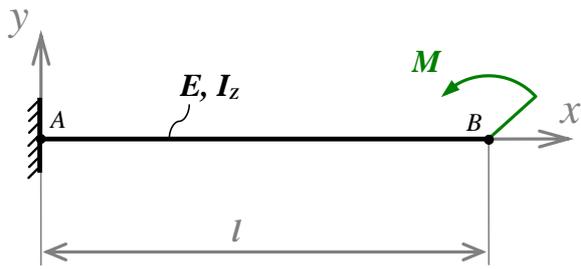


## G-04,05 (ANSYS)

Формулировка задачи:



*Дано:* Консольная балка постоянной жёсткости нагружена изгибающим моментом  $M$  в точке  $B$ .

$E$  – модуль упругости материала;

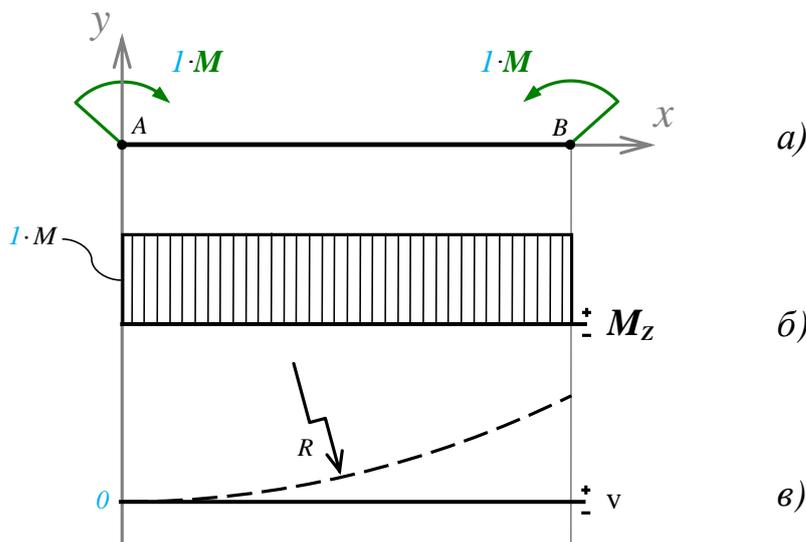
$I_z$  – изгибный момент инерции.

*Найти:* Эпюру внутреннего изгибающего момента  $M_z$ ;

Форму упругой оси нагруженной балки;

Линейное  $v$  и угловое  $\theta$  перемещения поперечного сечения балки, соответствующего точке  $B$  упругой оси.

Аналитический расчёт (см. [G-04](#) и [G-05](#)) даёт следующие решения (за исключением формы изогнутой оси  $v$ , но здесь всё просто: постоянный внутренний изгибающий момент  $\Rightarrow$  постоянная кривизна  $\Rightarrow$  дуга окружности):



$$v_B = \frac{1}{2} \cdot \frac{M \cdot l^2}{E \cdot I_z} \quad \text{— вверх ;} \quad \text{з)}$$

$$\theta_B = 1 \cdot \frac{M \cdot l}{E \cdot I_z} \quad \text{— против часовой стрелки.} \quad \text{д)}$$

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:

ANSYS Command Prompt (C\_P)

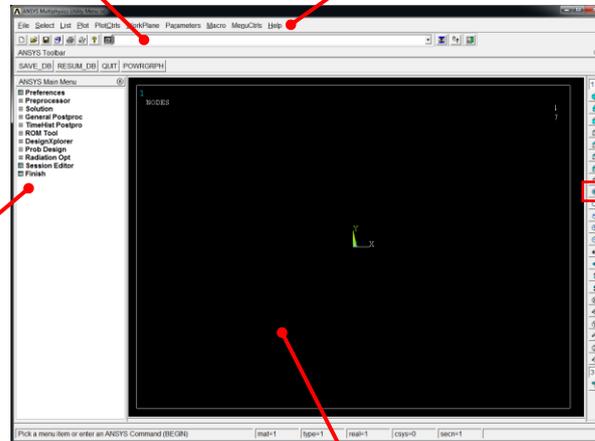
Utility Menu (U\_M)

