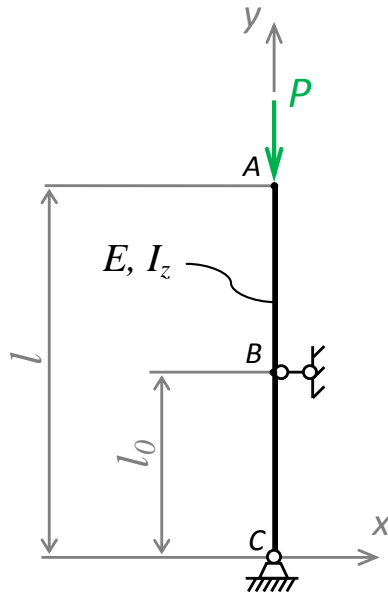


## W-07 (ANSYS)

Формулировка задачи:



Дано:  $E, I_z, l, l_0=l/2$ .

Сжимаемая консоль.

$E$  – модуль упругости материала;

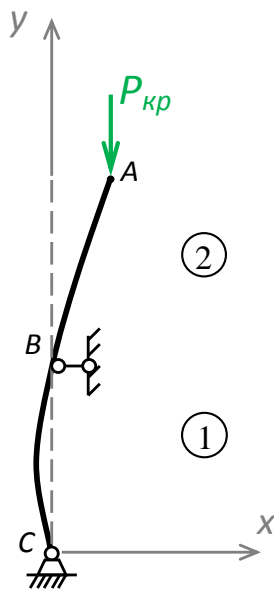
$I_z$  – изгибный момент инерции.

Найти: 1) Критическую силу первой формы

потери устойчивости  $P_{кр}$  ;

2) Коэффициент приведения длины  $\mu$  .

Аналитический расчёт (см. [W-07](#)) даёт следующее решение:



Первая форма потери устойчивости:

$$\mu = 1,348 ;$$

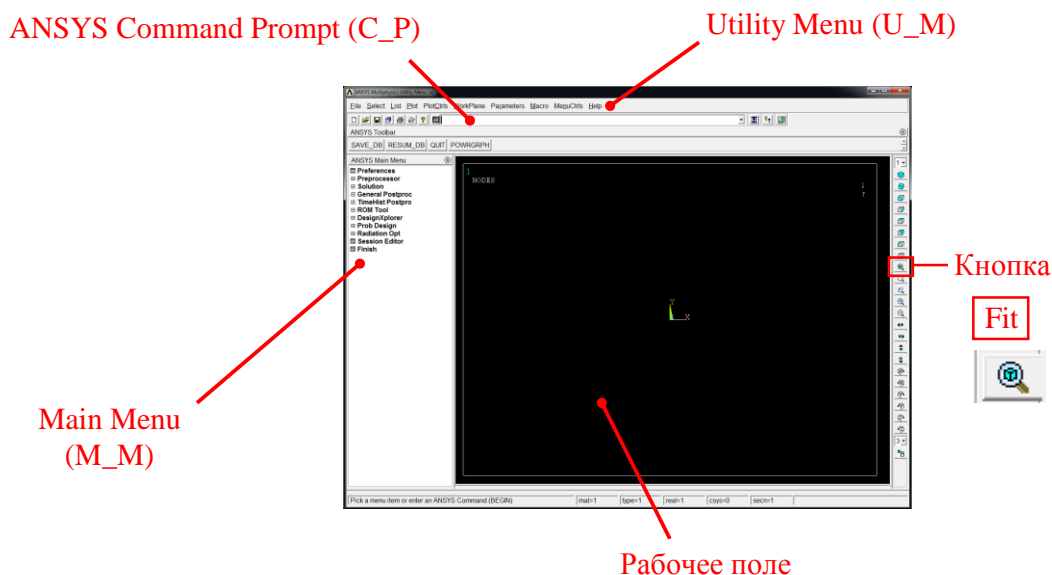
$$P_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{\mu^2 \cdot l^2} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{1,348^2 \cdot l^2} = 5,432 \cdot \frac{E \cdot I_z}{l^2} .$$

Рис. 1.

