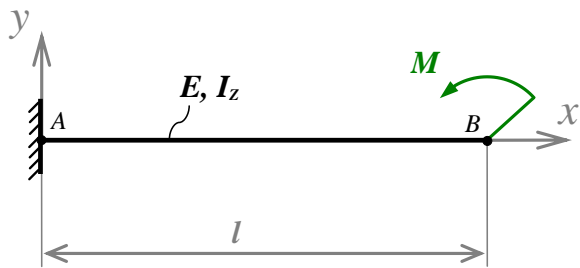


G-04,05 (ANSYS)

Формулировка задачи:



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

E – модуль упругости материала;

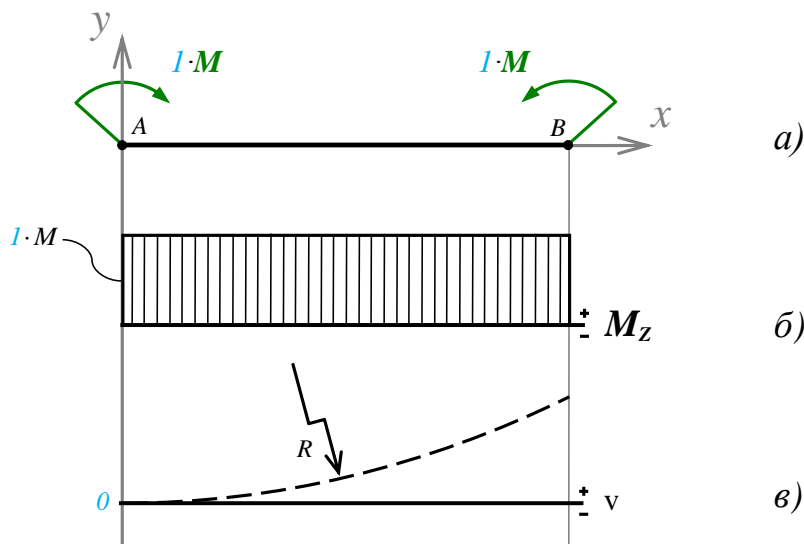
I_z – изгибный момент инерции.

Найти: Эпюру внутреннего изгибающего момента M_z ;

Форму упругой оси нагруженной балки;

Линейное v и угловое θ 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):



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

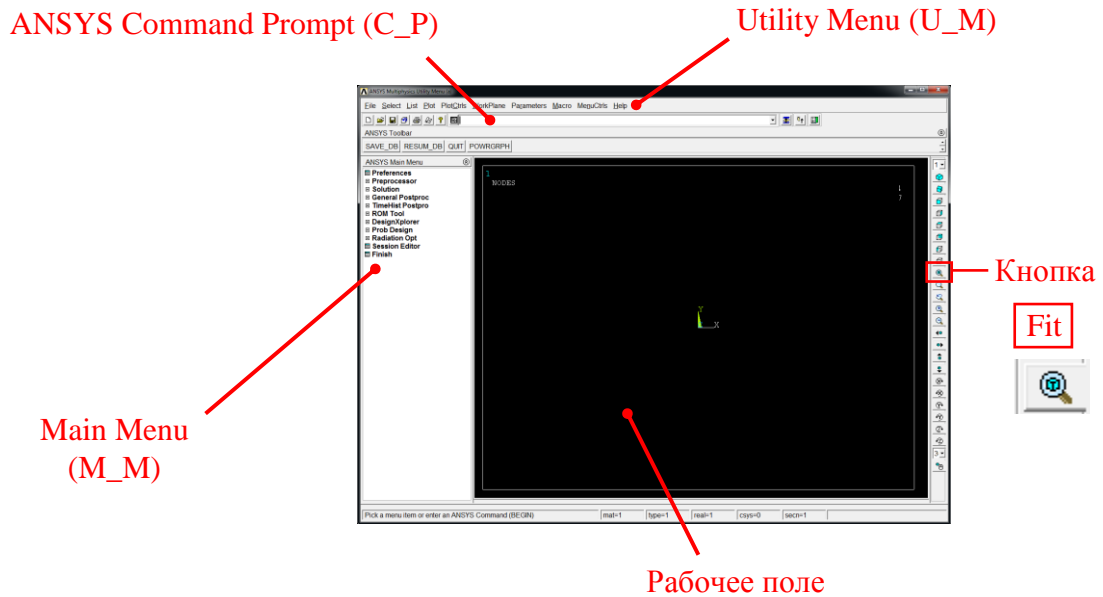
$$\theta_B = 1 \cdot \frac{M \cdot l}{E \cdot I_z} \quad - \text{против часовой стрелки}. \quad \text{д)}$$