Main Menu  
(M\_M)

Кнопка

Fit

Рабочее поле

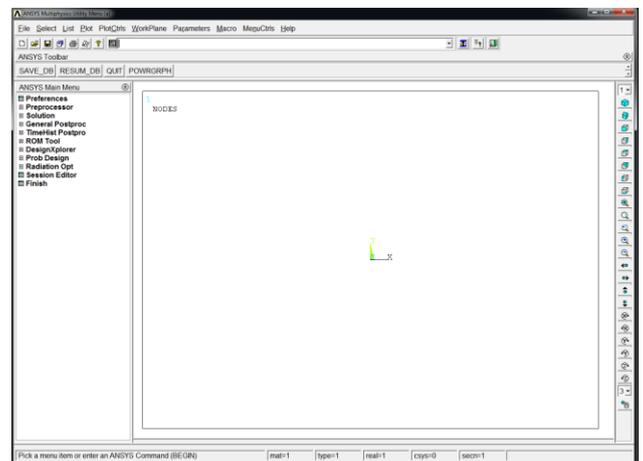


С меню M\_M и U\_M работают мышью, выбирая нужные опции.

В окно C\_P вручную вводят текстовые команды, после чего следует нажать на клавиатуре **Enter**.

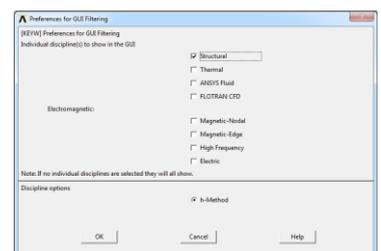
Чёрное рабочее поле не всегда приятно для глаза. Кроме того, оно неудобно для печати рисунков. Меняем чёрный цвет фона на белый следующими действиями:

U\_M > PlotCtrls > Style > Colors  
> Reverse Video



Убрать пункты меню, относящиеся к расплавам, магнитам и так далее, оставить только относящиеся к прочностным расчётам:

M\_M > Preferences > Отметить "Structural" > OK



При построениях полезно видеть номера точек и линий твердотельной модели:

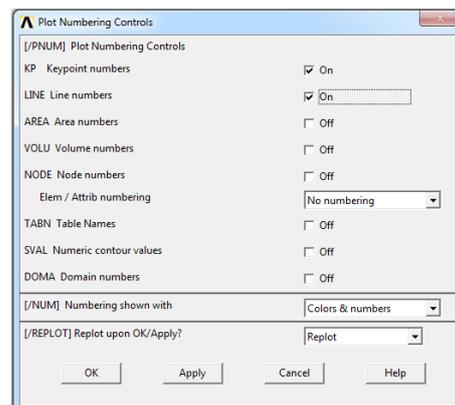
U\_M > PlotCtrls > Numbering >

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 >

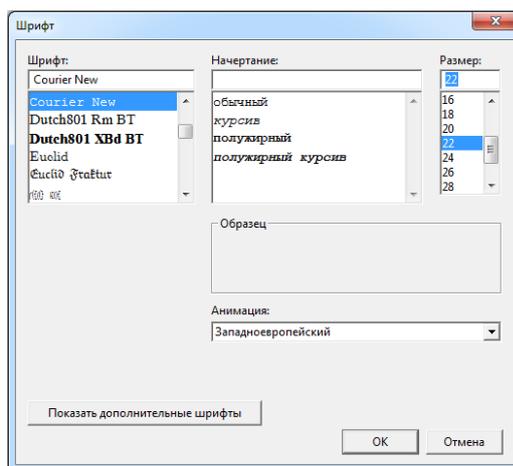
Установить «Размер» на «22»

> OK

U\_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >

Установить «Размер» на «22»