Задача данного примера: при помощи ANSYS Multyphysics получить эти же результаты 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:

```
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
```

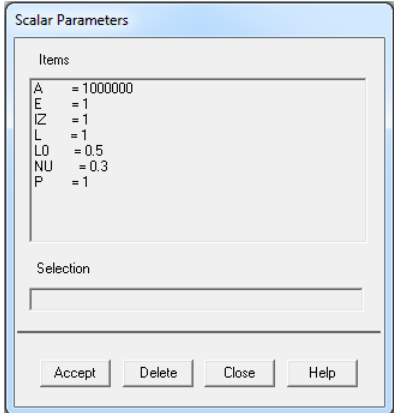
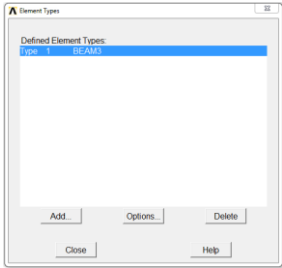
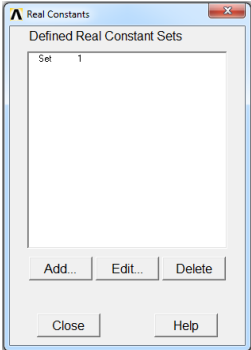
```
U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >
```

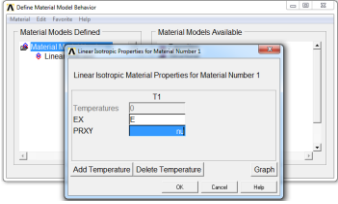

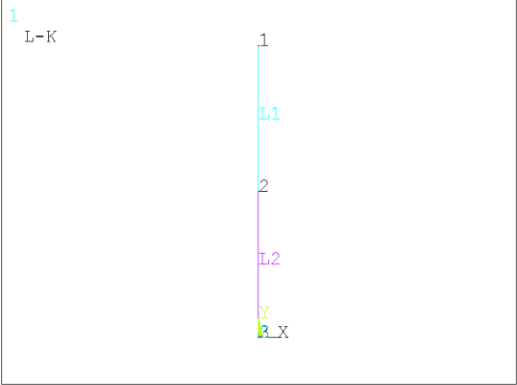
```
Установить «Размер» на «22»> OK
```

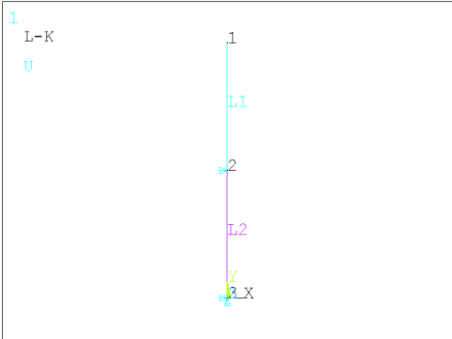
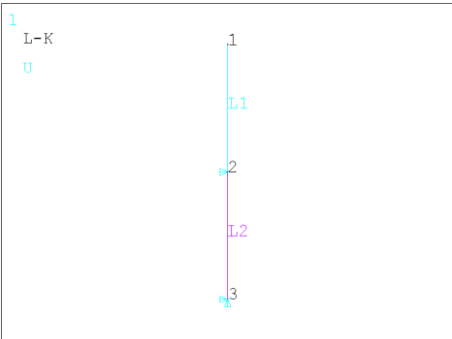
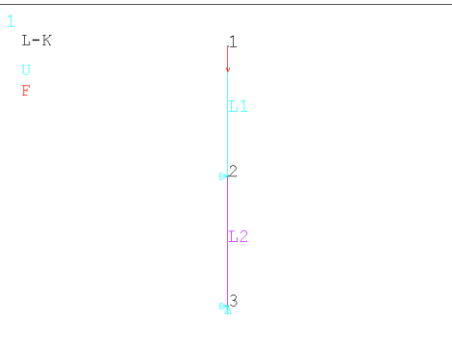
Предварительные настройки выполнены, можно приступать к решению задачи.

