Описание интерактивного сеанса для ANSYS
РЕШЕНИЕ ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ТЕЛА В ФОРМЕ БУКВЫ «Ь»

Тестовая задача, иллюстрирующая решение краевой задачи для уравнения теплопроводности с различными типами граничных условий.

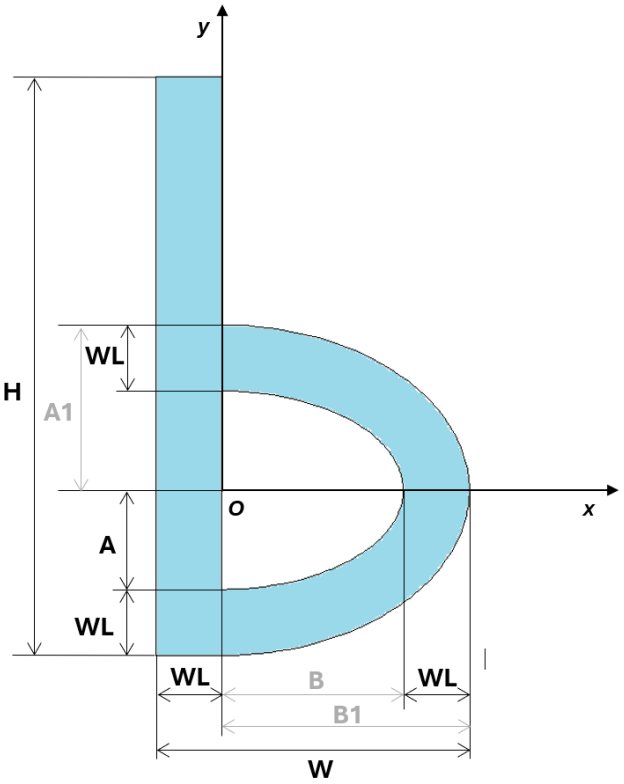
ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

Рассмотрим двумерную область в виде буквы «Ь». Геометрия области, отнесенной к декартовой системе координат Oxy, показана на схеме. Нижняя часть буквы «Ь» ограничена кривыми линиями в форме эллипсов. Размеры буквы определяются следующими параметрами: высотой буквы H=0.35 м; шириной буквы W=0.19 м, толщиной стенок WL=0.04 м и размером полуоси внутреннего эллипса A=0.06 м. Дополнительные размеры, характеризующие размеры полуосей эллипсов, можно вычислить по заданным основным размерам, эти размеры показаны на схеме серым цветом. Материалом области является сталь с коэффициентом теплопроводности k= 46.7 (Вт/(м град)).

Граничные условия задачи:

- на нижнюю грань $-WL \le x \le 0$, $0 \le y \le -A - WL$ подается температура 180°C;
- на верхней грани $-WL \le x \le 0$, $0 \le y \le H - A - WL$ задан конвективный теплообмен со значениями коэффициента теплообмена 120 м$^{-1}$ и температурой внешней среды 0°C
- все остальные границы теплоизолированы.

Криволинейная часть области в виде буквы «Ь» представляет собой дуги эллипсов. Как известно, эллипс характеризуется положением своего центра и размерами полуосей. Для построения дуг эллипсов в Ansys для каждого эллипса нужно задать параметр эллиптичности PEL, который представляет собой отношение размера вертикальной полуоси к горизонтальной полуоси.



- Внутренняя часть – малый эллипс с центром O в начале координат, полуосями A и B=W−2WL и параметром эллиптичности PEL0=A/B.
- Внешняя часть – большой эллипс с центром O в начале координат, полуосями A1=A+WL и B1=W−WL и параметром эллиптичности PEL1=A1/B1.

1. Заголовок задачи

1.1. **Utility Menu>File>Change Title**
1.2. Набрать заголовок *Heat Flow in 2D region*
1.3. **OK**

2. Введение параметров для построения геометрии и конечно-элементной сетки

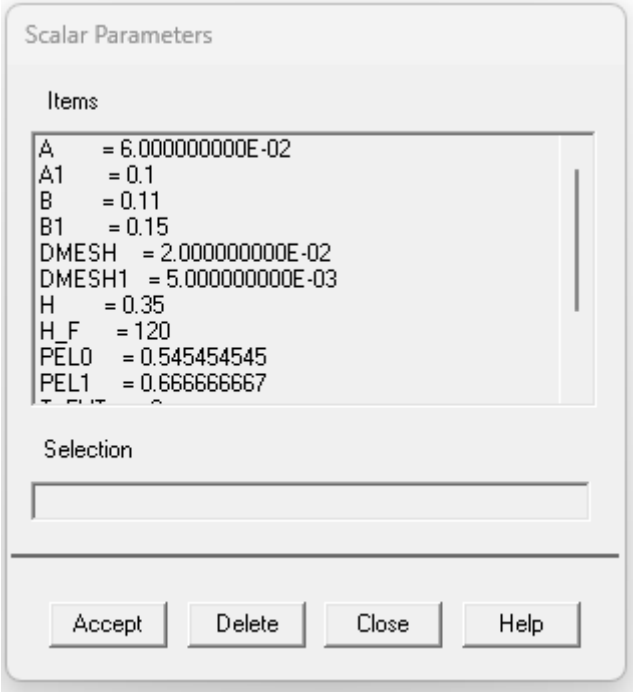
2.1. **Utility Menu>Parameters>Scalar Parameters**

2.2. В появившемся окне **Selection** ввести имена и значения параметров (после набора каждого параметра – **Accept**, комментарии набирать не нужно!).

```
H=0.35        ! Высота
W=0.19  ! Ширина
WL=0.04 ! Ширина стенок буквы "Ь"
A=0.06 ! размер вертикальной полуоси
внутреннего эллипса (малого)
B=W-2*WL ! размер горизонтальной
полуоси внутреннего эллипса (малого)
A1=A+WL ! размер вертикальной полуоси
внешнего эллипса (большого)
B1=W-WL ! размер горизонтальной
полуоси внешнего эллипса (большого)
PEL0=A/B ! Параметр эллиптичности
внутреннего малого эллипса (отношение
вертикальной полуоси к горизонтальной)
PEL1=A1/B1 ! Параметр эллиптичности
внешнего большого эллипса (отношение
вертикальной полуоси к горизонтальной)

T_INP=180    ! Температура на нижней
границе
T_EXT=0      ! Температура окружающей
среды для конвективных условий T_EXT=0
H_F=120      ! Коэффициент
конвективного теплообмена
```

2.3. **Close**



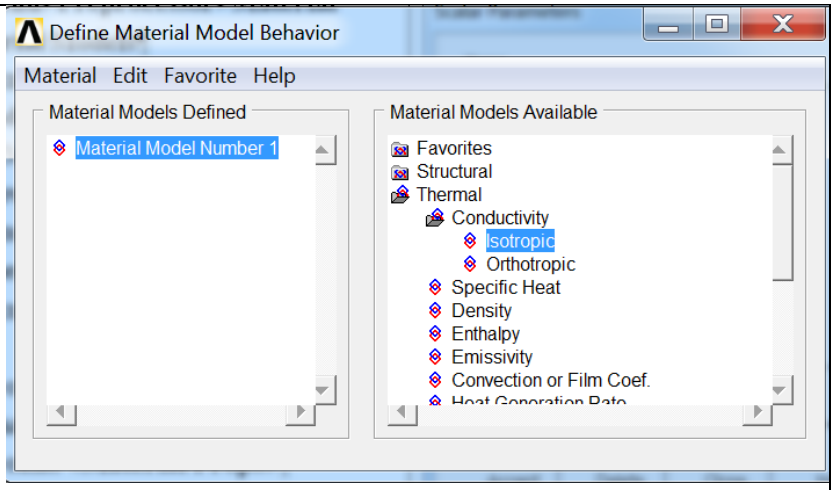
3. Задание материальных свойств (коэффициент теплопроводности KXX=46.7)

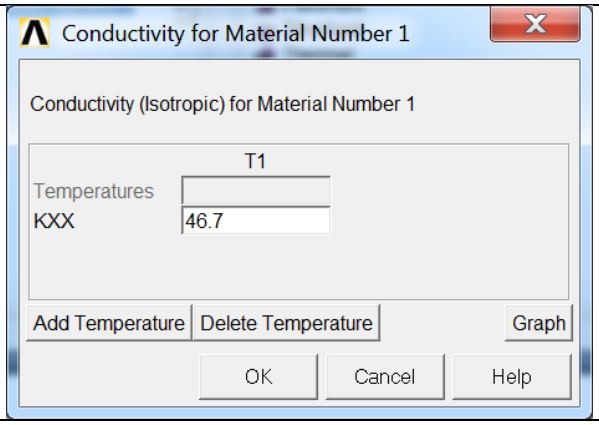
3.1. **Main Menu> Preprocessor > Material Props>Material Models** (появляется диалоговое окно «**Define Material Model Behavior**»)

3.2. В окне «**Material Models Available**» двойной щелчок левой кнопкой мыши на следующих последовательно появляющихся окошках: **Thermal**, **Conductivity**, **Isotropic**.

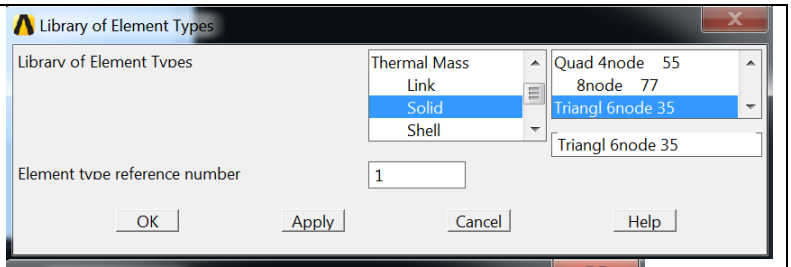
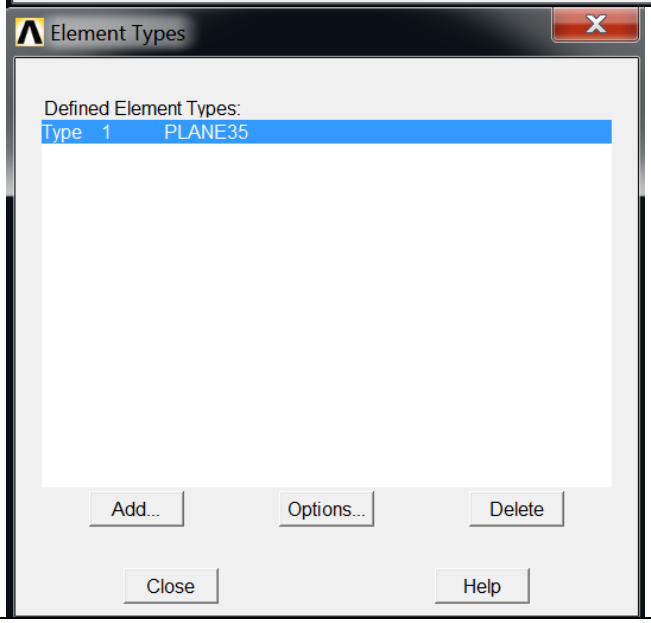
3.3. В поле для «**KXX**» ввести *46.7*