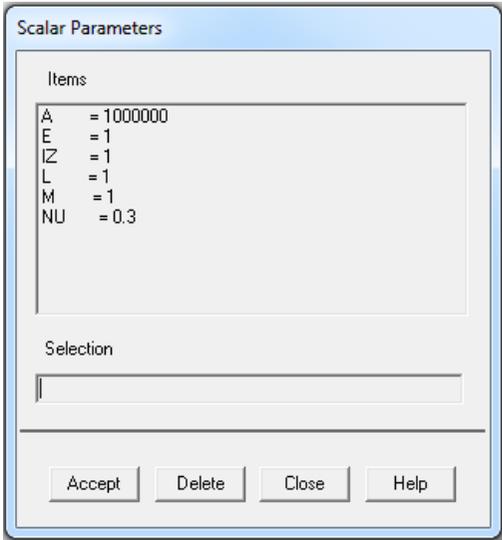
> OK

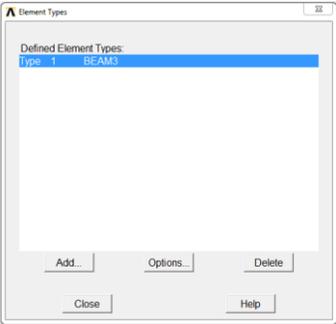
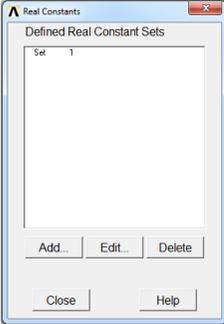
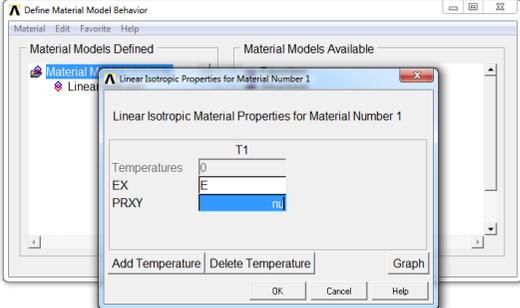


Предварительные настройки выполнены, можно приступить к решению задачи.

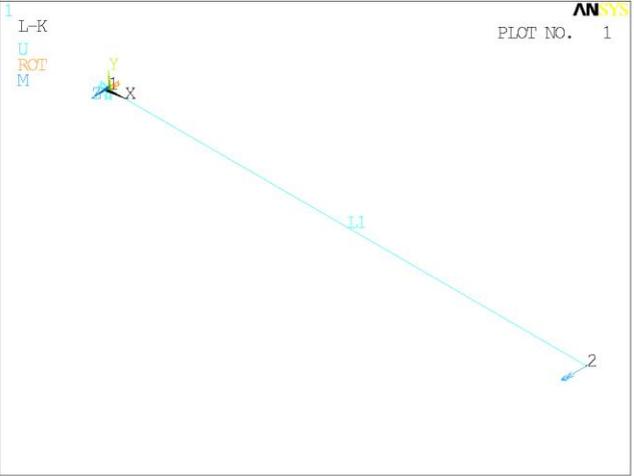
Решение задачи:

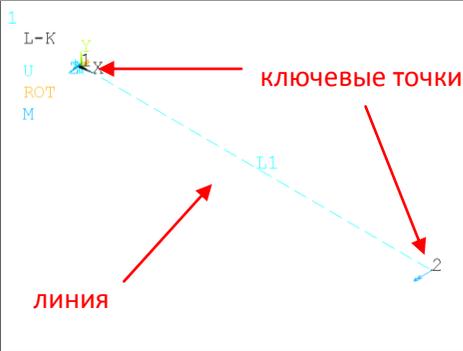
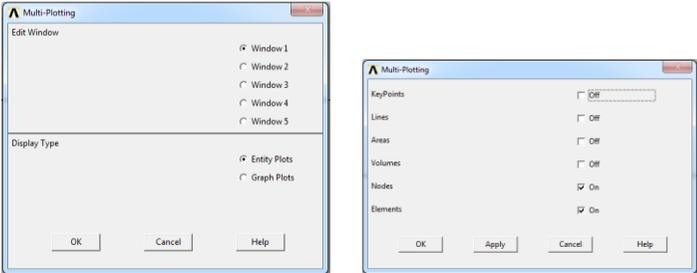
Обратите внимание: конечноэлементный метод решения задач *численный*, он принимает и выдаёт только *числа*. Задача же сформулирована *в общем виде* – в буквенных обозначениях, из которых потом складываются формулы. Выход можно найти, приравняв базовые величины задачи *E, I<sub>z</sub>, M* и *l* к единице. Тогда результаты мы получим в виде чисел, обозначенных на *рис. 1*. синим цветом.