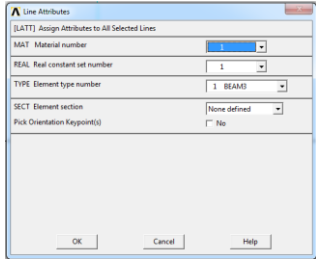
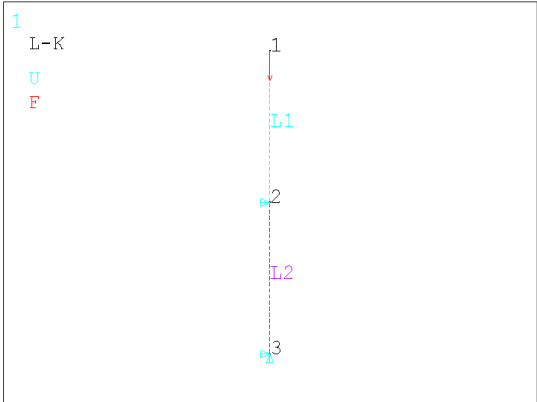
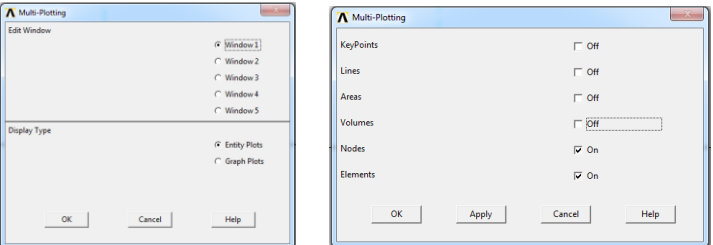
Решение задачи:

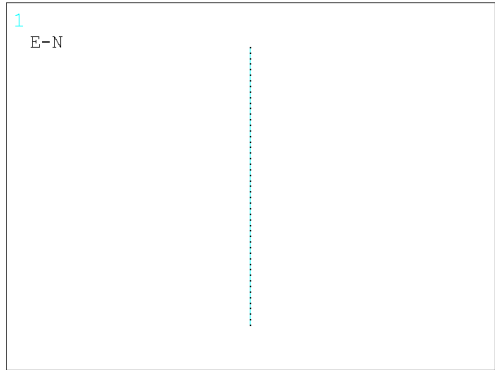
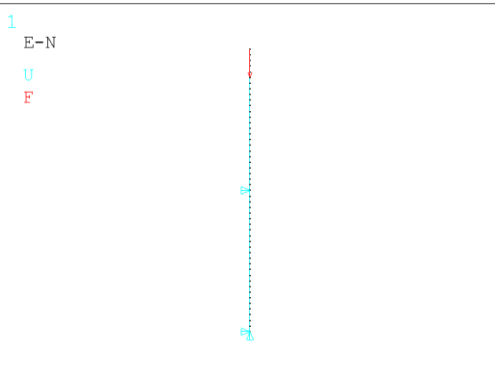
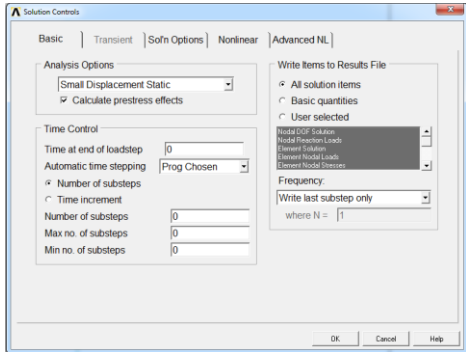
Приравняв  $E$ ,  $I_z$ ,  $P$  и  $l$  к единице, результаты получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