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:

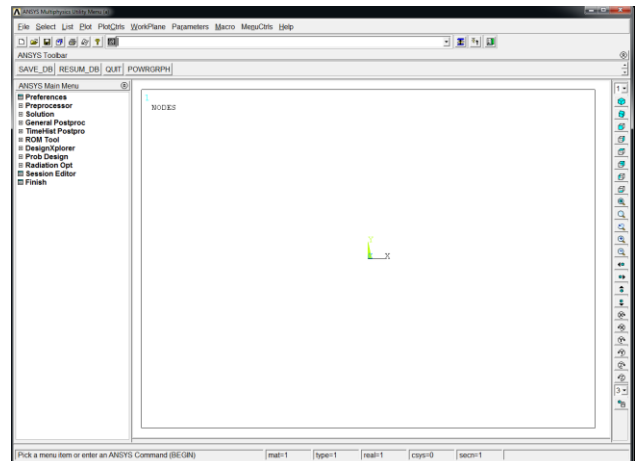


С меню M_M и U_M работают мышью, выбирая нужные опции.

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

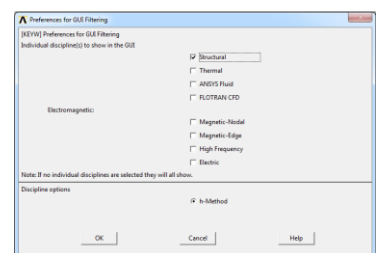
Чёрное рабочее поле не всегда приятно для глаза. Кроме того, оно неудобно для печати рисунков. Меняем чёрный цвет фона на белый следующими действиями:

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:

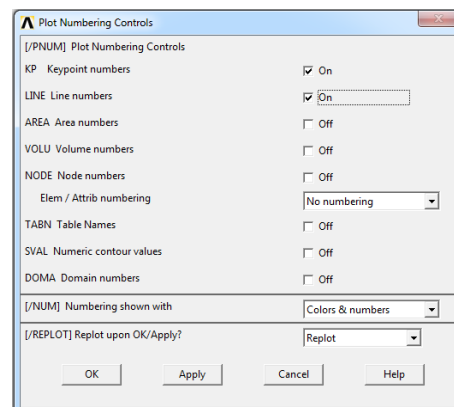
U_M > PlotCtrls > Numbering >

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 >

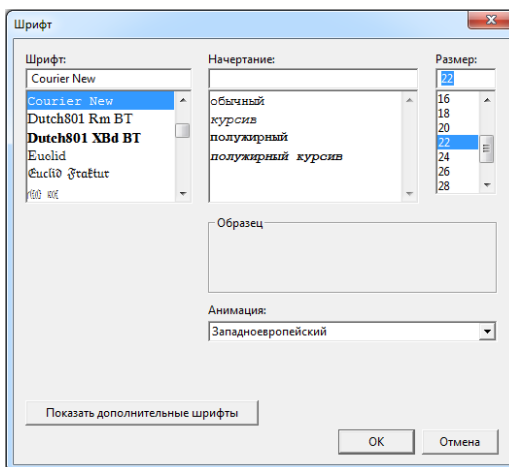
Установить «Размер» на «22»