3.4. **OK**

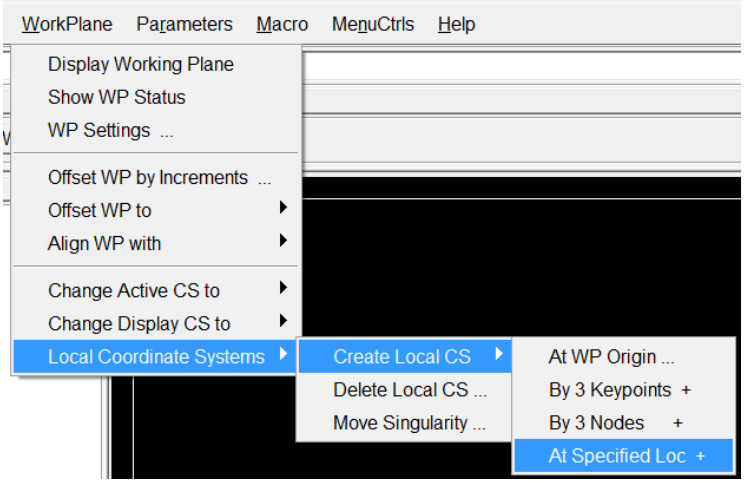
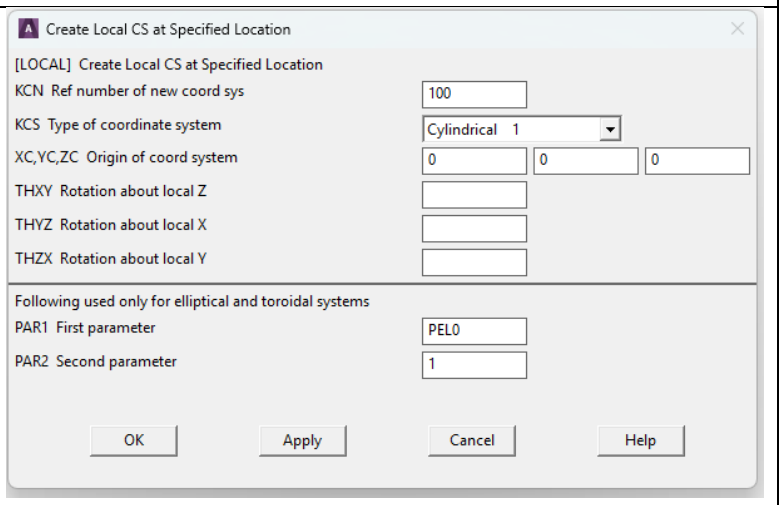


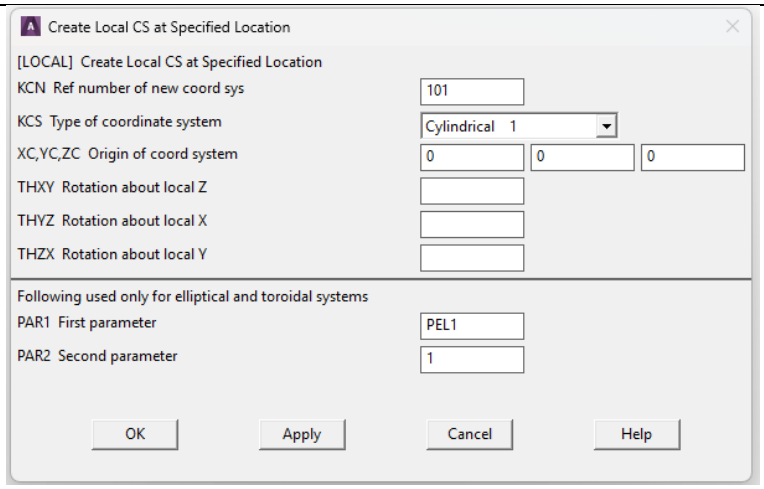
3.5. Закрыть окно «**Define Material Model Behavior**», выбрав **Material>Exit** или **x** 3.6. Закрыть окно «**Material Props**»	

4. Выбор типа конечных элементов (6-узловой треугольный температурный КЭ PLANE35)

4.1. **Main Menu>Preprocessor> Element Type>Add/Edit/Delete** 4.2. Выбрать «**Add…**» 4.3. Пролистать список библиотеки элементов (Library of Element Types) вниз и выбрать «**Thermal Solid**». Из крайнего справа списка выбрать «**Triangl 6node 35**» 4.4. **OK** 4.5. **Close** или **x** 4.6. Закрыть окно «**Element Type**» (В результате для TYPE=1 выбран шестиузловой треугольный температурный КЭ PLANE35)	 

5. Определение локальных систем координат

5.1. **Utility Menu> WorkPlane>Local Coordinate Systems>Create Local CS> At Specified Loc** (Внизу слева появляется окно «**Create CS at Location**», и предлагается указать в графическом окне координаты положения центра локальной системы координат) 5.2. В произвольном месте графического окна (лучше, ближе к центру) мышью отметить точку центра локальной системы координат (СК) 5.3. **OK**	
5.4. В открывшемся окне «**Create Local CS At Specified Location**» заменить значения следующих полей значениями *KCN*→100 (номер пользовательской СК, >10) *KCS* → *Cylindrical 1* (на основе глобальной цилиндрической) *XC, YX, ZC* → *0, 0, 0* (координаты центра) *PAR1* → *PEL0* (параметр эллиптичности) Будет задана локальная эллиптическая СК с номером 100 для малого эллипса на основе глобальной цилиндрической СК (номер 1) с центром в точке (0,0,0) и параметром эллиптичности PEL0 5.5. **Apply**	

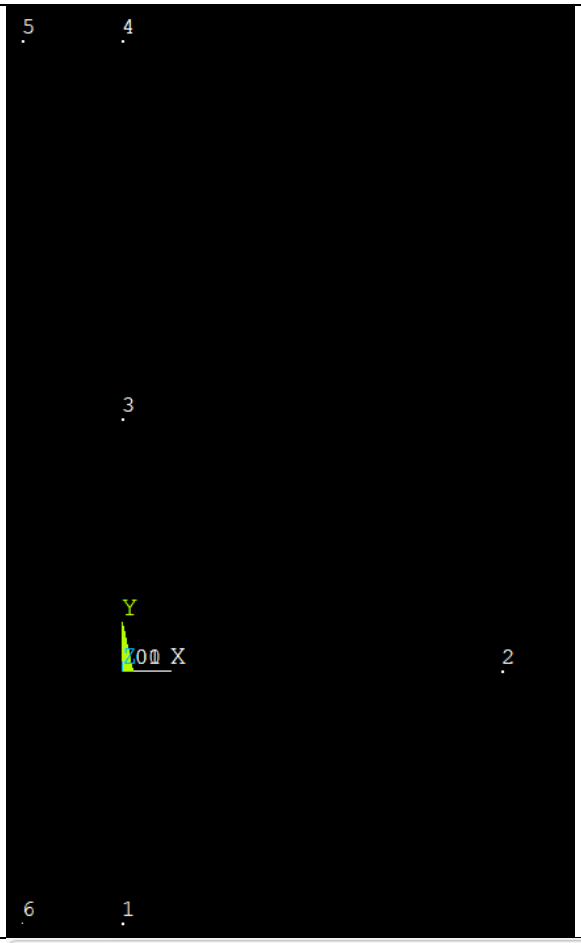
5.6. Снова в центре графического окна мышью отметить точку центра локальной системы координат 5.7. **OK** 5.8. В окне «**Create Local CS At Specified Location**» заменить значения следующих полей значениями *KCN*→101 (номер пользовательской СК, >10) *KCS* → *Cylindrical 1* (на основе глобальной цилиндрической) *XC, YX, ZC* → *0, 0, 0* (координаты центра) *PAR1* → *PEL1* (параметр эллиптичности) Будет задана локальная эллиптическая СК с номером 101 для большого эллипса на основе глобальной цилиндрической СК (номер 1) с центром в точке (0,0,0) и параметром эллиптичности PEL1 5.9. **OK** 5.10. Переход в основную декартовую систему координат **Utility Menu> WorkPlane>Change Active CS to>Global Cartesian** Установим в качестве активной СК глобальную декартову СК.	

6. Создание геометрической модели

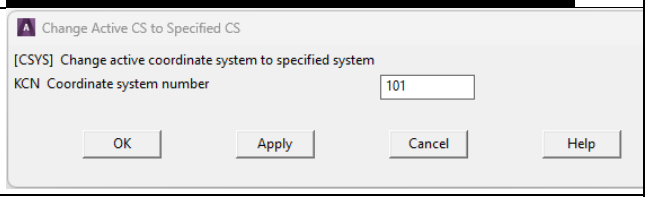
6.1. Определение основных точек

Main Menu>Preprocessor>Modeling> Create>Keypoints>In Active CS
Используя окно «**Create Keypoints in Active Coordinate System**», задать точки

NPT→ 1
X, Y → 0, −A1
Apply
NPT→ 2
X, Y → B1, 0
Apply
NPT→ 3
X, Y → 0, A1
Apply
NPT→ 4
X, Y → 0, H−A1
Apply
NPT→ 5
X ,Y → −WL, H−A1
Apply
NPT→ 6
X, Y → −WL, −A1
OK x