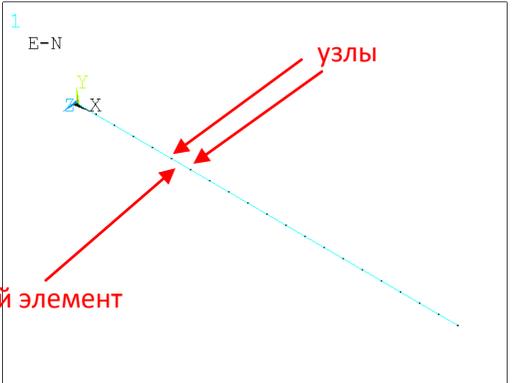
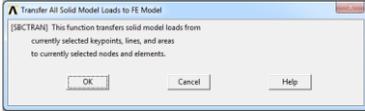
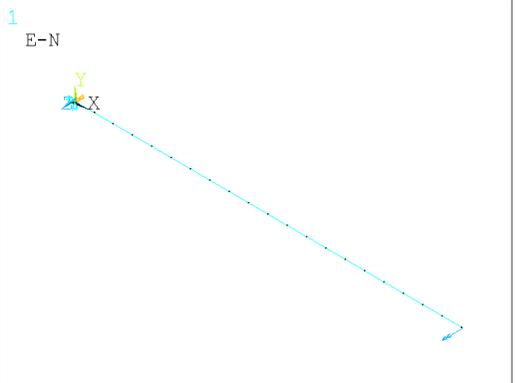
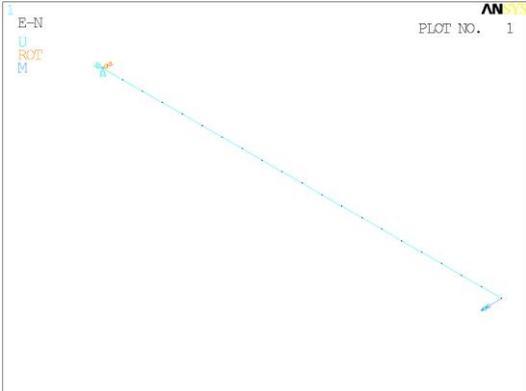
№	Действие	Результат
1	<p>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</p> <p>U_M &gt; Parameters &gt; Scalar Parameters &gt;</p> <p>В строке "Selection" последовательно набрать (всё латиницей!):</p> <p>E=1 &gt; Accept &gt;  A=1e6 &gt; Accept &gt;  Iz=1 &gt; Accept &gt;  M=1 &gt; Accept &gt;  l=1 &gt; Accept &gt;  nu=0.3 &gt; Accept &gt;</p> <p>A – площадь поперечного сечения стержня; должна быть очень большой для того, чтобы стержень гнулся, но не сжимался и не растягивался;  nu – коэффициент Пуассона для металлов.</p> <p>После нажатия клавиши Ассерт, введённый параметр добавляется в список Items.  Закреть окно ввода параметров:</p> <p>&gt; Close</p>	

№	Действие	Результат
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:</p> <p>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 = l/100 (не будем использовать, но формально надо что-то задать, например l/100).</i></p> <p>C_P &gt; R,1,A, Iz, L/100 &gt; <b>Enter</b></p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Real Constants &gt; Add/Edit/Delete &gt; Close</p>	
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; в окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu" &gt; OK</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	

