Министерство образования и науки Российской Федерации Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана»

Лабораторная работа по дисциплине «Модели и методы анализа проектных решений» на тему: «Метод конечных разностей»

Вариант №42

Выполнил: Буличев О.В.

Группа: РК6-63

Преподаватель: Трудоношин В.А.

Проверил:_____

Дата:_____

Москва, 2015

Условие задачи.

С помощью неявной разностной схемы решить нестационарное уравнение теплопроводности для прямоугольной пластины размером 8*3см. Начальное значение температуры пластины - 10 градусов.

Граничные условия следующие: верхняя и верхняя половина правой границы теплоизолированы, на остальной части границы температура 400 градусов.

При выводе результатов показать динамику изменения температуры (например, с помощью цветовой гаммы).

Отчет должен содержать: текст программы, рисунок объекта с распределением температуры в момент времени 25 сек сравнение результатов расчета с результатами, полученными с помощью пакета ANSYS.

Решение

Неявная разностная схема

1. *Метод решения*

Неявная разностная схема

$$\frac{T_{i,j}^{k+1}-T_{i,j}^{k}}{\Delta t}=k_1\frac{T_{i+1,j}^{k+1}-2T_{i,j}^{k+1}+T_{i-1,j}^{k+1}}{\Delta x^2}+k_2\frac{T_{i,j+1}^{k+1}-2T_{i,j}^{k+1}+T_{i,j-1}^{k+1}}{\Delta y^2}$$

Концепция программы

Визуализацию было решено делать в гнуплоте. Программа разделяется на 3 блока : Гаусс(прямой и обратный ходы), генерация матрицы и свободных членов, и печать в файл неизвестных членов.

Было решено задать матрицу не двумерным массивом, а одномерным, поэтому получить нужные индексы было нетривиальной задачей:

Пример : **mA[Nm*(sv) + i - 1 + (NoX*j)]**

Nm*(sv) - перемещаемся по уравнениям(каждый раз перемещаемся на одно уравнение ниже)

когда i +/- 1 то просто прибавляем их

когда j+/-1 то +/- NoX так как у нас уравнение записывется в одну линию и чтобы переместиться на слой выше/ниже мы проходим как раз 1 раз по x

NoX*j - чтобы записывать уравнения в зависимости от уровня(смещение получается как бы)

Генерация матрицы была сделана так, чтобы можно было просто добавить или убавить граничное условие(нужно добавить просто новое условие)