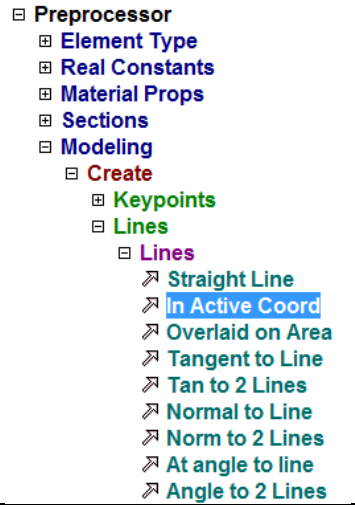


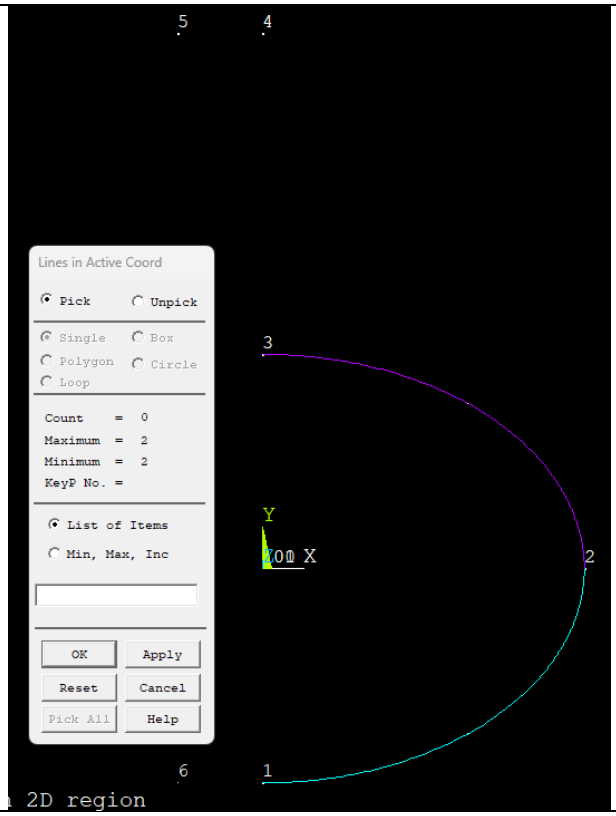
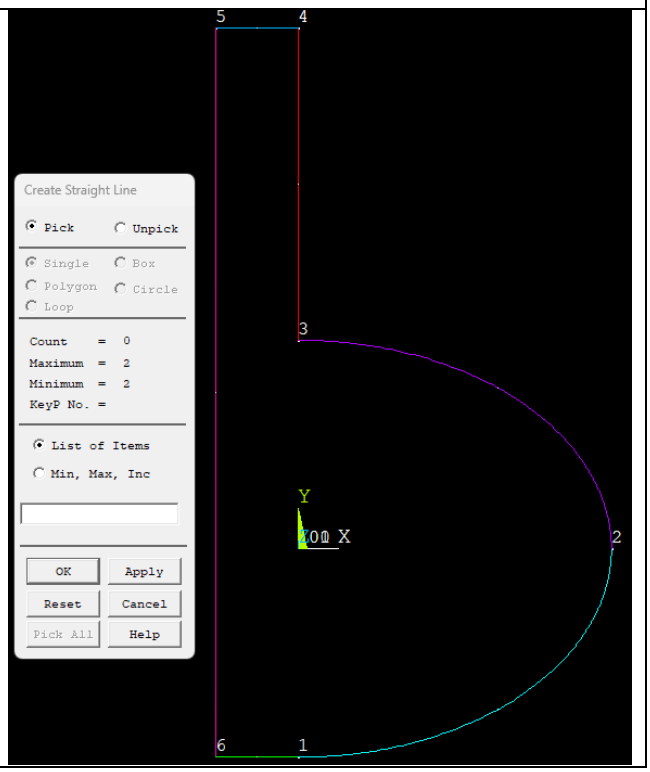
6.2. Переход в систему координат с номером 101 для построения большого эллипса
Utility Menu> WorkPlane>Change Active CS to>Specified Coord Sys… → *101*
OK

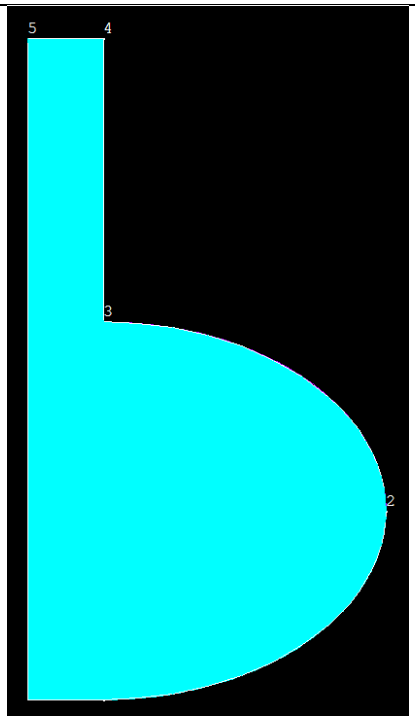
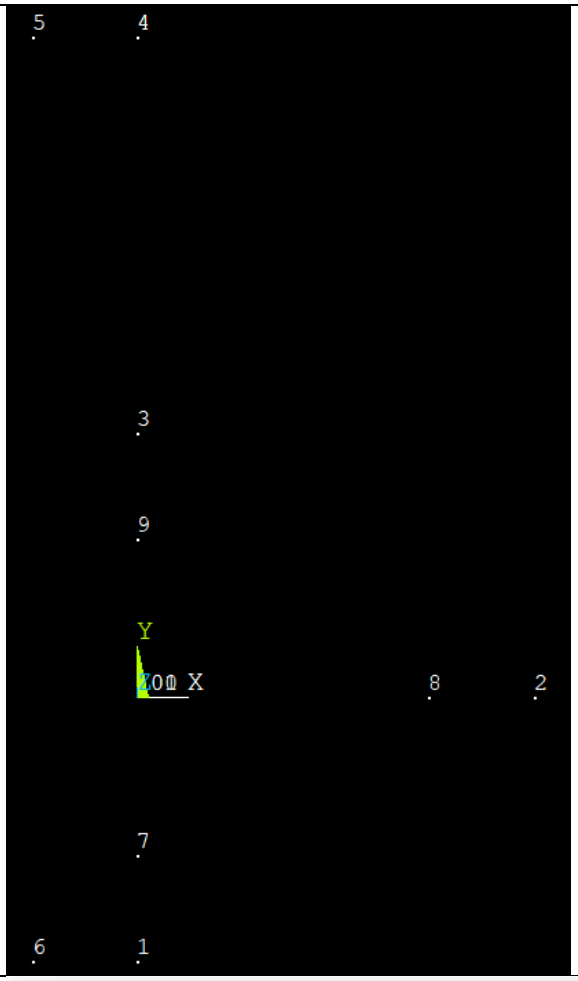
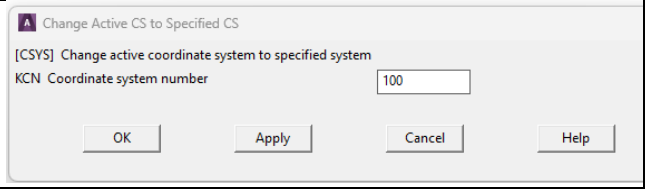


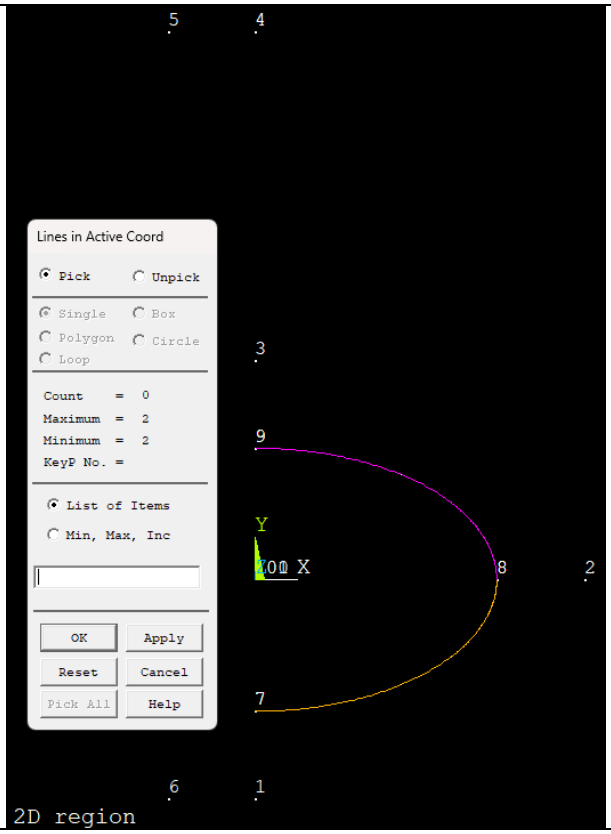
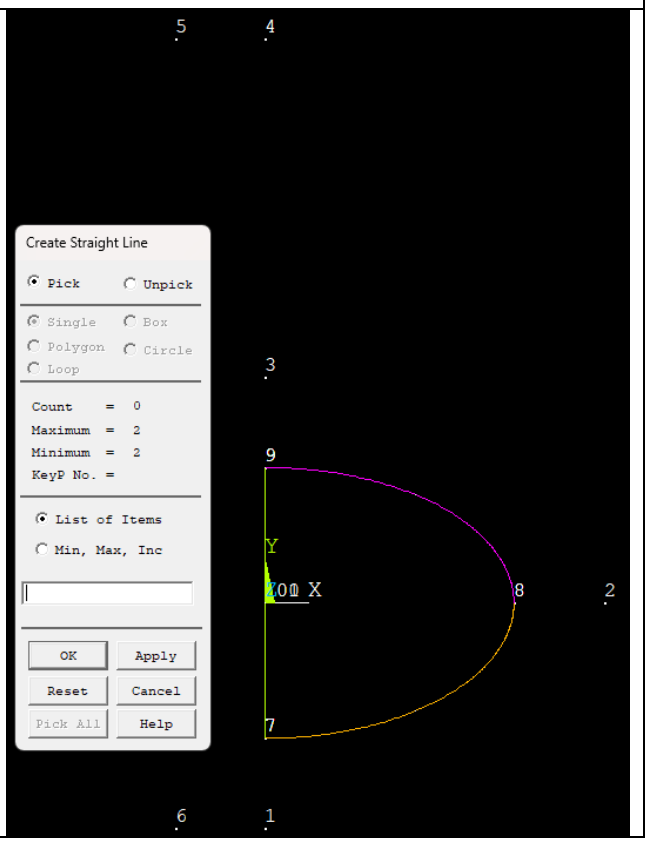
6.3. Определение линий в системе координат 101 (дуг эллипсов)
Main Menu>Preprocessor>Modeling> Create> Lines>Lines>In Active Coord

В активной эллиптической СК линия, соединяющая две точки, будет дугой эллипса с заданным параметром эллиптичности.