№	Действие	Результат
<b>Твердотельное моделирование</b>		
5	<p><i>Ключевые точки – границы участков (две точки):</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Keypoints &gt; In Active CS &gt;</p> <p>NPT пишем 1 X, Y, Z пишем 0, 0, 0 &gt; Apply &gt;</p>  <p>NPT пишем 2 X, Y, Z пишем 1, 0, 0 &gt; OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p>	 <p style="text-align: right;">2</p>
6	<p><i>Один участок – одна линия между точками:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Modeling &gt; Create &gt; Lines &gt; Lines &gt; Straight Line &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши нажать последовательно на ключевую точку 1, потом на ключевую точку 2. Линия должна быть протянута слева направо, тогда эпюра моментов будет начерчена корректно &gt; OK</p>	
7	<p><i>Заделка:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Displacement &gt; On Keypoints &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на ключевую точку 1 &gt; OK &gt;</p> <p>Lab2 установить "All DOF"</p> 	

№	Действие	Результат
	> OK	
8	<p><i>Внешний сосредоточенный момент M:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Loads &gt; Define Loads &gt; Apply &gt; Structural &gt; Force/Moment &gt; On Keypoints &gt;</p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на ключевую точку 2</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>Lab установить "MZ"</p> <p>VALUE установить "M"</p> <p>&gt; OK</p> <p>Внешний момент в ANSYS-е отображается своим вектором – двуглавой стрелкой. Вектор момента в данной задаче направлен против оси Z глобальной системы координат. Поэтому момент задаём отрицательный.</p>	
9	<p><i>Изометрия:</i></p> <p>До сих пор модели мы рассматривали, используя фронтальный вид («сбоку»).</p> <p>Вектор изгибающего момента при этом виден плохо, а его направление не определяется вовсе. Меняем угол зрения: справа от рабочего поля нажимаем кнопки</p> <p> - изометрия;</p> <p> - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).</p>	

№	Действие	Результат
<b>Конечноэлементная модель</b>		
10	<p>Указываем материал, реальные константы и тип элементов, на которые будут разбиты линии твердотельной модели:</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh Attributes &gt; Picked Lines &gt; <i>Левой кнопкой мыши нажать на линию L1</i> &gt; OK &gt; MAT установить "1"            REAL установить "1"            TYPE установить "1 BEAM3"            &gt; OK</p> 	
11	<p>Размер элемента выбираем небольшой, для того, чтобы изогнутая ось выглядела гладко :</p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Size Cntrls &gt; ManualSize &gt; Lines &gt; All Lines&gt;            SIZE пишем <math>l/20</math>            &gt; OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	
12	<p>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Multi-Plot Controls &gt;            Появляется первое окно Multi-Plotting &gt;            &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 линию на элементы:</i></p> <p>M_M &gt; Preprocessor &gt; Meshing &gt; Mesh &gt; Lines &gt; Pick All &gt; OK &gt;</p> <p><i>Обновляем изображение:</i></p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Multi-Plots</p> 	
14	<p><i>Действие необязательное, но наглядное. 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 &gt; OK</p> 	
15	<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>	
№	Действие	Результат

## Расчёт

16

*Запускаем расчёт:*

M\_M > Solution > Solve > Current LS

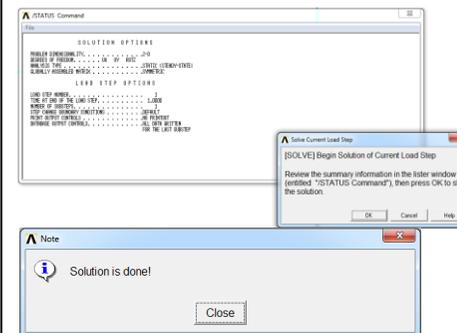
Синхронно появляются два окна: белое информационное и серое исполнительное.