Текст программы (с комментариями)

```
#define nodePerL 1  // число узлов на ед длины
#define LENX 9    // число узлов по x
#define LENY 5     // число узлов по y
#define T0 10.0       // начальная температура
#define T1 400.0      // граничное условие право-низ
#define T2 0.0 // термоизоляция
#define Leng LENX*LENY //Длина

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>

int Nm, modTime;  // nm - размер матрицы Modtime - время решения (то которое задано по заданию)
double mA[Leng*Leng], vX[Leng], vB[Leng]; // вектора матрицы
double L, H, deltaX, deltaT, startT, Trl; // длина, высота, deltax = deltay
```

```
double startT, Trl; // startT - начальная температура, остальное - граничные условия
double a = 1.0; // a  из формул
 int NoX, NoY, edge; //число узлов по x и по y из дефайна

// Гаусс [5]
 void frw_one_th () //Прямой ход
{
    int i, j, k;
long double dgE;

   for (k = 0; k < Nm; k++)
   {
      dgE = mA[Nm*k + k];
      for (j = k; j < Nm; j++)
         mA[Nm*k + j]/= dgE;
      vB[k]/= dgE;

      for (i = k + 1; i < Nm; i++)
      {
         dgE = mA[Nm*i + k];
         for (j = k; j < Nm; j++)
            mA[Nm*i + j]-= mA[Nm*k + j]*dgE;
         vB[i]-= vB[k]*dgE;
      }
   }
}

void bck_one_th () //Обратный ход
{
    int i, j;

   vX[Nm - 1] = vB[Nm - 1];

   for (i = Nm - 2; i >= 0; i--)
   {
      vX[i] = vB[i];
      for (j = i + 1; j < Nm; j++)
         vX[i]-= mA[Nm*i + j]*vX[j];
   }

}
//[5]

void all_gen() //генерация начальной температуры
{
   int i;
   for (i = 0; i < Nm; i++)
   {
      vX[i] = startT;
   }
}

void  generan_matrx()
```

```
{
/*почему такое обращение к координатам :
   Nm*(sv) - перемещаемся по уравнениям(каждый раз перемещаемся на одно уравнение ниже)
   когда i +/- 1 то просто прибавляем их
   когда j+/-1 то +/- NoX так как у нас уравнение записывется в одну линию и чтобы переместиться на слой выше/ниже мы проходим как раз 1 раз по x
   NoX*j - чтобы записывать уравнения в зависимости от уровня(смещение получается как бы)
*/
int i=0, j=0, sv=0;
   //заполнение 0ями массивы
   for (i = 0; i < Nm*Nm; i++)
      mA[i] = 0.0;
   for (i = 0; i < Nm; i++)
      vB[i] = 0.0;

   for (j = 0; j < NoY; j++)
   {
      for (i = 0; i < NoX; i++)
      {

         if((i==NoX-1 && j==NoY-1)) //Углы, не понятно как их правильно (i==0 && j==NoY-1) ||
         {
            mA[Nm*(sv) + i + (NoX*j)] = 1.0/deltaX;
              mA[Nm*(sv) + i - 1 + (NoX*j)] = -1.0/deltaX;
           vB[sv] = 0.0;
           sv++;
           continue;
         }

         if(j==NoY-1)//условие второго рода сверху
         {
             mA[Nm*(sv) + i + (NoX*j)] = 1.0/deltaX;
            mA[Nm*(sv) + (i-NoX) + (NoX*j)] = -1.0/deltaX;
            vB[sv] = 0.0;
            sv++;
            continue;
         }
         if(i==NoX-1 && j<NoY/2) //условие первого рода правая половина низ
            {
               vB[sv] = Trl;
               mA[Nm*(sv) + i + (NoX*j)] = 1.0/deltaX;
               sv++;
               continue;
            }
            if(i==NoX-1 && j>=NoY/2) //условие второго рода правая половина вверх
               {
                  mA[Nm*(sv) + i + (NoX*j)] = 1.0/deltaX;
```

```
                mA[Nm*(sv) + i - 1 + (NoX*j)] = -1.0/deltaX;
                vB[sv] = 0.0;
                sv++;
                continue;
            }
                // Стандартный случай заполнения
                if((i-1)>=0)
                    mA[Nm*(sv) + i - 1 + (NoX*j)] = -a/deltaX*deltaX;
                mA[Nm*(sv) + i+(NoX*j)] = 1.0/deltaT + 4.0*a/deltaX*deltaX;
                if((i+1)<=Nm)
                    mA[Nm*(sv) + i + 1 + (NoX*j)] = -a/deltaX*deltaX;
                if((j*NoX+i+NoX)<=Nm)
                    mA[Nm*(sv) + (i + NoX) + (NoX*j)] = -a/deltaX*deltaX;
                 if((j*NoX+i-NoX)>=0)
                    mA[Nm*(sv) + (i - NoX) + (NoX*j)] = -a/deltaX*deltaX;
                    vB[sv] = vX[sv]/deltaT;
                    sv++;
     }
    }

}

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
int main(int argc, char* argv[])
{
    int i=0, j, k, ret;
    char string[80];
    FILE *fp;
   fp = fopen( "result", "w" ); //открытие файла на запись данных
    // проверка на наличие аргумента [1]
    if (argc < 2)
    {
          printf("Нету аргумента - времени\n");
          return(1);
    }
    //[1]
    modTime = atoi(argv[1]); //задача времени
    //задаем данные из дефайна и глобальных переменных [2]
    L = LENX;
    H = LENY;
    Nm = Leng; // количество узлов всего
    NoX = LENX*nodePerL;
    NoY = LENY*nodePerL;
    deltaX = H*L/Nm; // дельта X
    deltaT = 1; // дельта t
    startT = T0;
    Trl = T1;
    //[2]

    printf("Количество узлов: %d\n", Nm);
```

```
    all_gen();  // генерация начальных данных
    for (i = 0; i < modTime/deltaT; i++)        //решение уравнений
    {
        generan_matrx();
        frw_one_th();
        bck_one_th ();
        // Печать
       //ret = Nm+NoX;
        ret=0;

            for (j = 0; j < NoY; j++)
            {
              //  ret=ret-2*NoX;
                for (k = 0; k < NoX; k++)
                {
                    sprintf(string, "%.3f ",vX[ret++]);
                    fputs(string,fp);
                }
                sprintf(string, "\n");
                fputs(string,fp);
            }
            sprintf(string, "\n\n");
            fputs(string,fp);
    }
    return(0);
}
```

Расчет температурного поля в Ansys.

1. Построение сечения.

Выполним команду Preprocessor->Modeling->Create->Keypoints->On working plane

В появившемся окне введем координаты точек (0,0) (8,0) (8,2) (0,4) (8,4) и нажимаем ok.