> OK

U_M > PlotCtrls > Font Controls > Entity Font >

Установить «Размер» на «22»

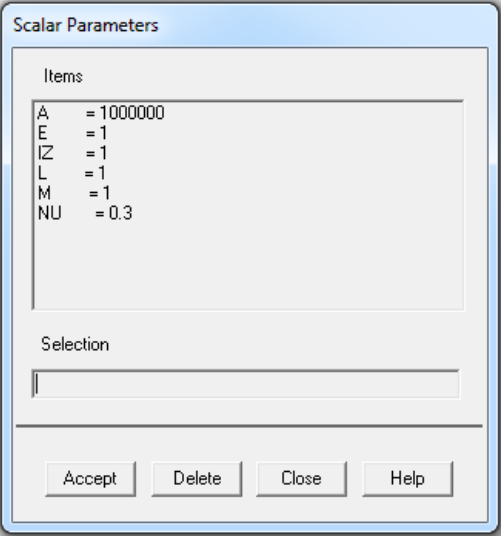
> OK

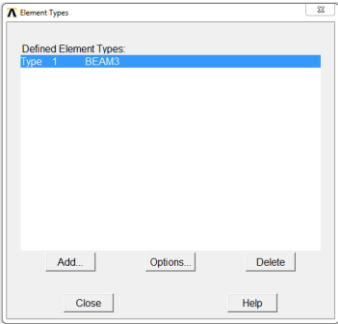
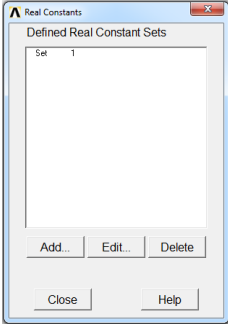
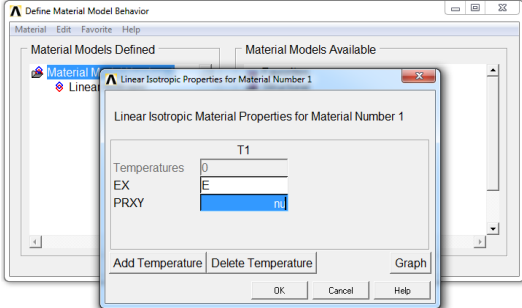






Предварительные настройки выполнены, можно приступить к решению задачи.




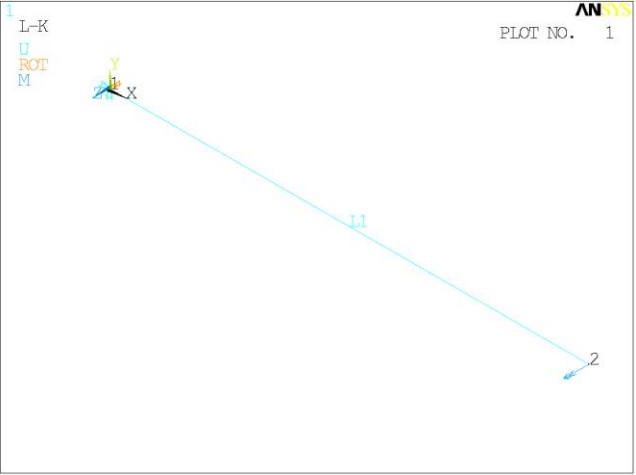
Решение задачи:

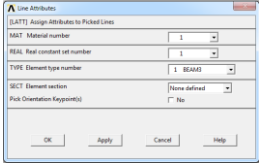
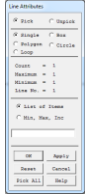
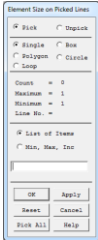