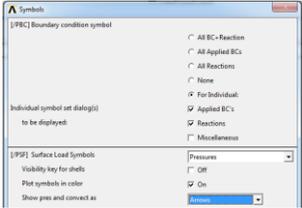
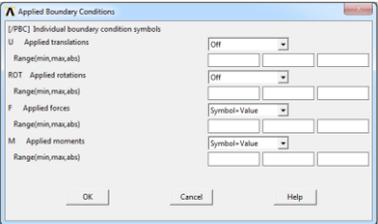
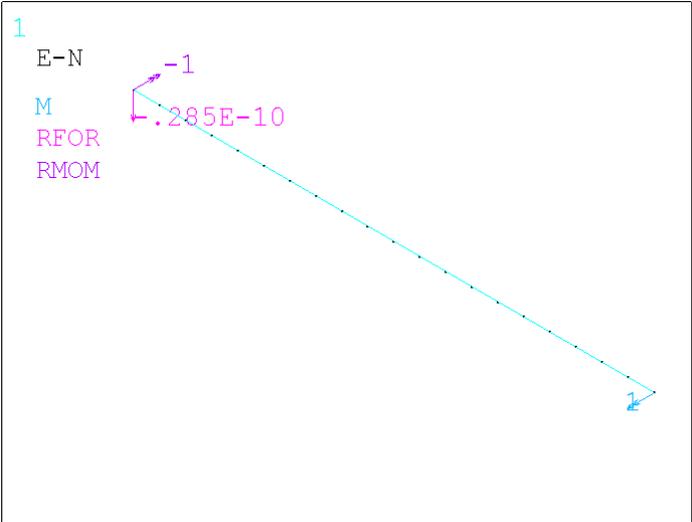
Белое закрываем, на сером нажимаем ОК.

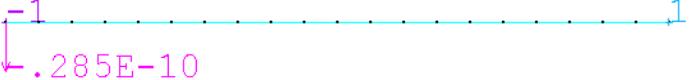
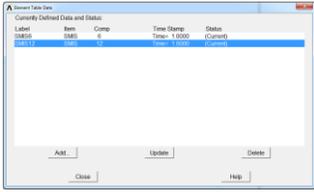
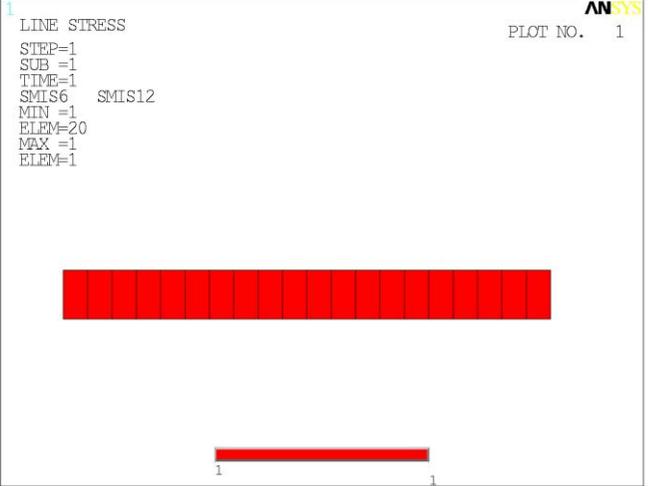
Расчёт пошёл.

Когда он закончится, появится окно «Solution is done!».

Закройте это окно. Расчёт окончен.

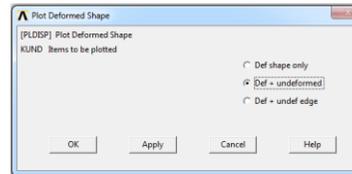


№	Действие	Результат
<b>Просмотр результатов</b>		
<b>17</b>	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M &gt; PlotCtrls &gt; Symbols &gt; [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous"</p> <p>Surface Load Symbols устанавливаем Pressures</p> <p>Show pres and connect as устанавливаем Arrows</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p><b>В окне "Applied Boundary Conditions"</b></p> <p>U установить "Off"</p> <p>Rot установить "Off"</p> <p>F установить "Symbol+Value"</p> <p>M установить "Symbol+Value"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p><b>В окне "Reactions"</b></p> <p>NFOR установить "Off"</p> <p>NMOM установить "Off"</p> <p>RFOR установить "Symbol+Value"</p> <p>RMOM установить "Symbol+Value"</p> <p>&gt; OK &gt;</p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M &gt; Plot &gt; Elements</p> <p>При необходимости корректируйте масштаб кнопками  или .</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1а</i>. Синим цветом указан вектор внешнего момента, фиолетовым – вектор момента реактивного.</p>	   