Затем необходимо соединить эти точки линиями:

Preprocessor ->Modeling->Create->Lines->Straight Line

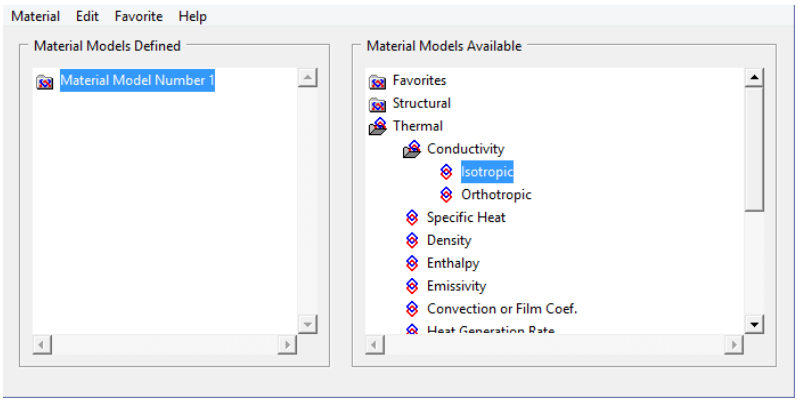
Соединяем построенные нами точки и нажимаем ok.

Затем строим «тело» трубы с помощью областей(Areas):

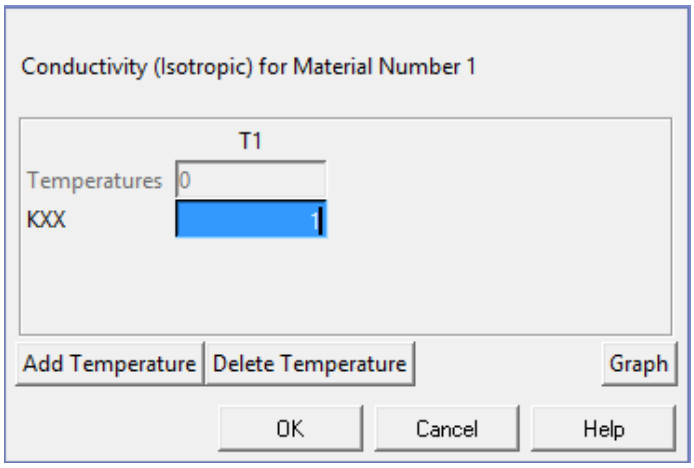
Preprocessor ->Modeling->Create->Areas->Arbitrary->By Lines

После это надо задать свойство материала.

Preprocessor->Material Props->Material Models.



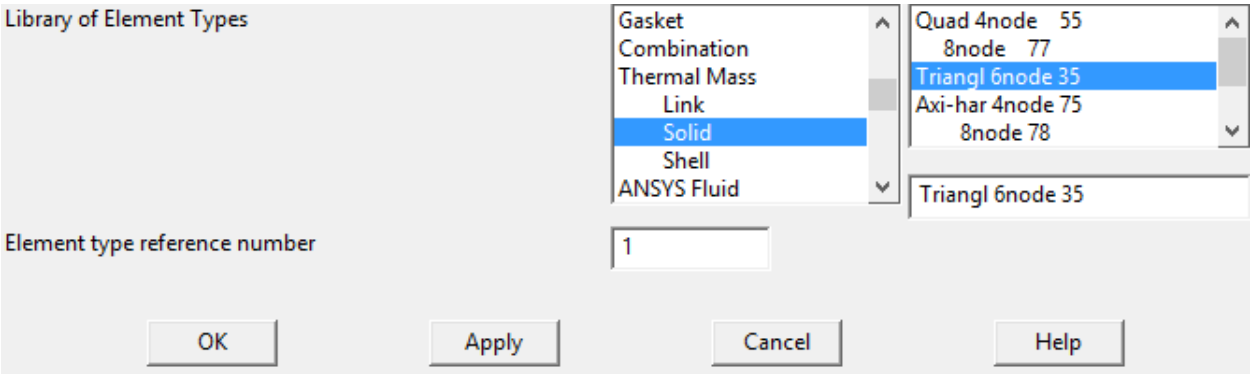
В появившемся окне KXX- коэффициент тепловодности.



Далее задаем тип конечного элемента.

Preprocessor->Element Type->Add/Edit/Delete.

В появившемся окне нажимаем Add и выбираем тип элемента



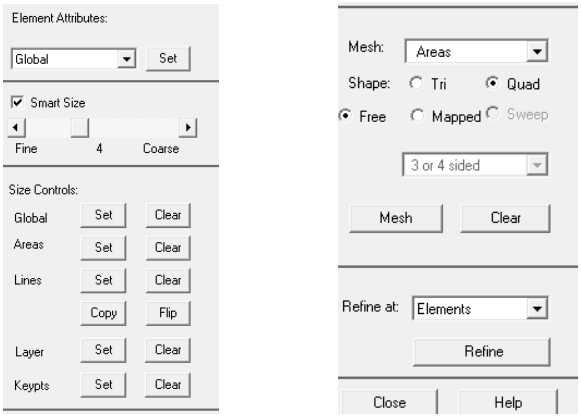
Нажимаем Ok.