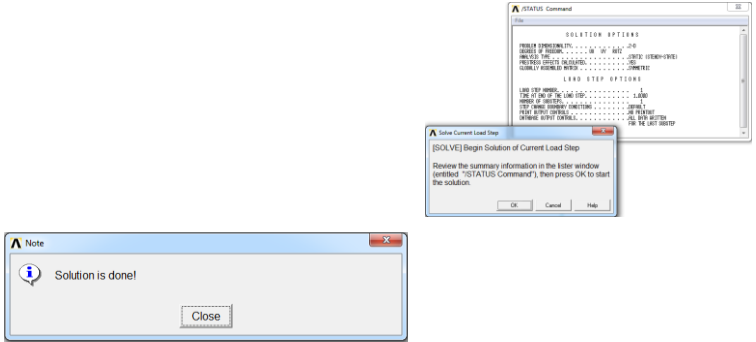
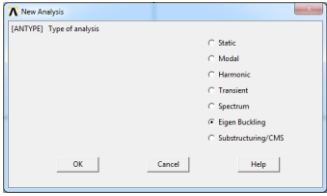
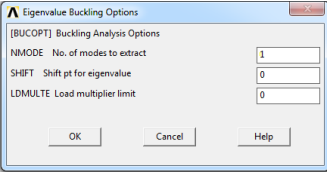
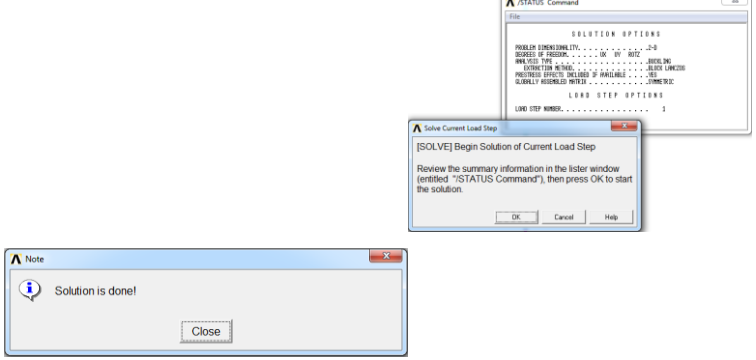
№	Действие	Результат
1	<p><i>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</i></p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;            E=1 &gt; Accept &gt;            A=1e6 &gt; Accept &gt;            Iz=1 &gt; Accept &gt;            l=1 &gt; Accept &gt;            l0=1/2 &gt; Accept &gt;            P=1 &gt; Accept &gt;            nu=0.3 &gt; Accept &gt;            &gt; Close</p>	
2	<p><i>Первая строка в таблице конечных элементов – плоский балочный тип BEAM3:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor            C_P &gt; ET, 1, BEAM3 &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>Первая строка в таблице параметров («реальных констант») выбранного типа конечного элемента: площадь поперечного сечения = A; момент инерции = Iz; высота поперечного сечения = l/100.</i></p> <p>C_P &gt; R, 1, A, Iz, L/100 &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>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; ОК</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	
<b>Твердотельное моделирование</b>		
5	<p><i>Ключевые точки – границы участков: A → 1, B → 2, C → 3:</i></p> <p>M_M&gt; Preprocessor&gt; Modeling&gt; Create&gt; Keypoints&gt; In Active CS&gt; NPT пишем 1</p> <p>X,Y,Z пишем 0,1,0 &gt; Apply &gt;</p> <p>NPT пишем 2</p> <p>X,Y,Z пишем 0,10,0 &gt; Apply &gt;</p> <p>NPT пишем 3</p> <p>X,Y,Z пишем 0,0,0 &gt; ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
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:</p> <p>1 и 2</p> <p>2 и 3</p> <p>&gt; ОК</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	

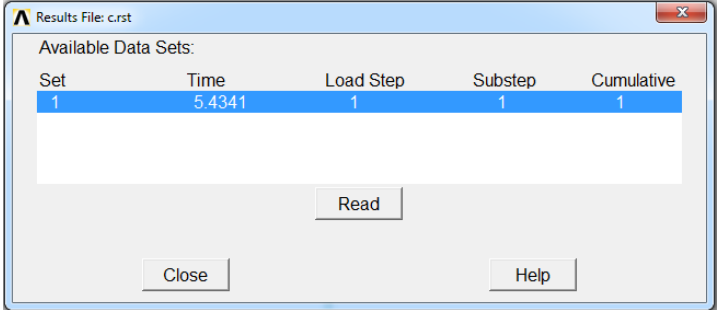
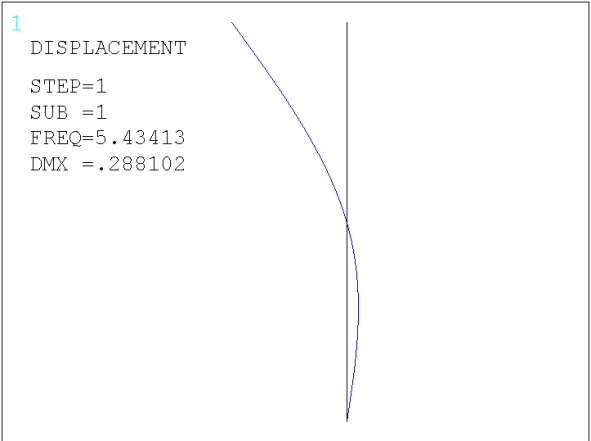
№	Действие	Результат
7	<p><i>Опоры:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Displacement &gt; On Keypoints &gt; Левой кнопкой мыши нажать на 2 ключевую точку &gt; OK &gt;</p> <p>Lab2 установить "UX" &gt; Apply &gt; Левой кнопкой мыши нажать на 3 ключевую точку &gt; OK &gt;</p> <p>Lab2 установить "UX" и "UY" &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
8	<p><i>Скрываем оси системы координат:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Window Controls &gt; Window Options &gt; [/Triad] установить "Not Shown" &gt; OK</p>	
9	<p><i>Сила:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Force/Moment &gt; On Keypoints &gt; Левой кнопкой мыши нажать на 1 ключевую точку &gt; OK &gt;</p> <p>Lab установить "FY"</p> <p>VALUE установить "-P"</p> <p>&gt; OK</p>	