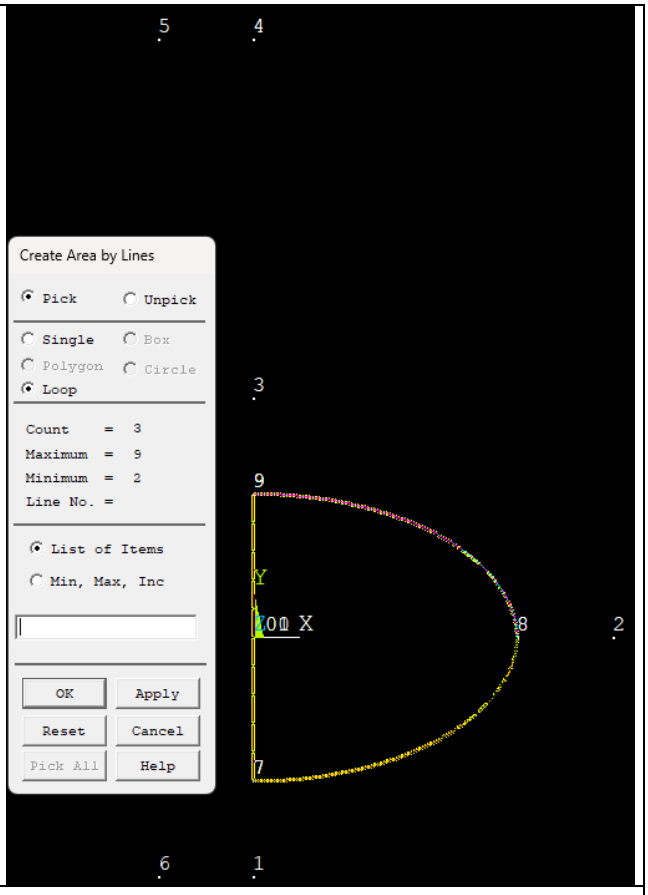


Слева появляется окно «**Lines in Active Coord**» В графическом окне пометить точку 1 и соединить ее с точкой 2, затем – точку 2 с точкой 3 **OK**	
6.4. Переход в основную декартовую систему координат **Utility Menu> WorkPlane>** **Change Active CS to> Global Cartesian**	
6.5. Определение прямых линий **Main Menu>Preprocessor>** **Modeling>Create>Lines>Lines>Straight Line** Слева появляется окно «**Create Straight Line**» В графическом окне пометить точку 3 и соединить ее с точкой 4, затем – точки 4 с 5, 5 с 6, 6 с 1 **OK** → (Закрыть окно «**Lines**»)	

6.6. Определение плоской области по линиям **Main Menu>Preprocessor> Modeling>Create>Areas > Arbitrary>By Lines** Слева появляется окно «**Create Area by Lines**». В нем для удобства вместо **Single** выбрать **Loop**. Нажатием левой кнопки мыши в графическом окне выбрать все линии. **OK** → (Закрыть окно «**Areas**»)	
6.7. Определение дополнительных опорных точек для отверстия **Utility Menu>Plot>Keypoints** (отобразите нумерацию точек: **Utility Menu>PlotCtrls>Numbering** В появившемся окне «**Plot Numbering Controls**» включить нумерацию опорных точек KP Keypoint numbers → ✓ **OK**) **Main Menu>Preprocessor> Modeling>Create>Keypoints>In Active CS** Используя окно «**Create Keypoints in Active Coordinate System**», задать точки *NPT* → *7* *X, Y* → *0, −A* **Apply** *NPT*→ *8* *X ,Y* → *B, 0* **Apply** *NPT*→ *9* *X, Y* → *0, A* **OK**	
6.8. Переход в систему координат с номером 100 для построения малого эллипса **Utility Menu> WorkPlane>Change Active CS to>Specified Coord Sys…** → *100*	

6.9. Определение линий в системе координат 100 (дуг эллипсов) **Main Menu>Preprocessor> Modeling>Create>Lines>Lines>In Active Coord** Слева появляется окно «**Lines in Active Coord**» В графическом окне пометить точку 7 и соединить ее с точкой 8, затем – точку 8 с точкой 9 **OK**	
6.11. Переход в основную декартовую систему координат **Utility Menu> WorkPlane>Change Active CS to> Global Cartesian**	
6.12. Определение прямой линии **Main Menu>Preprocessor> Modeling>Create>Lines>Lines>Straight Line** Слева появляется окно «**Create Straight Line**» В графическом окне пометить точку 9 и соединить ее с точкой 7 **OK**	

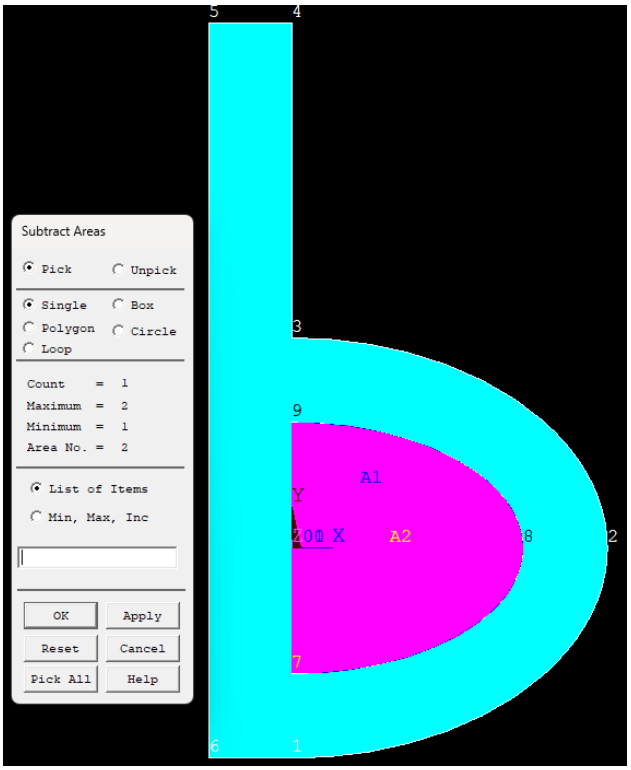
6.13. Определение плоской области по линиям
Main Menu>Preprocessor> Modeling> Create>Areas >Arbitrary>By Lines
Слева появляется окно «**Create Area by Lines**». В нем для удобства вместо **Single** выбрать **Loop**.
Нажатием левой кнопки мыши в графическом окне на одну из новых линий выбрать все новые линии.
OK



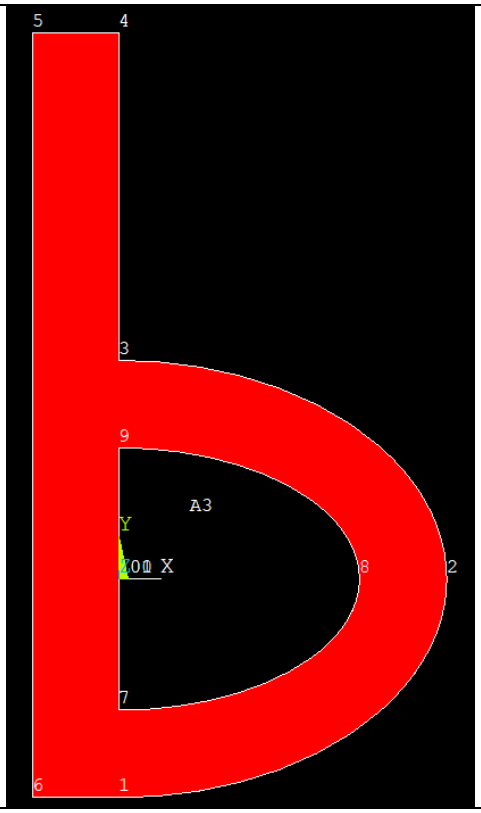
6.14. Создание новой области (с номером 3) проведением булевой операции «Subtract» - вырезания из большой области 1 малой области 2

Сначала следует отобразить области:
Utility Menu >Plot>Areas
(отобразите нумерацию областей:
Utility Menu>PlotCtrls>Numbering
В появившемся окне «**Plot Numbering Controls**» включить нумерацию областей
Area numbers→ ✓
OK)

Main Menu>Preprocessor> Modeling>Operate>Booleans>Subtract>Areas
Слева появляется окно «**Subtract Areas**»
В графическом окне сначала отметить первую область (большую) → **OK**
Затем отметить вторую область (малую) → **OK**

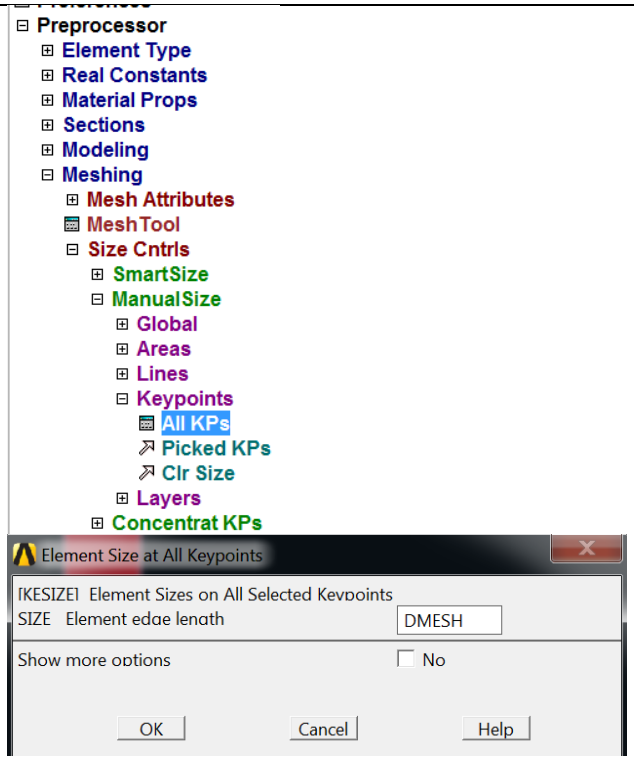


В результате получается итоговая область 3
Если номер не отобразится сразу, выполните **Main Menu>Plot>Replot**