В списке типов конечных элементов появится PLANE35.

Для того, чтобы задать сетку, выполним команду:

Preprocessor->Meshing->MeshTool

В меню Mesh Tool активизируем опцию Smart Size и устанавливаем значение 4.

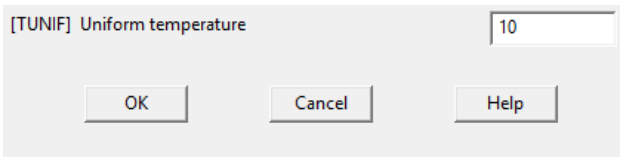


После задания размеров, нажимаем кнопку Mesh и выбираем сечение трубы

Для задания начального условия выполняем команду:

Main Menu: Preprocessor->Loads->Define Loads->Apply->Thermal->Temperature->Uniform Temp …

Появится меню, в котором можно задать начальную температуру 10 ºC:



Для задания граничных условий выполним:

Условие 1 рода: Preprocessor->Loads->Define Loads->Apply->Thermal->Temperature->On Lines

Задаем на половине правой стенки температуру 400 градусов

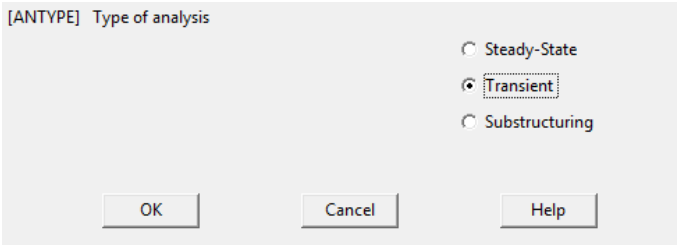
Условие 2 рода: Preprocessor->Loads->Define Loads->Apply->Thermal->Heat flux

Задаем на половине правой и верхней границ 0

Задаем тип анализа:

Main Menu: Solution –> -Analysis Type – New Analysis …

Появится меню, в котором можно указать тип анализа:

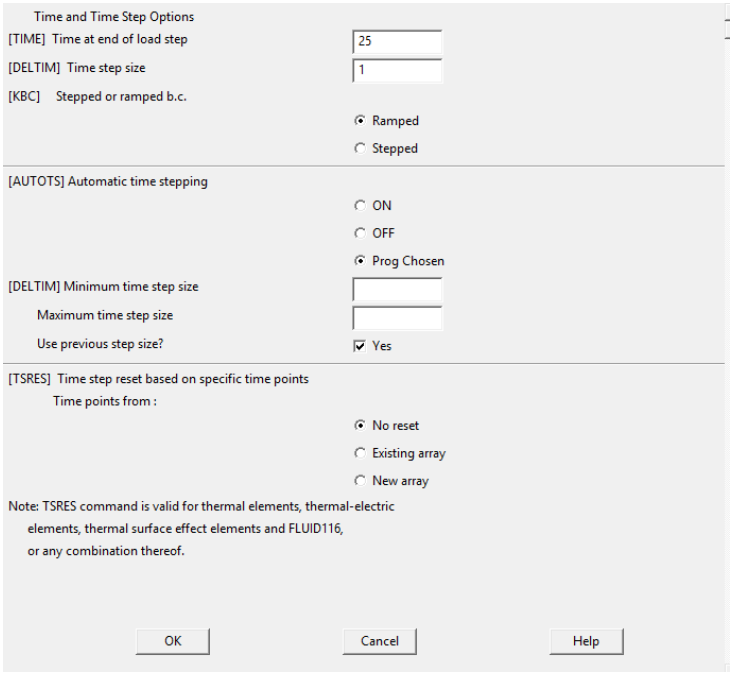


С помощью мыши устанавливаем опцию Transient – нестационарный анализ, нажимаем OK. Появится меню Transient Analysis, в котором также нажимаем OK.

Задаем временные параметры анализа:

Main Menu: Solution –> -Load Step Opts – Time/Frequenc -> Time – Time Step ..