№	Действие	Результат
<b>Конечноэлементная модель</b>		
10	<p><i>Указываем материал, реальные константы и тип элементов:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh Attributes &gt; All Lines &gt; MAT установить "1"  REAL установить "1"  TYPE установить "1 BEAM3"  &gt; OK</p>	
11	<p><i>Размер конечного элемента (должен быть небольшим):</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Size Cntrl &gt; ManualSize &gt; Lines &gt; All Lines &gt;левой кнопкой мыши кликаем на линию L1  &gt; OK  Size пишем l/50  &gt; OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
12	<p><i>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Multi-Plot Controls... &gt; Появляется первое окно Multi-Plotting  &gt; OK &gt;  Появляется второе окно Multi-Plotting &gt;  Оставляем в нём отметки только напротив Nodes и Elements  &gt; OK</p>	

№	Действие	Результат
13	<p><i>Рабиваем линии на элементы:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh &gt; Lines &gt; Pick All</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Бирюзовым цветом изображены балочные элементы. Чёрные точки – это их узлы.</p>	
14	<p><i>Переносим на конечноэлементную модель нагрузки и закрепления с модели твердотельной:</i></p> <p>M_M &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Operate &gt; Transfer to FE &gt; All Solid Lds</p> <p>&gt; ОК</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p>	
<p><b>Статический расчёт предварительного напряжённого состояния:</b></p>		
15	<p><i>Опции статического расчёта:</i></p> <p>M_M &gt; Solution &gt; Analysis Type &gt; Sol'n Controls &gt;</p> <p>Отмечаем галочкой "Calculate prestress effects"</p> <p>&gt; ОК</p>	

№	Действие	Результат
16	<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. Расчёт окончен.</p>	
<b>Расчёт на устойчивость:</b>		
17	<p><i>Указываем тип расчёта:</i></p> <p>M_M &gt; Solution &gt; Analysis Type &gt; New Analysis &gt; Ставим точку селектора на "Eigen Buckling" &gt; ОК</p>	
18	<p><i>Количество форм потери устойчивости:</i></p> <p>M_M &gt; Solution &gt; Analysis Type &gt; Analysis Options &gt; NMODE пишем 1 &gt; ОК</p>	
19	<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. Расчёт окончен.</p>	



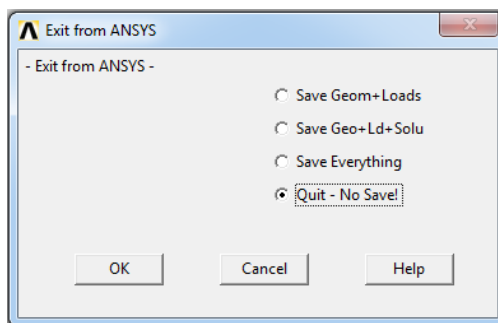
№	Действие	Результат
<b>Просмотр результатов</b>		
20	<p><i>Значение критической силы:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Read Results &gt; By Pick</p> <p>Видим:</p> $P_{кр} = 5,431 \cdot \frac{E \cdot I_z}{l^2};$ <p>Расхождение с результатом аналитического расчёта (рис. 1) составляет 0,02%.</p> <p>Расхождение с результатом решения этой же задачи энергетическим методом (пробная функция - полином четвёртой степени) следует ожидать порядка нескольких процентов.</p> <p>&gt; Close</p>	
21	<p><i>Коэффициент приведения длины:</i></p> $P_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{\mu^2 \cdot l^2} \Rightarrow \mu = \pi \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{P_{кр} \cdot l^2}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{1 \cdot l}{5,431 \cdot l^2}} = \frac{\pi}{\sqrt{5,431}} = 1,348 ;$ <p>С рис. 1 полное совпадение.</p>	
22	<p><i>Первая форма потери устойчивости:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Read Results &gt; First Set</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Deformed Shape &gt; KUND установить Def + undeformed</p> <p>&gt; OK</p> <p>Масштаб отклонений можно увеличить:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Style &gt; Displacement Scaling &gt; DMULT устанавливаем "User specified"</p> <p>User specified factor увеличиваем, например, до 0.5</p> <p>&gt; OK</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.