7. Создание сетки конечных элементов

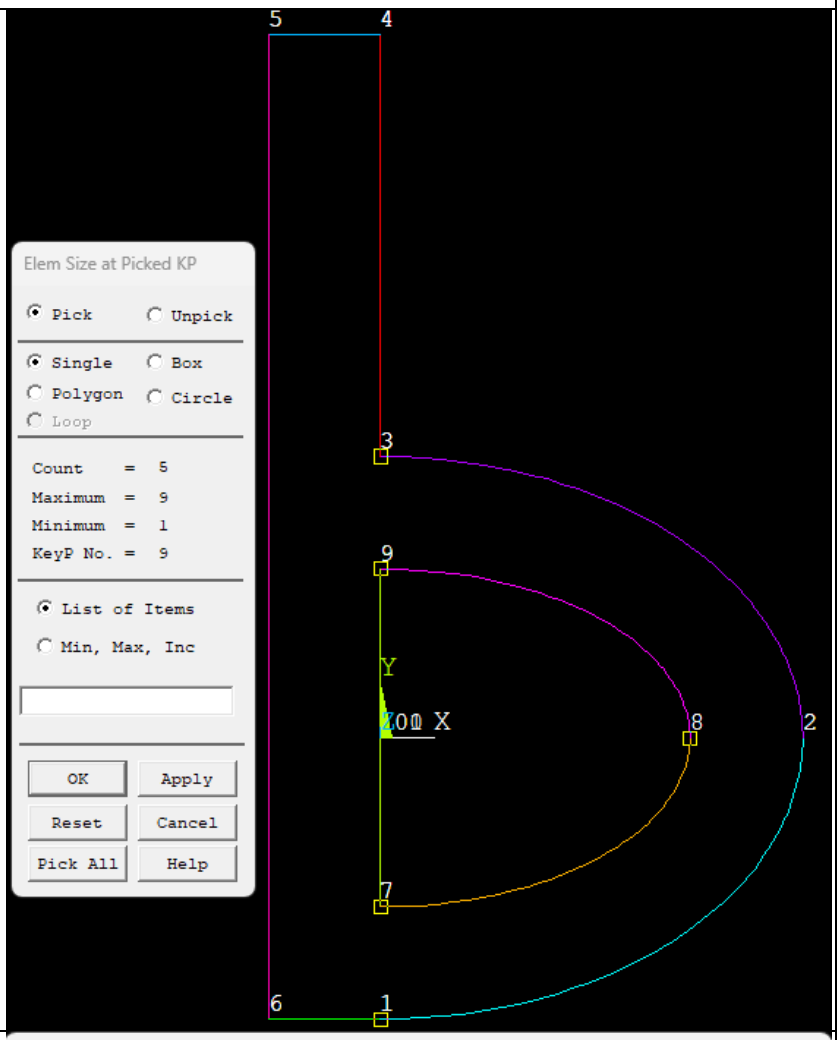
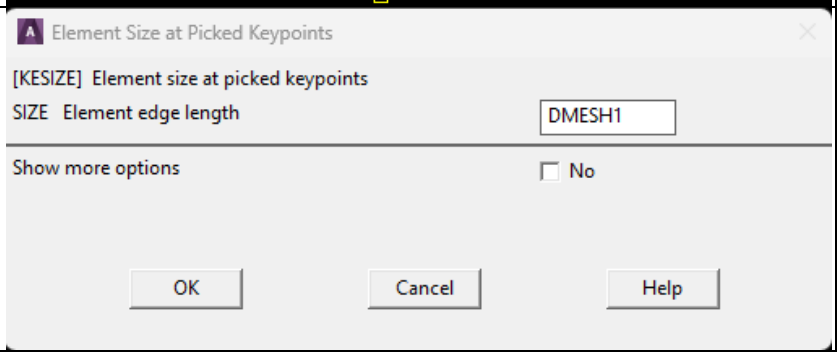
7.1. Установка размеров конечных элементов вблизи всех опорных точек
Main Menu>Preprocessor>Meshing> Size Cntrls>ManualSize>Keypoints > All KPs

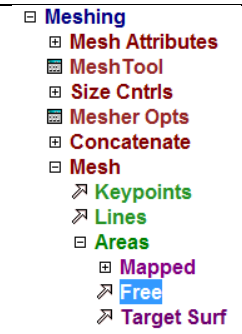
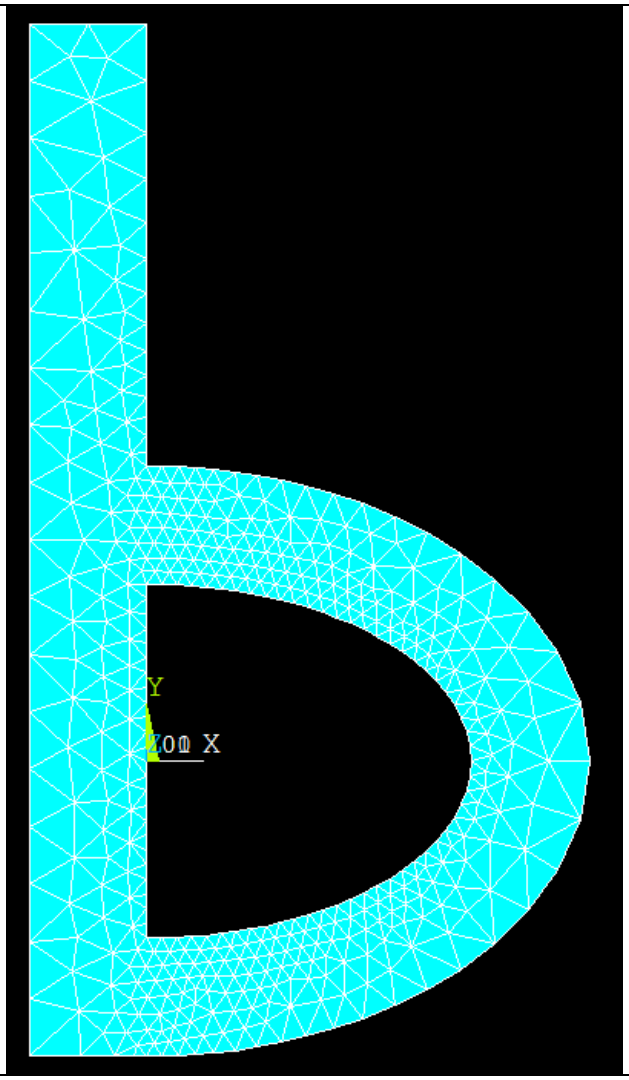


Зададим одинаковый базовый размер DMESH для всех опорных точек

В окне «**Element Sizes on All Selected Keypionts**» задать размеры элементов
SIZE Element Edge length → *DMESH* **OK**

Также базовый размер DMESH

можно задать не вблизи опорных точек, а как глобальный размер: **Main Menu>Preprocessor>Meshing> Size Cntrls>ManualSize>Global> Size**	
Вблизи выбранных опорных точек зададим меньший размер DMESH1 для сгущения сетки: **Main Menu>Preprocessor> Meshing>Size Cntrls>ManualSize>Keypoints > Picked KPs** Для удобства выбора отобразите линии (нумерация точек включена) **Utility Menu >Plot>Lines** Слева появляется окно «**Elem Size at Picked KP**» В графическом окне отметить пять точек с номерами 1, 3, 7, 8, 9 **Apply**	
В окне «**Element size at picked keypionts**» задать другой размер элементов для сгущения сетки SIZE Element Edge length → *DMESH1* **OK**	

7.2. Построение сетки конечных элементов в области 3 **Main Menu>Preprocessor> Meshing>Mesh>Areas>Free** В графическом окне отметить область В окне «**Mesh Areas**» выбрать **OK**	
В результате получим	

8. Выход из препроцессора

Preprocessor → x

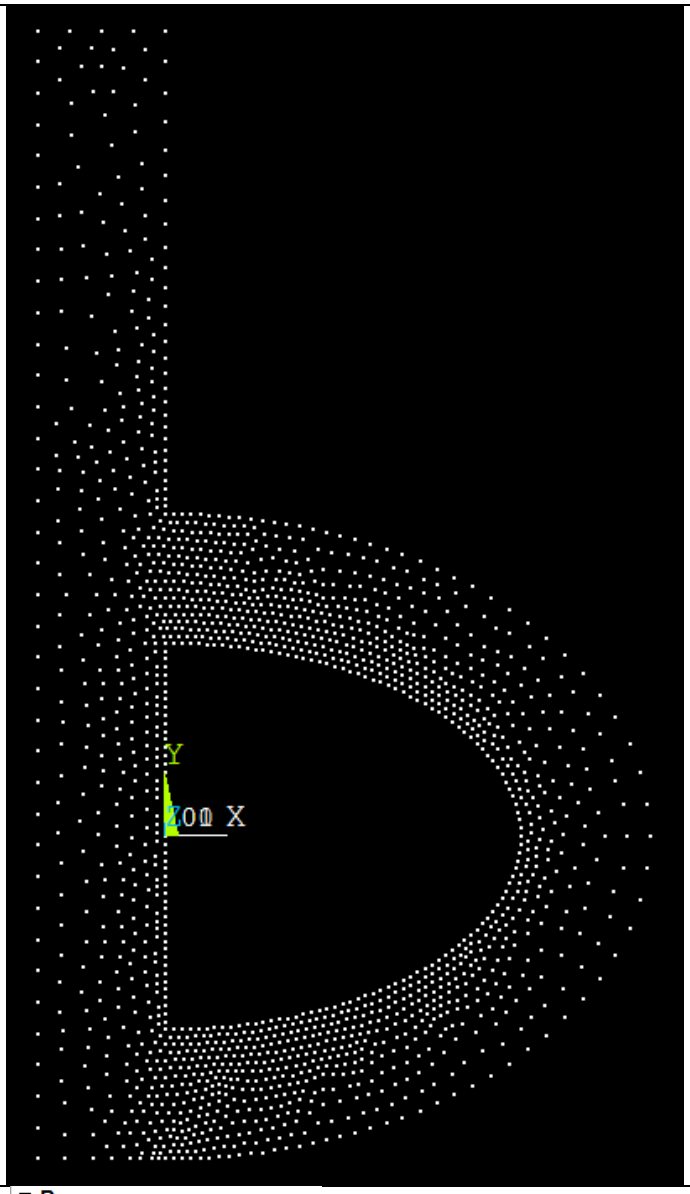
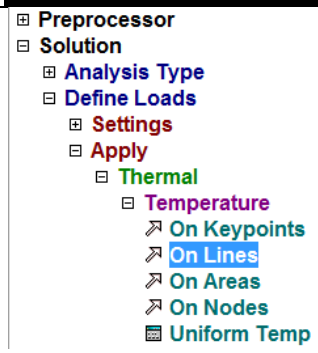
9. Запуск этапа решения «Solution»

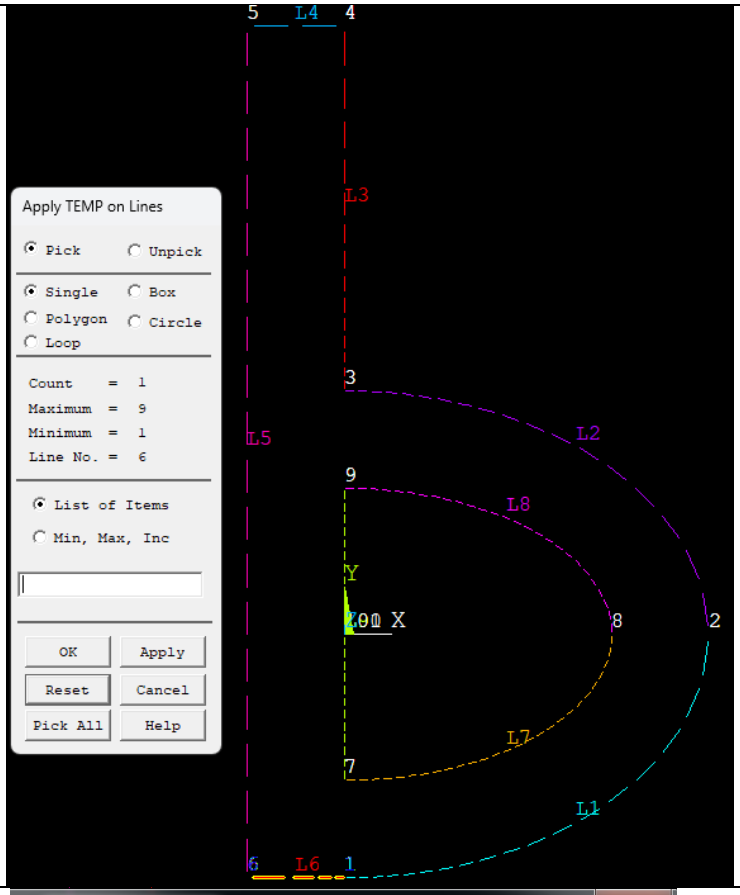
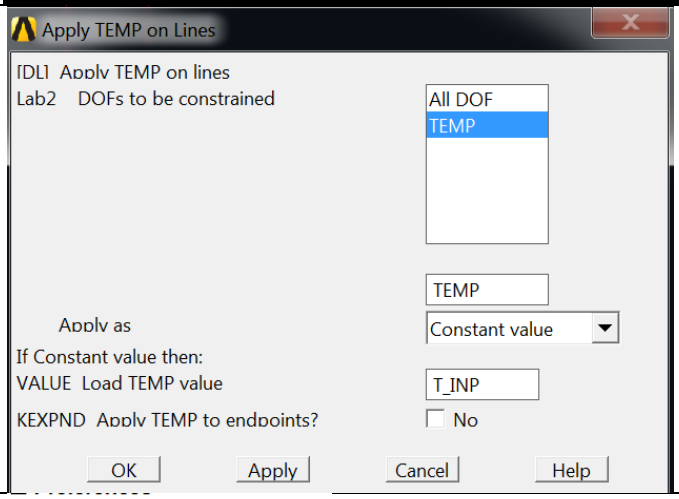
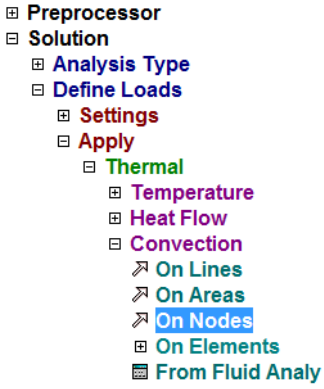
Main Menu>Solution

