всё: U_M &gt; Select &gt; Everything  Перерисовываем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Replot</p>	 

№	Действие	Результат
<b>Поиск второго пластического шарнира</b>		
26	<p><i>Расчёт балки с одним пластическим шарниром при возрастающей нагрузке:</i></p> <p>M_M &gt; Solution &gt; Solve &gt; Current LS &gt; OK</p> <p>В окне Verify нажмите кнопку OK</p> <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p> 	
27	<p><i>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента на первом шаге по нагрузке:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Read Results &gt; First Set</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Update &gt; Close</p>	
28	<p><i>Эпюра на первом шаге:</i></p> <p>Эпюра внутреннего изгибающего момента в балке с одним пластическим шарниром:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Contour Plot &gt; Line Elem Res &gt;</p> <p>LabI установить "SMIS6"</p> <p>LabJ установить "SMIS6"</p> <p>&gt; OK</p> <p>Некоторые символы пропадают. Восстановим их:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt; Boundary condition устанавливаем "All Applied BCs"</p> <p>&gt; OK</p> <p>Эпюры будем смотреть на недеформированной форме:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Displacement Scaling &gt; DMULT устанавливаем "0.0(off)"</p> <p>&gt; OK</p>	 <pre> 1 LINE STRESS STEP=1 SUB =1 TIME=.1 SMIS6 SMIS6 MIN =-.006095 ELEM=101 MAX =.009393 ELEM=45 U CP </pre>

№	Действие	Результат
29	<p>Нагрузка образования второго пластического шарнира:</p> <p><code>C_P &gt; SET, NEXT \$ ETABLE, REFL \$ /REPLOTT &gt; <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Enter</span></code></p> <p>Вводите команду «<code>SET, NEXT \$ ETABLE, REFL \$ /REPLOTT</code>» до тех пор, пока максимальное или минимальное значение внутреннего изгибающего момента вне первого пластического шарнира не превысит по модулю значения <math>M_L=1</math>.</p> <p>Видим: второй пластический шарнир (<math>M_{изг}=-1,00079 \cdot M_L</math>) образуется в срединной опоре при значении внешней нагрузки:</p> $q_{np} = 11,9 \cdot \frac{M_L}{l^2}$ <p>Расхождение с результатом аналитического расчёта (см. <i>рис. 1.</i>) составляет <math>\Delta=2\%</math>.</p>	
<b>Вставка второго пластического шарнира</b>		
30	<p>Место образования второго пластического шарнира:</p> <p>Номер элемента с экстремальным отрицательным моментом:</p> <p><code>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Elem Table Data</code></p> <p>В окне List Element Table Data отмечаем SMIS6 &gt; OK</p> <p>Момент -1.0008 реализуется в элементе №101.</p> <p>Выделим этот элемент:</p> <p><code>U_M &gt; Select &gt; Entities &gt;</code></p> <p>В первой графе устанавливаем "Elements"</p> <p>Во второй графе устанавливаем "By Num/Pick"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>В графе окна Select elements пишем 101</p> <p>&gt; OK</p> <p>Перерисовываем изображение: <code>U_M &gt; Plot &gt; Replot</code></p>	

№	Действие	Результат
31	<p><i>Вместо выделенного балочного элемента устанавливаем второй пластический шарнир:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Move/Modify &gt; &gt; Elements &gt; Modify Attrib &gt; Pick All STLOC устанавливаем "Elem type TYPE" I1 пишем 2 &gt; Apply &gt; Pick All &gt; STLOC устанавливаем "Real const REAL" I1 пишем 2 &gt; OK</p> <p>Узлы выделенного элемента: U_M &gt; Select &gt; Everything Below &gt; Selected Elements</p> <p>Связываем эти два узла по вертикали и по горизонтали. По угловому перемещению узлы уже связаны пластическим шарниром – элементом COMBIN40:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Coupling/Ceqn &gt; Couple DOFs &gt; Pick All &gt; NSET пишем NEXT Lab выбираем UX &gt; Apply &gt; Pick All &gt; NSET пишем NEXT Lab выбираем UY &gt; OK</p> <p>Выделить всё: U_M &gt; Select &gt; Everything</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Изображение распределённой нагрузки пропадает. Восстановим его: U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt; [/PSF] устанавливаем "Pressures" &gt; OK</p>	    

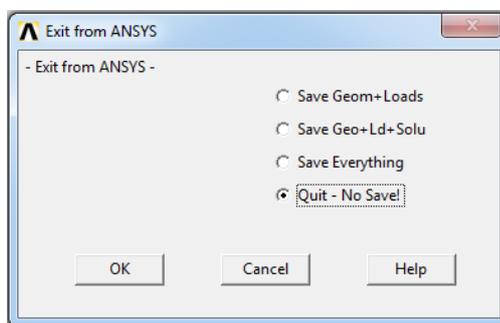
№	Действие	Результат
<b>Форма потери несущей способности</b>		
32	<p><i>Расчёт балки с двумя пластическими шарнирами при возрастающей до <math>q_{max}</math> нагрузке:</i></p> <p>M_M &gt; Solution &gt; Solve &gt; Current LS &gt; OK</p> <p>В окне Verify нажмите кнопку OK</p>  <p>Когда он закончится, появится окно «Solution is done!». Закройте это окно.</p>	
33	<p><i>Форма оси нагруженной балки на последнем шаге нагружения:</i></p> <p>Результаты расчёта на инальном шаге по нагрузке:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Read Results &gt; Last Set</p> <p>Масштаб перемещений выбирается автоматически:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Displacement Scaling &gt; DMULT устанавливаем "Auto calculated" &gt; OK</p> <p>Прорисовывать деформированную и недеформированную формы:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; &gt; Deformed Shape &gt;</p> <p>KUND установить Def + undeformed &gt; OK</p>   <p>Некоторые символы пропадают. Восстановим их:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt;</p> <p>Boundary condition устанавливаем "All Applied BCs"</p> <p>[/PSF] устанавливаем "Pressures"</p> <p>&gt; OK</p>	 <p>Явное совпадение с формой потери несущей способности, показанной на <i>рис. 1</i>.</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.