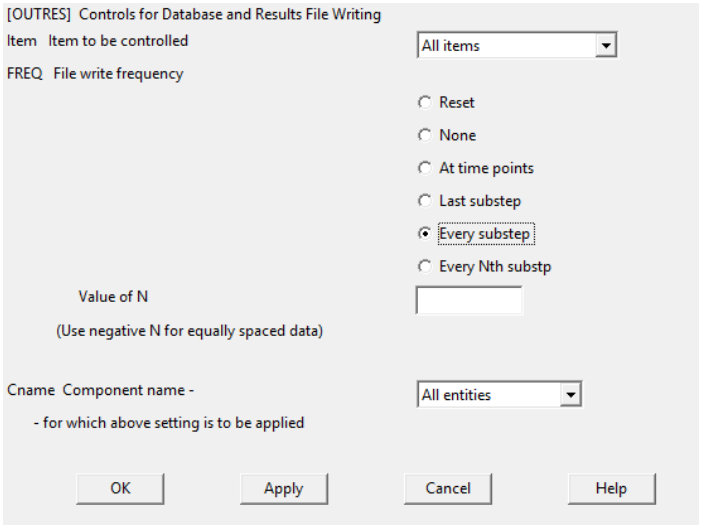
Появится меню, в котором можно указать временные параметры анализа:



В поле [TIME] Time at end of load step задаем значение 25, то есть время расчета равно 25с. В поле [DELTIM] Time step size задаем значение 1, то есть временной шаг равен 1 с.

Устанавливаем режим записи результатов расчета в файл (на каждом шаге)

Main Menu: Solution ->-Load Step Opts->Output Ctrls->DB/Results File



В выпавшем меню помечаем «Every substep»

Выполняем команду расчета:

Main Menu: Solution -> Solve ->Current LS

Просмотр результатов с анимацией.

Main Menu: General Postproc->Read Results->First Set

Utility Menu: Plot->Elements

Utility Menu: PlotCtrls->Style->Contours->Uniform Contours

В выпавшем окне выбираем количество контуров (Number of countours) – 10, и интервал между контурами, рассчитываемым автоматически (Auto calculated)

Utility Menu**:** PlotCtrls->Animate->Over Time

Получаем изменение температурного поля во времени.

Сравнение результатов.

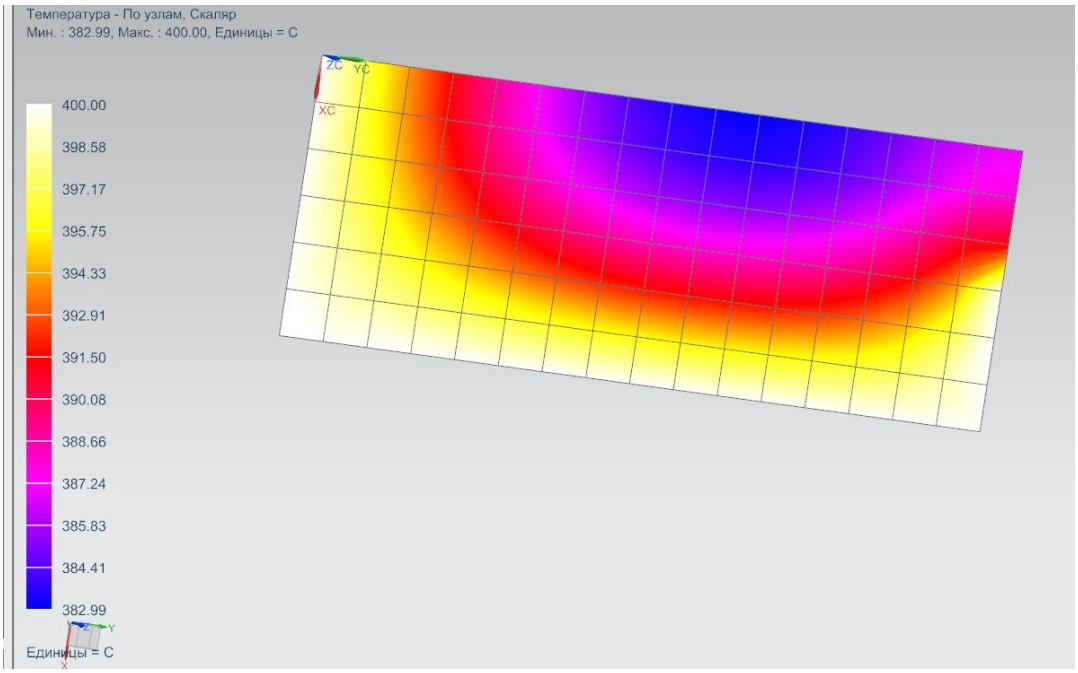
Возникла проблема, в Ансисе не получался качественно нужный график (вся пластина закрашивалась одним цветом). Хотя, проведя исследования и сделав другие варианты, как в ансисе так и в программе были получены сравнимые результаты. Было выявлено, что в Ансисе не был достигнут правильный результат, если была задана только одна температура (к примеру, только 1 первый род), иначе все строилось как должно.

Было решено изучить NX CAE и построить задание там и сравнить.