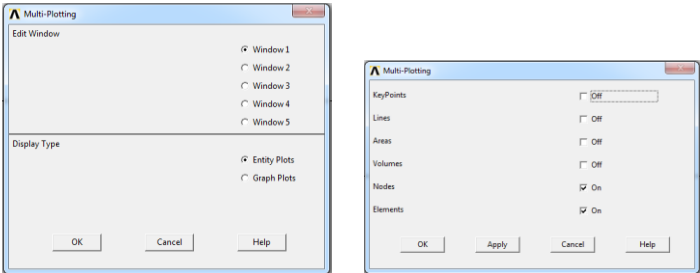
Обратите внимание: конечноэлементный метод решения задач *численный*, он принимает и выдаёт только *числа*. Задача же сформулирована *в общем виде* – в буквенных обозначениях, из которых потом складываются формулы. Выход можно найти, приравняв базовые величины задачи *E, I_z, M* и *l* к единице. Тогда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


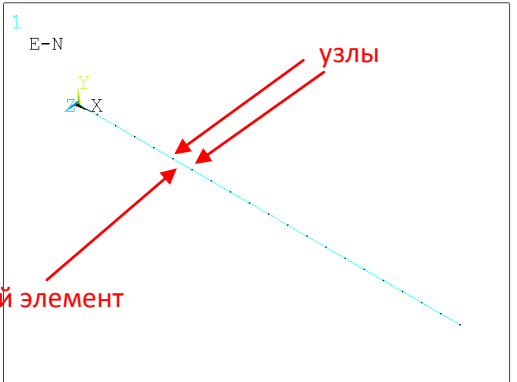
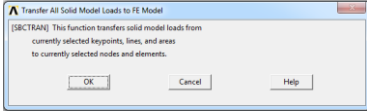
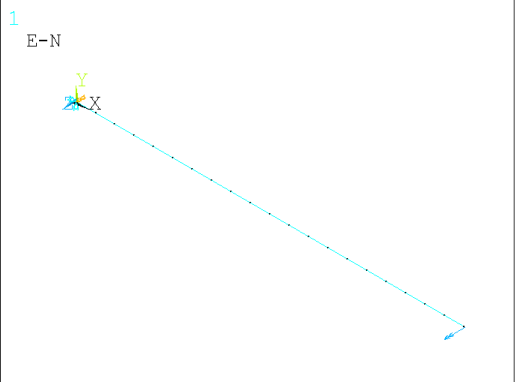
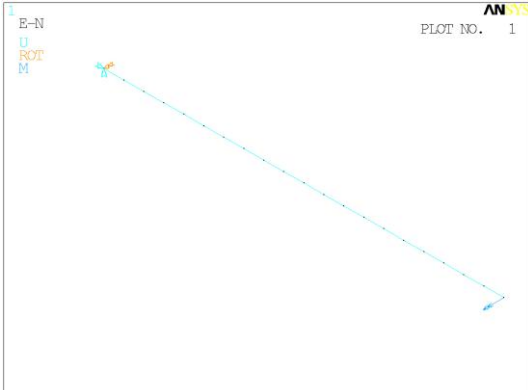
№	Действие	Результат
1	<p>Задаём параметры расчёта – базовые величины задачи:</p> <p>U_M > Parameters > Scalar Parameters ></p> <p>В строке "Selection" последовательно набрать (всё латиницей!):</p> <p>E=1 > Accept > A=1e6 > Accept > Iz=1 > Accept > M=1 > Accept > l=1 > Accept > nu=0.3 > Accept ></p> <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 Ассерпт, введённый параметр добавляется в список Items. Закреть окно ввода параметров:</p> <p>> Close</p>	

№	Действие	Результат
2	<p><i>Первая строка 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:</p> <p>M_M > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete > 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 > R,1,A, Iz, L/100 > Enter</p> <p>Посмотрим таблицу реальных констант:</p> <p>M_M > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > Close</p>	
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 > в окошке EX пишем "E", в окошке PRXY пишем "nu" > OK</p> <p>Закрываем окно «Define Material Model Behavior».</p>	