№	Действие	Результат
18	<p>Фронтальный вид:</p>  - вид спереди;  - автоформат (размер изображения по размеру окна рабочего поля).	
19	<p>Составление эпюры внутреннего изгибающего момента:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Element Table &gt; Define Table &gt; Add &gt; "By sequence num", "SMISC,", "6" &gt; Apply &gt; "By sequence num", "SMISC,", "12" &gt; OK &gt; &gt; Close</p>	
20	<p>Прорисовка эпюры внутреннего изгибающего момента:</p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; Plot Results &gt; Contour Plot &gt; Line Elem Res &gt; LabI установить "SMIS6" &gt; LabJ установить " SMIS12" &gt; ОК</p> <p>Получаем тот же результат, что и на <i>рис. 1в.</i> (только числа, выделенные на <i>рис. 1б.</i> синим цветом). Эпюра MIN=1 , MAX=1, как и должно быть у прямоугольника.</p>	

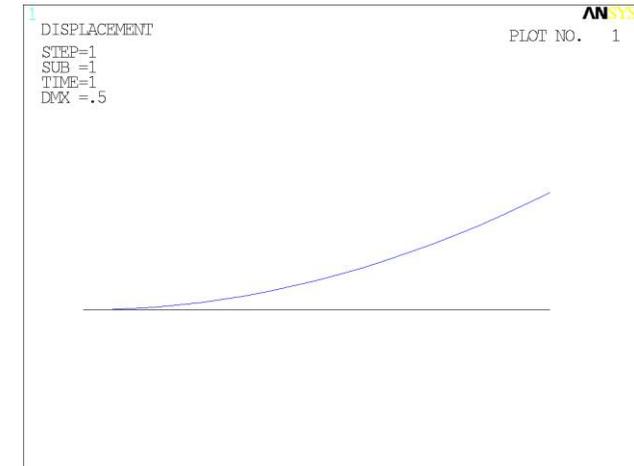
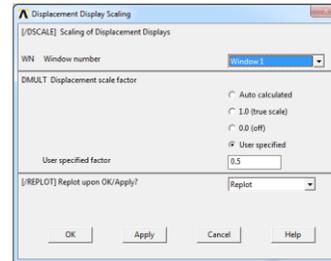
*Форма упругой оси нагруженной балки:*

M\_M > General Postproc > Plot Results >  
> Deformed Shape >  
KUND установить Def + undeformed  
> OK



Получаем ту же форму, что и на рис. 1в – дугу окружности.  
21 Можете масштаб сделать крупнее:

U\_M > PlotCtrls > Style > Displacement Scaling >  
DMULT устанавливаем "User specified"  
User specified factor увеличиваем в  
пять раз с 0.1 до 0.5  
> OK

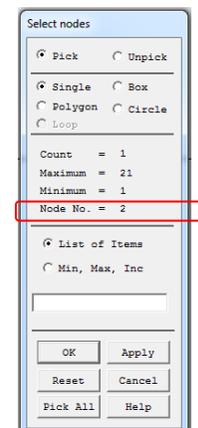
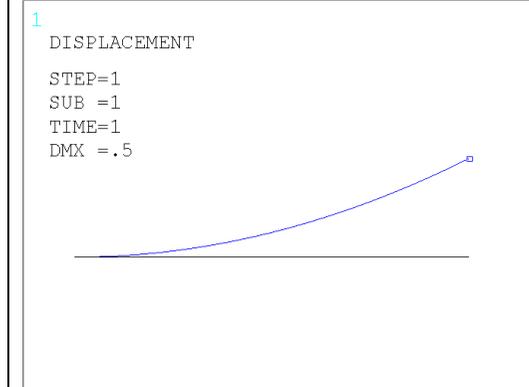