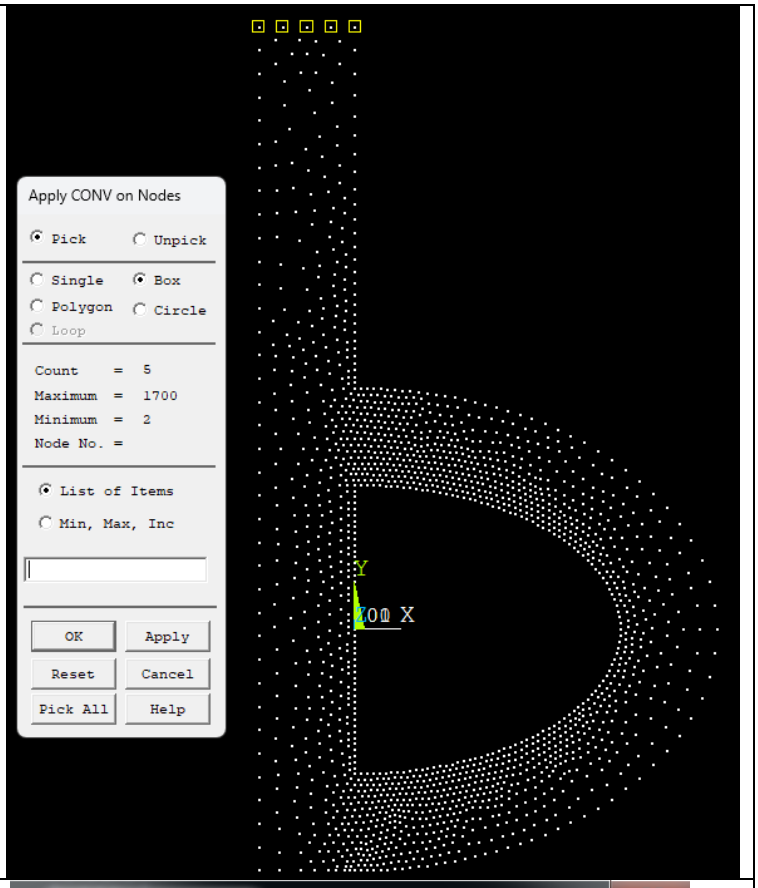
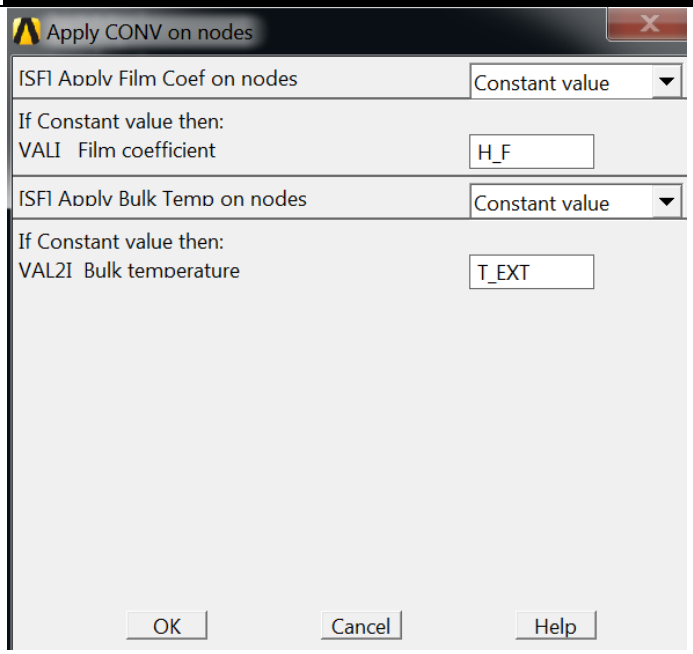
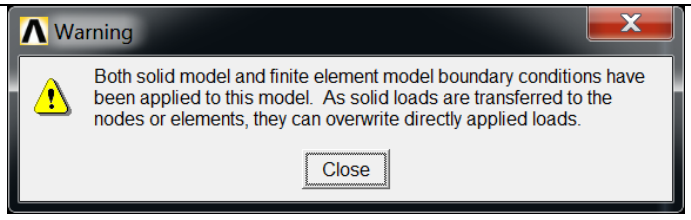
10. Выбор типа анализа

Main Menu>Solution>Analysis Type>New Analysis
OK (по умолчанию выбран тип анализа **Steady-State**)

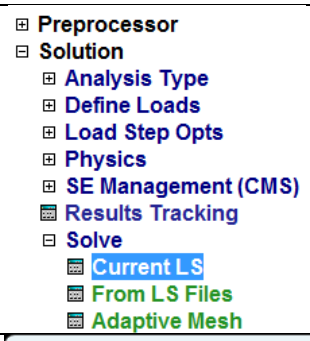
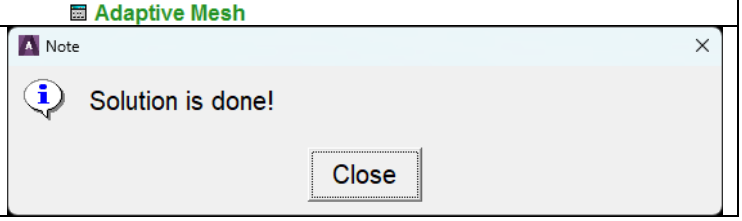
11. Ввод граничных условий

Отобразим узлы конечно-элементной сетки **Utility Menu>Plot>Nodes**	
11.1. Ввод условия 1 рода (задание температуры на части границы) <u>Граничные условия на твердотельную модель</u> **Utility Menu> Plot>Lines** (дополнительно отобразить нумерацию линий) **Main Menu>Solution>Define Loads> Apply>Thermal>Temperature>On Lines**	

В появившемся окне «**Apply TEMP on Lines**» указать нижнюю линию L6. **OK**	
В новом окне «**Apply TEMP on Lines**» задать значение температуры VALUE Load TEMP value → *T_INP* **OK**	
11.2. Ввод условия 3 рода (условия конвективного теплообмена) <u>Граничные условия на конечно-элементную модель</u> **Utility Menu> Plot>Nodes** **Main Menu> Solution>Define Loads>Apply>Thermal>Convection> On Nodes**	

В появившемся окне «**Apply CONV on Nodes**» выбрать режим «**Box**» Подведя курсор к левому верхнему узлу модели, нажав левую кнопку мыши и двигая мышь вправо по верхней границе модели, отметить все узлы на верхней границе (с координатой Y=H−A−WL) **OK**	
В новом окне «**Apply CONV on nodes**» задать значение коэффициента теплообмена «**Film coefficient**» и температуры окружающей среды «**Bulk temperature**» VALI Film coefficient → *H_F* VAL2I Bulk temperature → *T_EXT* **OK**	
После этого возникнет предупреждение о том, что были применены одновременно твердотельные и конечно-элементные граничные условия. Окно предупреждения закрыть.	

12. Запуск процедуры решения конечно-элементной задачи

Main Menu>Solution>Solve>Current LS **OK**	
Закрыть появившееся окно Note. Solution is done! → Close	

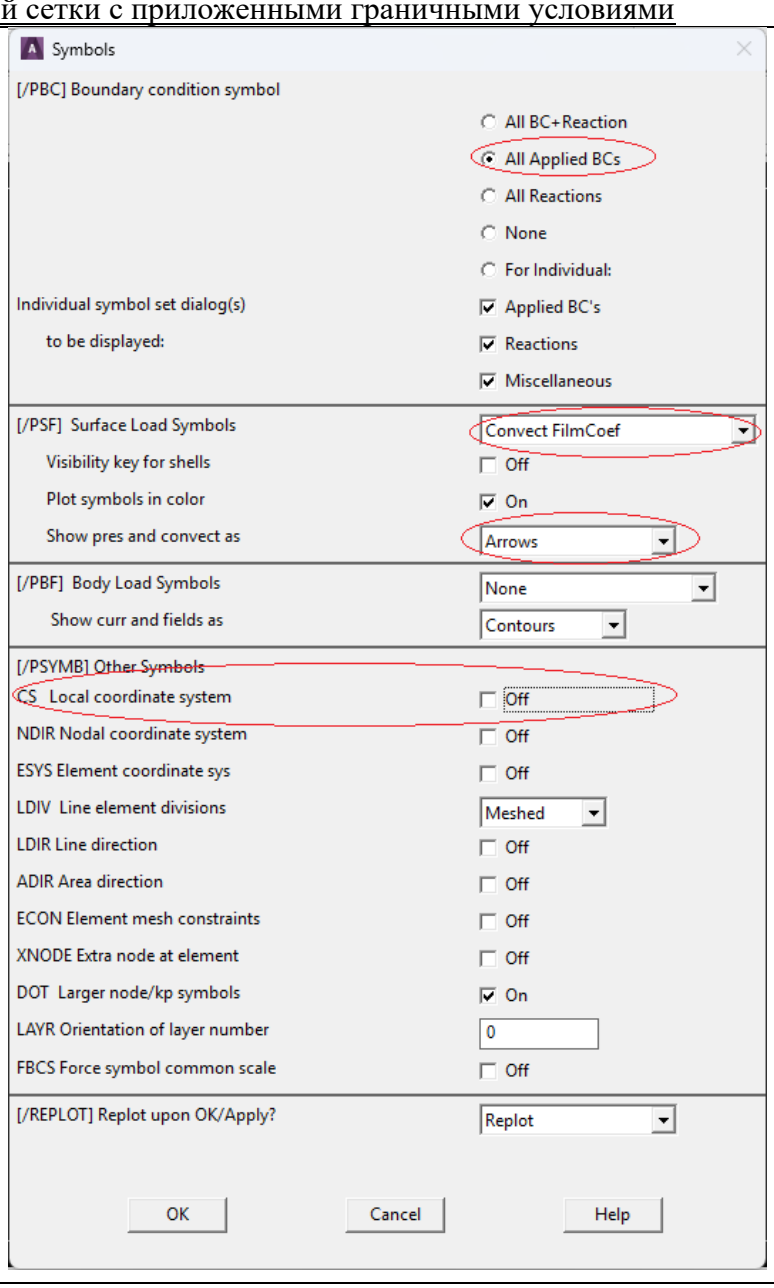
13. Вывод конечно-элементной сетки с приложенными граничными условиями