№	Действие	Результат
Твердотельное моделирование		
5	<p><i>Ключевые точки – границы участков (две точки):</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > In Active CS ></p> <p>NPT пишем 1 X, Y, Z пишем 0, 0, 0 > Apply ></p> <p>NPT пишем 2 X, Y, Z пишем l, 0, 0 > OK</p> <p>Прорисовываем всё, что есть: U_M > Plot > Multi-Plots</p> <p>Справа от рабочего поля нажимаем кнопку Fit .</p>	
6	<p><i>Один участок – одна линия между точками:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Modeling > Create > Lines > Lines > Straight Line ></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 > OK</p>	
7	<p><i>Заделка:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Keypoints ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на ключевую точку 1 > OK ></p> <p>Lab2 установить "All DOF"</p>	

№	Действие	Результат
	> ОК	
8	<p><i>Внешний сосредоточенный момент M:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Keypoints ></p> <p>Левой кнопкой мыши нажать на ключевую точку 2</p> <p>> ОК ></p> <p>Lab установить "MZ"</p> <p>VALUE установить "M"</p> <p>> ОК</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
Конечноэлементная модель		
<p>10</p>	<p>Указываем материал, реальные константы и тип элементов, на которые будут разбиты линии твердотельной модели:</p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Lines > Левой кнопкой мыши нажать на линию L1 > OK > MAT установить "1" REAL установить "1" TYPE установить "1 BEAM3" > OK</p> 	
<p>11</p>	<p>Размер элемента выбираем небольшой, для того, чтобы изогнутая ось выглядела гладко :</p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Size Cntrls > ManualSize > Lines > All Lines> SIZE пишем $l/20$ > OK</p> <p>Обновляем изображение: U_M > Plot > Multi-Plots</p> 	
<p>12</p>	<p>Указываем, что именно нужно теперь прорисовывать по команде Multi-Plots:</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>	
№	Действие	Результат

13	<p><i>Рабиваем линию на элементы:</i></p> <p>M_M > Preprocessor > Meshing > Mesh > Lines > Pick All</p> <p>> OK ></p> <p>Обновляем изображение:</p> <p>U_M > Plot > 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 > Loads > Define Loads > Operate > Transfer to FE > All Solid Lds > OK</p> 	
15	<p><i>Скрываем оси системы координат:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Window Controls > Window Options > [/Triad] установить "Not Shown"</p> <p>> OK</p>	
№	Действие	Результат

Расчёт

16

Запускаем расчёт:

M_M > Solution > Solve > Current LS

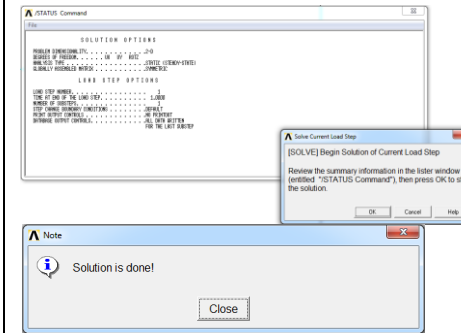
Синхронно появляются два окна: белое информационное и серое исполнительное.