Использовался решатель Nastran 159

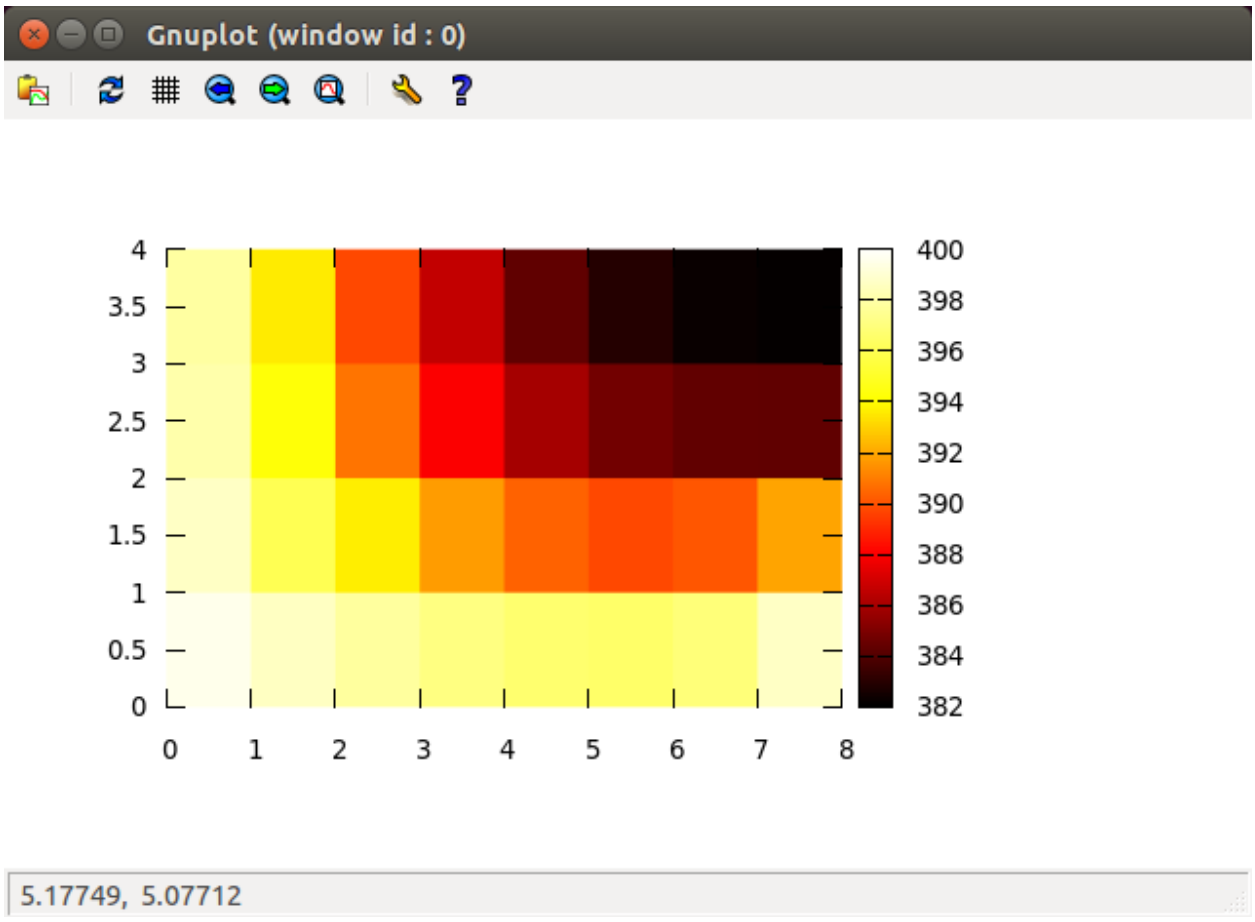
Мой вариант :

NX:



Отличие во времени и немного в градусах объяснимы тем, что NX требует данные которые нам не были заданы в задании(в реальных условиях влияет : Теплопроводность, толщина пластины, материал), но концептуально форма распространения была выдержана.

Программа:



Так же был решено взять другой вариант задания(Где Ансис строился), чтобы доказать состоятельность NX и программы.