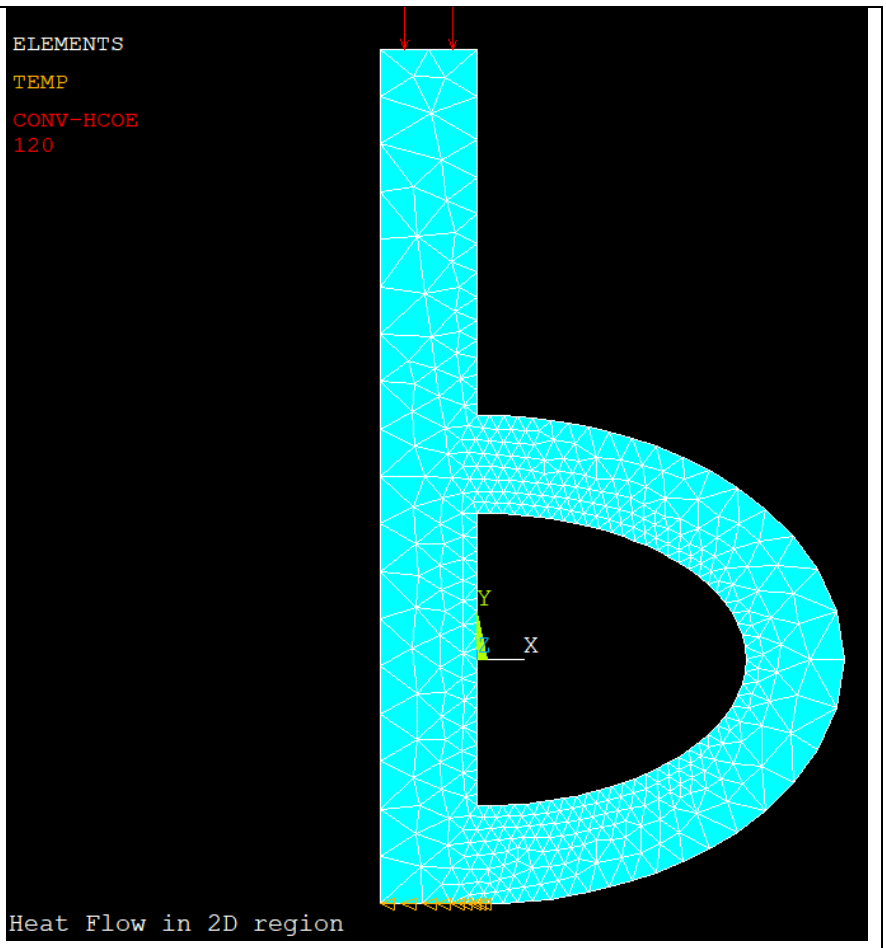
13.1. Настройки вывода
Utility Menu>PlotCtrls>Symbols
В открывшемся окне отметить:

/PBC Boundary condition symbol All Applied BCs

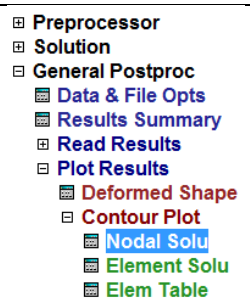
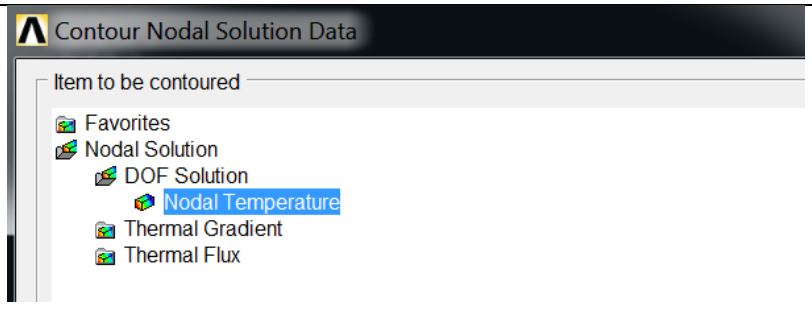
/PSF Surface Load Symbols → ConvectFilmCoef
Show pres and convect as → Arrows

На этапе обработки результатов можно не показывать локальную систему координат:
/PSYMB Other Symbols → Off (снять галочку)

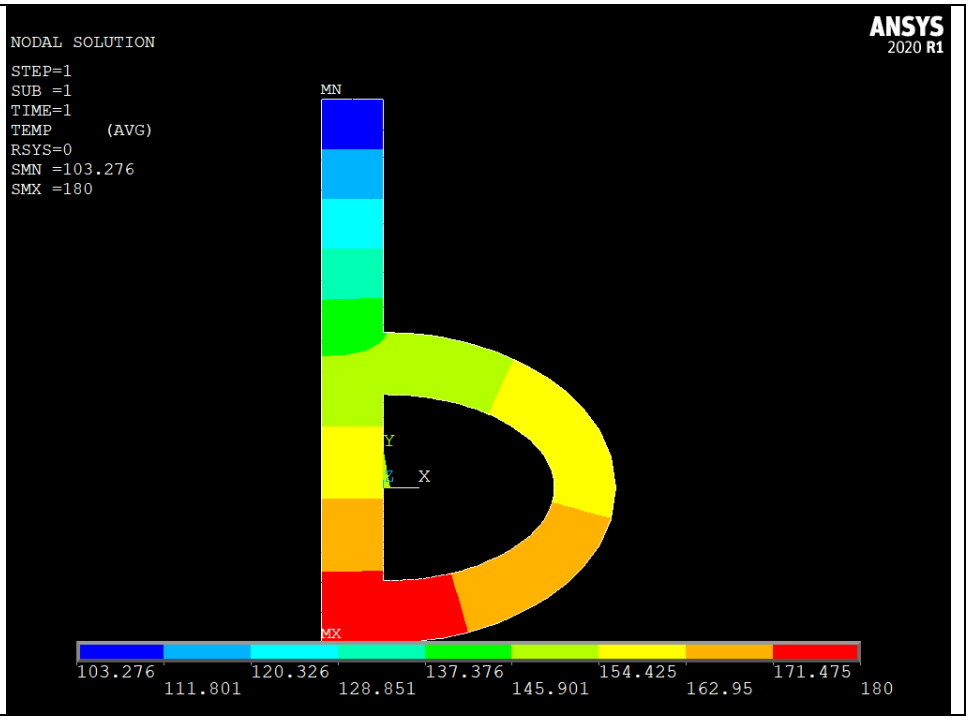


13.2 Отображение элементов **Utility Menu>Plot>Elements** В результате будет выведена конечно-элементная сетка с приложенными граничными условиями. По данной картинке можно проконтролировать, что граничные условия приложены верно. Далее можно выключить отображение граничных условий: **Utility Menu>PlotCtrls>Symbols** В открывшемся окне отметить: /PBC Boundary condition symbol → None	

14. Запуск постпроцессора POST1

Main Menu>General Postproc>Plot Results> Contour Plot>Nodal Solu	
Отобразим распределение температуры. Для этого в появившимся меню следует выбрать **DOF Solution Nodal Temperature**	

В результате получим картину распределения температуры. По умолчанию шкала будет расположена внизу – стиль Multilegend.

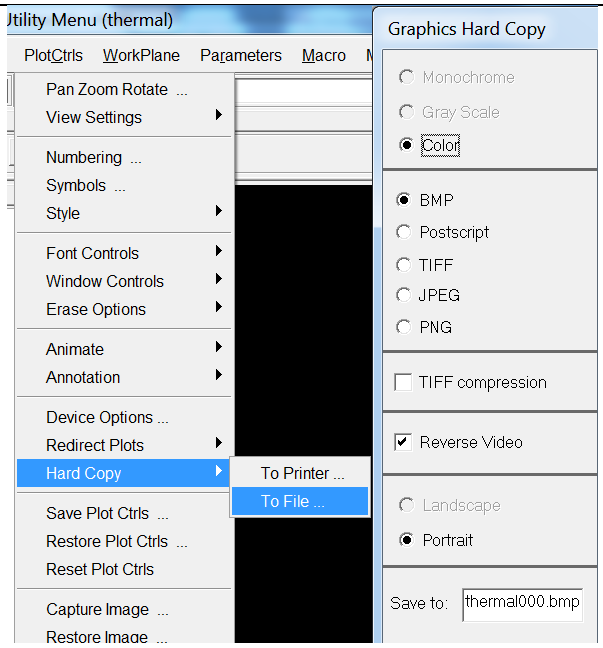


15. Сохранение полученной графической картинки в файл

Utility Menu >PlotCtrls>Hard Copy>To File…
В появившемся окне «**Graphics Hard Copy**»
при желании изменить имя файла вывода в окне **Save to**
OK

В результате будет создан bmp-файл с именем, показанным в окне **Save to,** содержащий картинку распределения температуры, причем цвет фона будет инвертирован с черного на белый (так как был выбран режим **Reverse Video**)

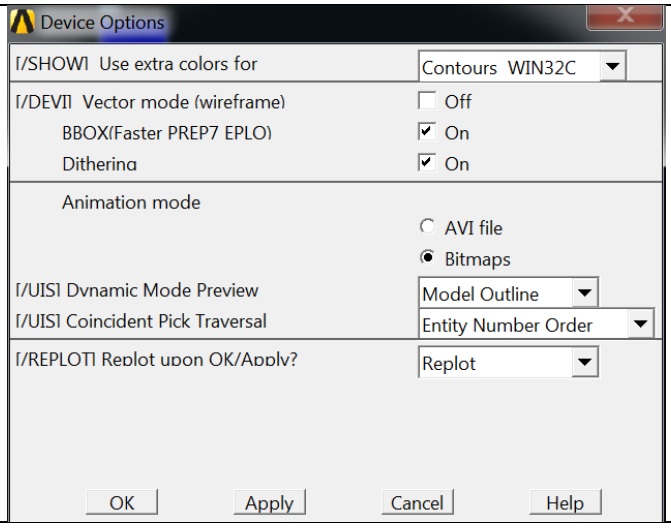
Другой способ:
Utility Menu >PlotCtrls->Write Metafile
Рекомендуется выбрать Invert White/Black для инвертации фона с черного на белый. Рисунок можно сохранить в выбранной папке как метафайл файл с расширением .emf или .wmf. Этот способ дает наилучшее качество рисунка.