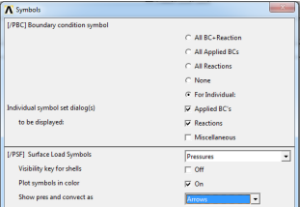
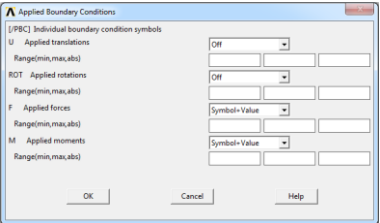
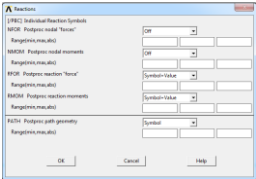
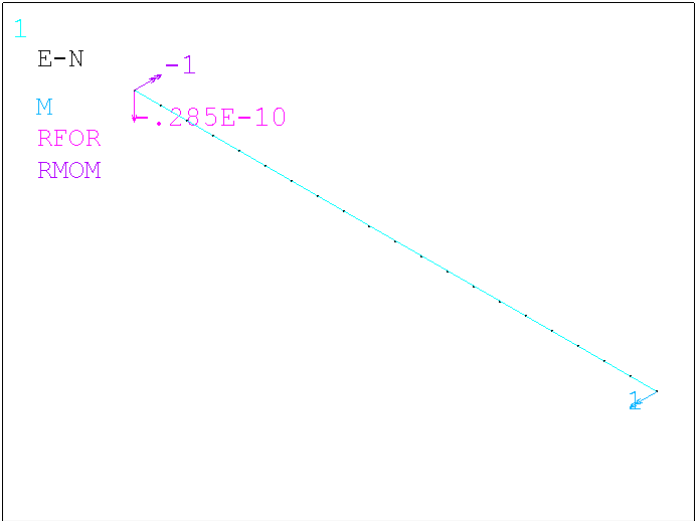
Белое закрываем, на сером нажимаем ОК.



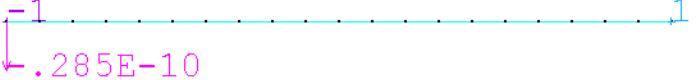
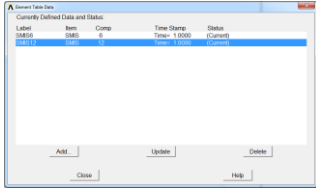

Расчёт пошёл.

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

Закройте это окно. Расчёт окончен.

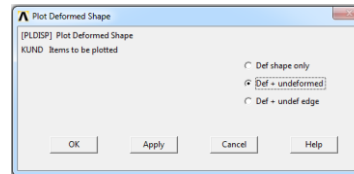


№	Действие	Результат
Просмотр результатов		
17	<p><i>Силовая схема:</i></p> <p>U_M > PlotCtrls > Symbols > [/PBC] устанавливаем в положение "For Individual"</p> <p>Убираем галочку с "Miscellaneous"</p> <p>Surface Load Symbols устанавливаем Pressures</p> <p>Show pres and connect as устанавливаем Arrows</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:</p> <p>U_M > Plot > 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 > General Postproc > Element Table > Define Table > Add > "By sequence num", "SMISC,", "6" > Apply > "By sequence num", "SMISC,", "12" > OK > > Close</p>	
20	<p>Прорисовка эпюры внутреннего изгибающего момента:</p> <p>M_M > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Line Elem Res > LabI установить "SMIS6" LabJ установить " SMIS12" > OK</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>	

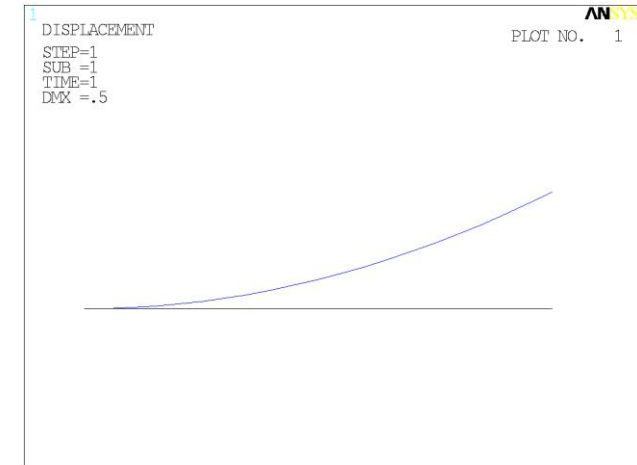
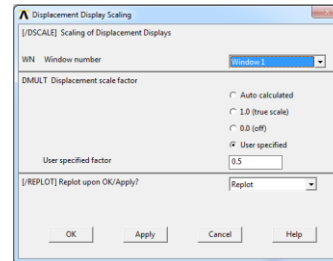
Форма упругой оси нагруженной балки:

M_M > General Postproc > Plot Results >
> Deformed Shape >
KUND установить Def + undeformed
> OK



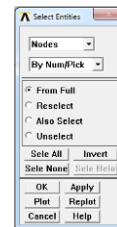
Получаем ту же форму, что и на рис. 1в – дугу окружности.
21 Можете масштаб сделать крупнее:

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

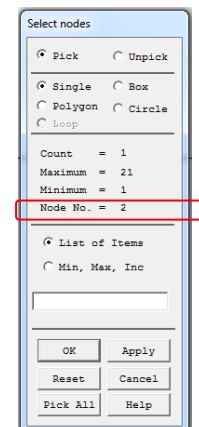
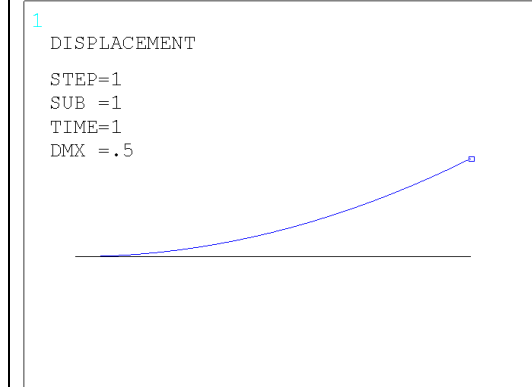


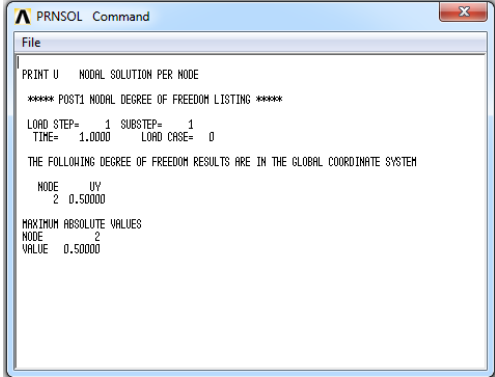
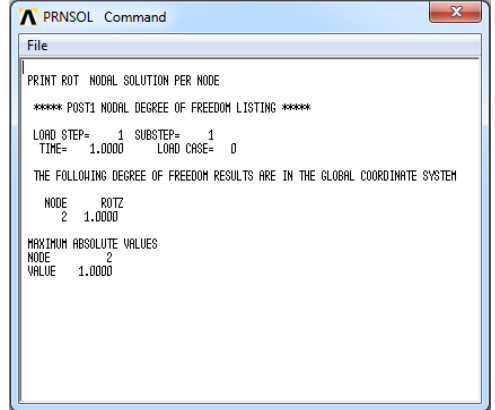
Выделяем мышью узел конечноэлементной модели, соответствующий точке В:

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



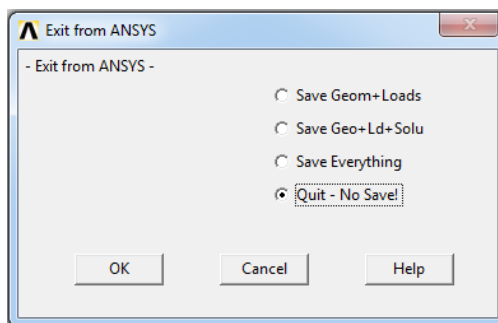
<p>23</p>	<p><i>Вертикальное перемещение узла №2:</i></p> <p>M_M > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Y-Component of displacement > OK</p> <p>Пропечаталась величина вертикального перемещения:</p> <p>UY=0,5</p> <p>Положительная, значит – по оси Y (то есть, 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 > General Postproc > List Results > Nodal Solution > Nodal Solution > DOF Solution > Z-Component of rotation > 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.