Был выбран соседний вариант – 43

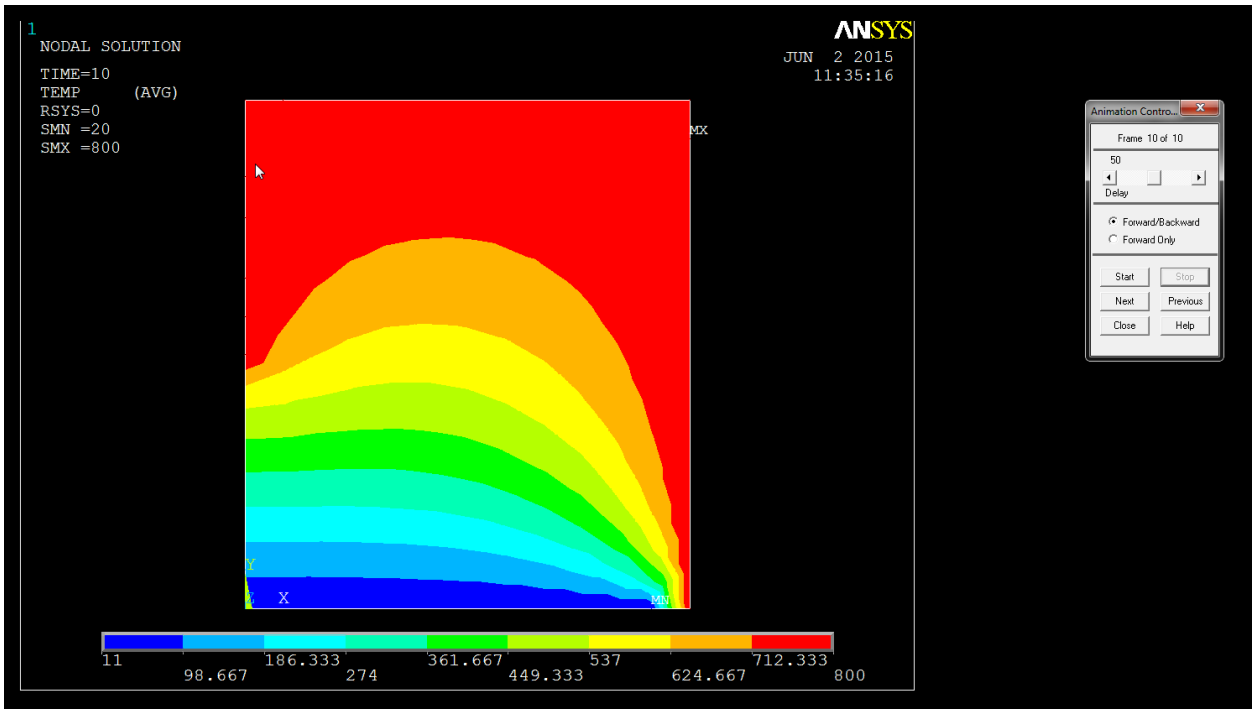
С помощью неявной разностной схемы решить нестационарное уравнение теплопроводности для прямоугольной пластины размером 7*6см. Начальное значение температуры пластины - 10 градусов.

Граничные условия следующие: нижняя половина левой границы теплоизолирована, на нижней границе поддерживается 20, на остальной части границы температура 800 градусов.

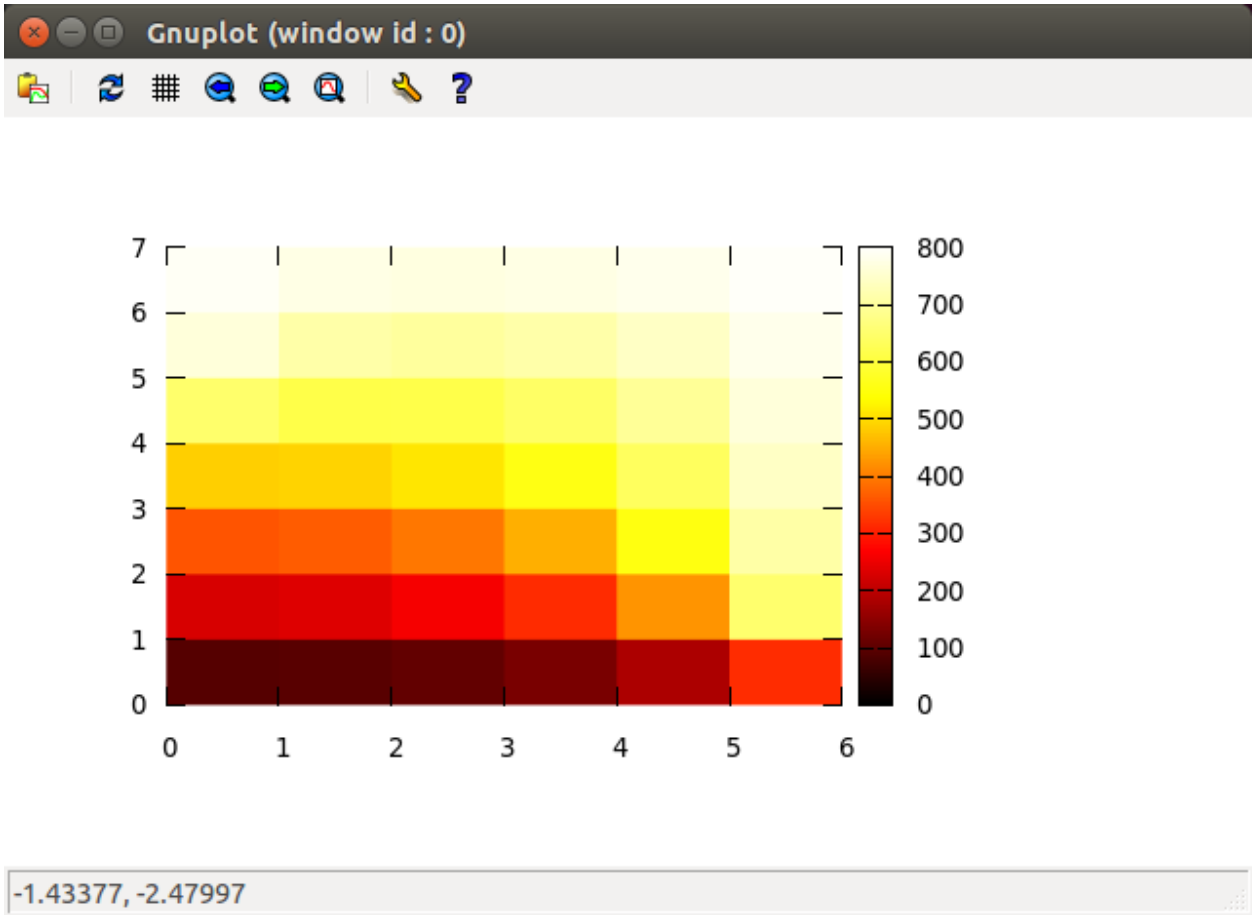
При выводе результатов показать динамику изменения температуры (например, с помощью цветовой гаммы).