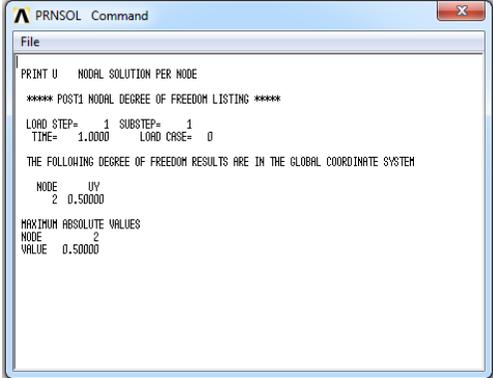
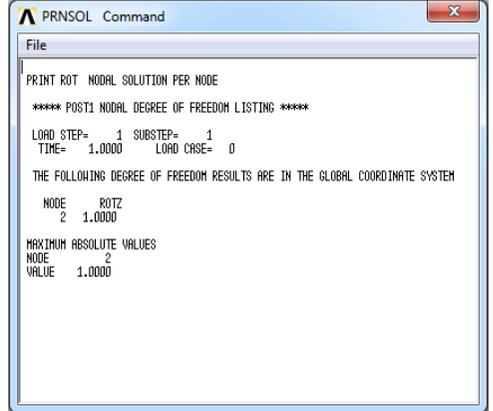
*Выделяем мышью узел конечноэлементной модели, соответствующий точке В:*

U\_M > Select > Entities... >  
В окошке Select Entities установить  
"Nodes"  
"By Num/Pick"  
"By Num/Pick"  
Точку селектора установить на «From Full»  
> OK >



22  
Левой кнопкой мыши кликнуть на точку В на деформированной  
форме (самая высокая точка формы). Кстати, при этом в  
окошке Select nodes припишется номер узла в этой точке  
«Node No. = 2»  
> OK



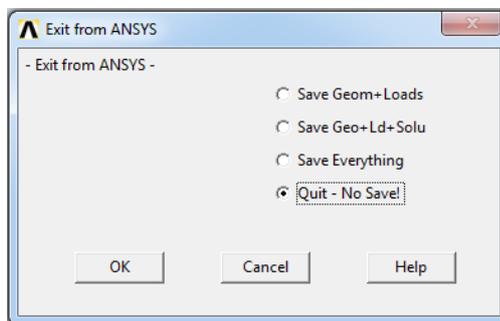
<p>23</p>	<p><i>Вертикальное перемещение узла №2:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt; Nodal Solution &gt; DOF Solution &gt; Y-Component of displacement &gt; OK</p> <p>Пропечаталась величина вертикального перемещения:</p> <p>UY=0,5</p> <p>Положительная, значит – по оси Y (то есть, вверх).</p> <p>Результат совпадает с <i>рис. 1г.</i></p>	 <pre> PRNSOL Command File PRINT U  NODAL SOLUTION PER NODE ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ***** LOAD STEP= 1  SUBSTEP= 1 TIME= 1.0000  LOAD CASE= 0 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM NODE      UY 2  0.50000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE      2 VALUE  0.50000 </pre>
<p>24</p>	<p><i>Угол поворота узла №2:</i></p> <p>M_M &gt; General Postproc &gt; List Results &gt; Nodal Solution &gt; Nodal Solution &gt; DOF Solution &gt; Z-Component of rotation &gt; OK</p> <p>Пропечаталась величина углового перемещения:</p> <p>ROTZ=1</p> <p>Положительная, значит – против часовой стрелки.</p> <p>Результат совпадает с <i>рис. 1д.</i></p>	 <pre> PRNSOL Command File PRINT ROT  NODAL SOLUTION PER NODE ***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ***** LOAD STEP= 1  SUBSTEP= 1 TIME= 1.0000  LOAD CASE= 0 THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM NODE      ROTZ 2  1.0000 MAXIMUM ABSOLUTE VALUES NODE      2 VALUE  1.0000 </pre>

Сохраняем проделанную работу:

U\_M > File > Save as Jobname.db

Закройте ANSYS:

U\_M > File > Exit > Quit - No Save! > OK



После выполнения указанных действий в рабочем каталоге остаются файлы с расширениями “.BCS”, “.db”, “.emat”, “.err”, “.esav”, “.full”, “.log”, “.mntr”, “.rst” и “.stat”.

Интерес представляют “.db” (файл модели) и “.rst” (файл результатов расчёта), остальные файлы промежуточные, их можно удалить.