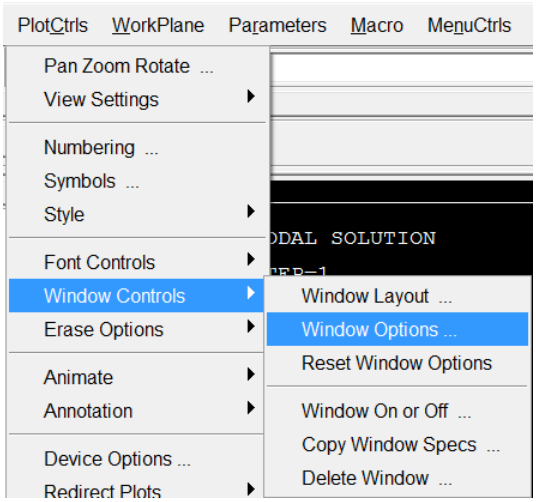
16. Изменение вида вывода постпроцессора

16.1 Изменение графического устройства по умолчанию (для возможности изменения количества цветов)

Utility Menu>PlotCtrls> DeviceOptions…
В появившемся окне «**DeviceOptions**» выбрать имя графического устройства
/SHOW Use extra color for
→ Contours WIN32C
OK



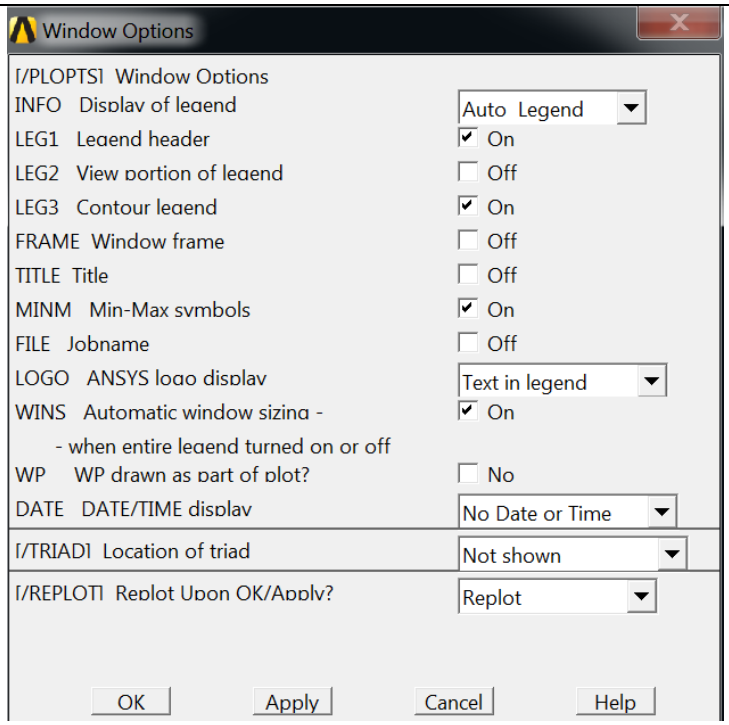
16.2 Настройка опций вывода в текущем окне
Main Menu>PlotCtrls>Window Controls> Window Options

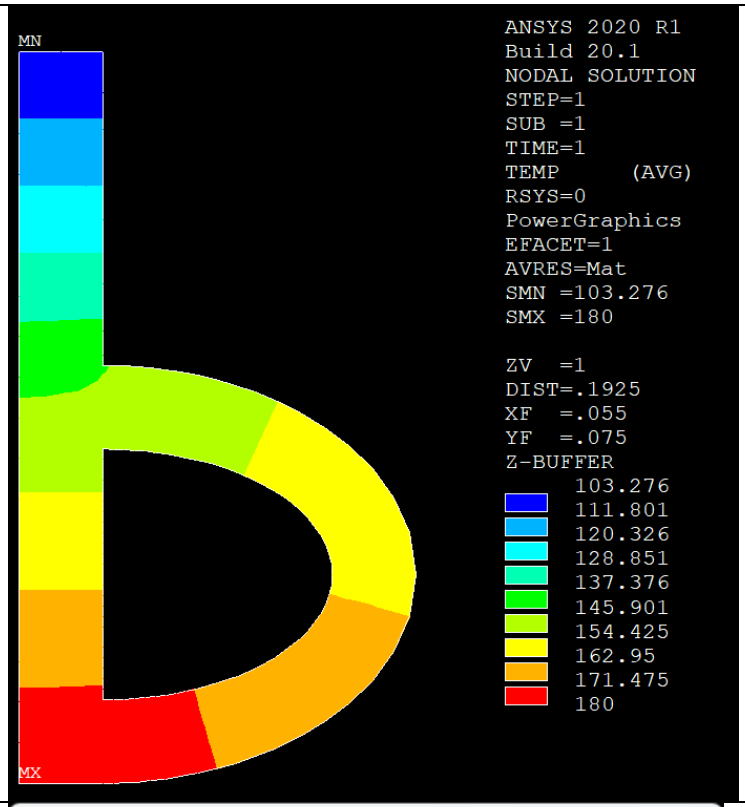
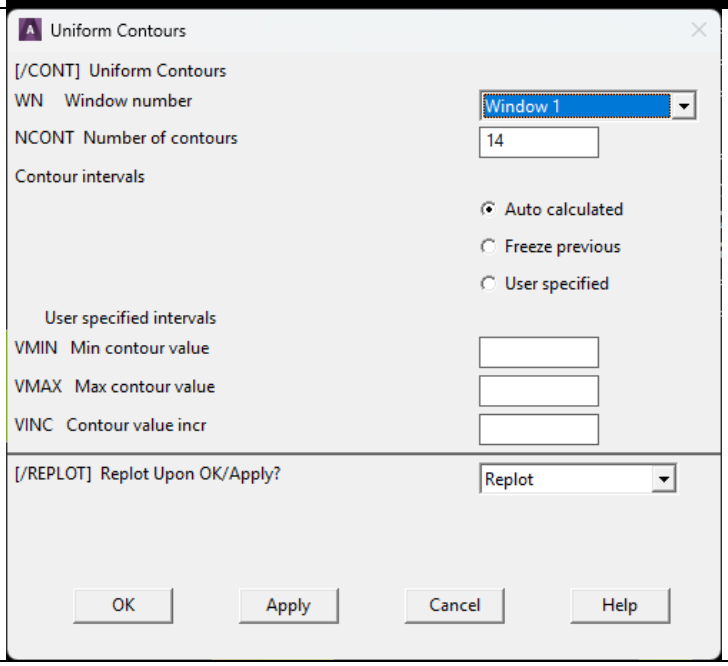


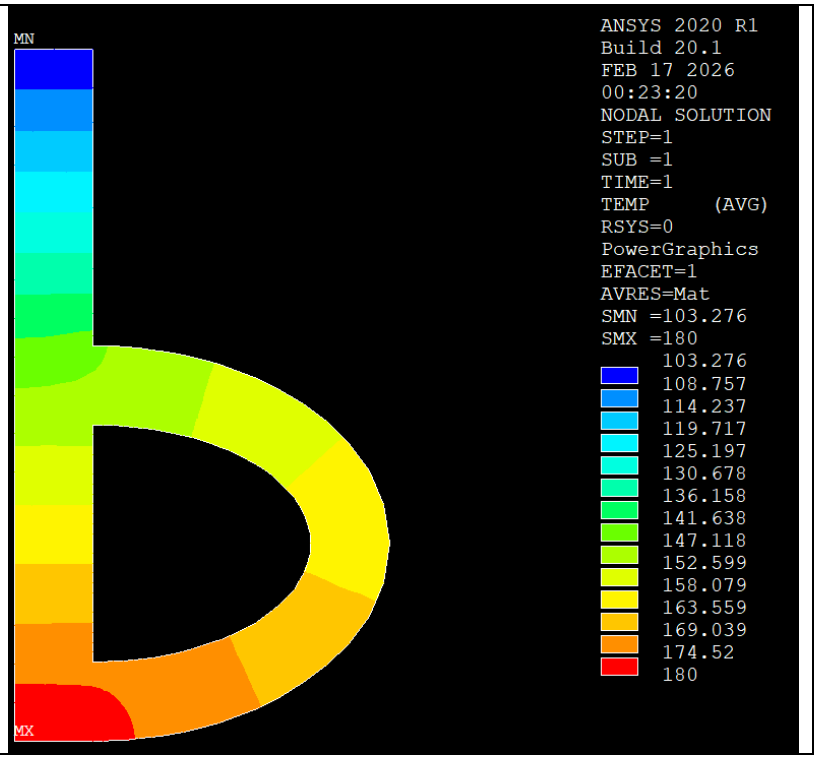
В появившемся окне «**Window Options**» выбрать
INFO Display of legend → Auto legend

LEG2 View portion of legend → Off

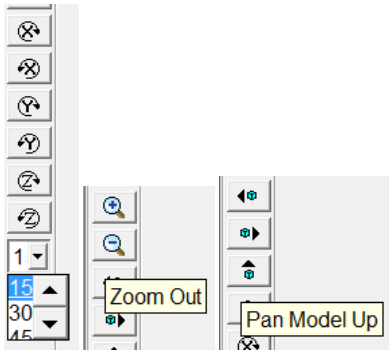
FRAME Window frame → Off
TITLE Title → Off
LOGO ANSYS logo display → Text in legend
DATE DATE/TIME display → No Date or Time
[/TRIAD] Location of triad → Not shown
OK



Вывод изменит вид	
16.3. Настройка количества цветов в шкале **Utility Menu> PlotCtrls> Style> Contours> Uniform Contours…** В появившемся окне « **Uniform Contours** » задать NCONT Number of contours → *14* **OK**	

Посмотреть на изменившуюся картинку	

17. Улучшение вида расчетной области

Среди находящихся справа пиктограмм для управления графическим выводом выбрать Rate of Change for Model Manipulation → 15 (задает уровень чувствительности движений мыши) Нажать на пиктограмму с подписью Zoom Out Нажать на пиктограмму с подписью Pan Model Up	

18. Запоминание результатов и выход из ANSYS

Utility Menu >File>Exit.. или **x**
В появившемся окне «**Exit from ANSYS**» выбрать
Save Everything
OK