Отчет должен содержать: текст программы, рисунок объекта с распределением температуры в момент времени 10 сек сравнение результатов расчета с результатами, полученными с помощью пакета ANSYS.

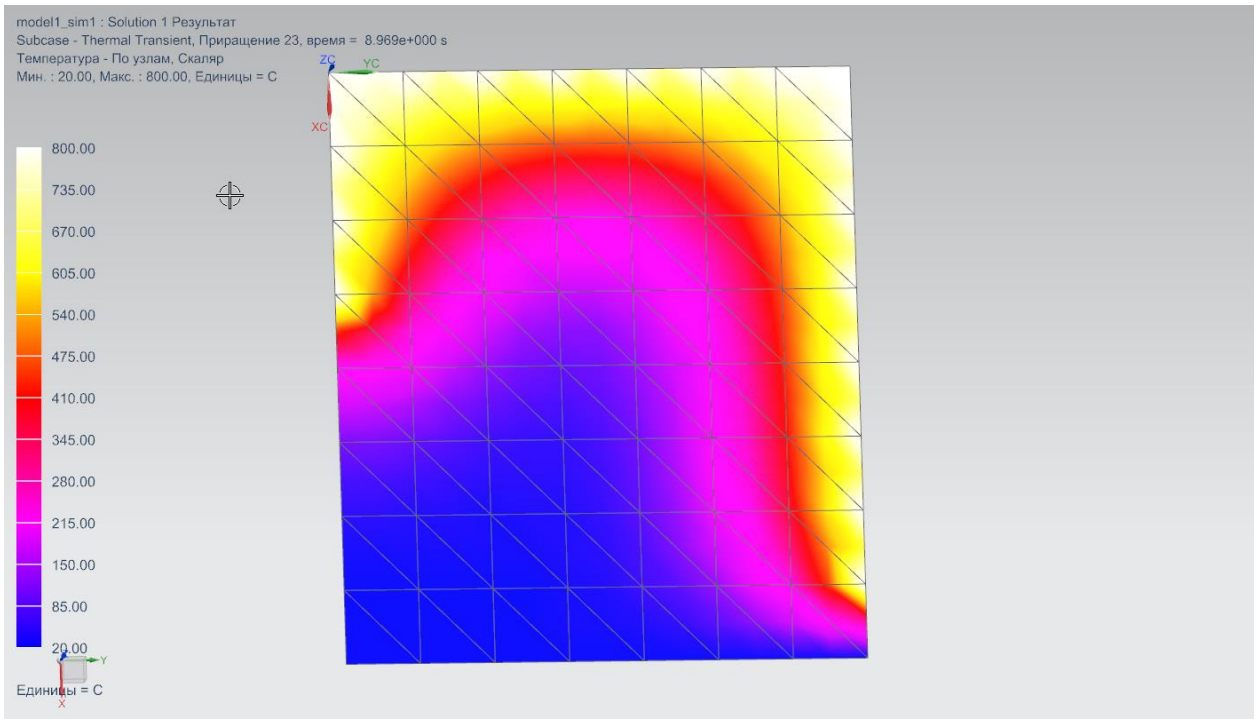
Ансис:



Программа:



NX:



Данным я доказываю, что программа работает правильно.