

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ НАГРЕВА ТВЕРДОГО ТЕЛА С АНИЗОТРОПИЕЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ FLOWVISION И MATHCAD

к.т.н., профессор Агапитов Е.Б., студент Соснин Д.В.

ГОУ ВПО «Магнитогорский Государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

## Введение

Целью данной работы является проверка возможности моделирования нагрева твердого тела с анизотропией коэффициентов теплопроводности посредством программного комплекса [FlowVision](#) 2.3.0. Для этого был выбран рулон полосы металла, который имеет разную величину коэффициента теплопроводности в осевом и радиальном направлении. В процессе смотки рулона образуются газовые промежутки между витками, при этом передача тепла осуществляется: излучением и теплопроводностью через газ в зазоре и контактным путем в местах соприкосновения витков. Расчет температурного поля в рулоне обычно проводят по методике расчета теплообмена полого цилиндра конечного размера с газовой средой в аналитической форме.

Во FlowVision 2.3.0 нет возможности явно указать зависимость коэффициента теплопроводности от направления распространения тепла. Поэтому было решено построить расчет при следующих соображениях:

1. рулон полосы металла представляется в виде полого сплошного цилиндра с анизотропией свойств;
2. на первом этапе ведут расчет безразмерной температуры во всех узлах конечно-объемной сетки полого цилиндра для диффузионного потока тепла в радиальном направлении;
3. на втором этапе ведут расчет безразмерной температуры во всех узлах конечно-объемной сетки полого цилиндра для диффузионного потока тепла в осевом направлении;
4. по полученным значениям безразмерных температур в MathCAD рассчитывается реальное распределение температур;

Исследования проводились для различных коэффициентов теплопроводности в радиальном направлении.

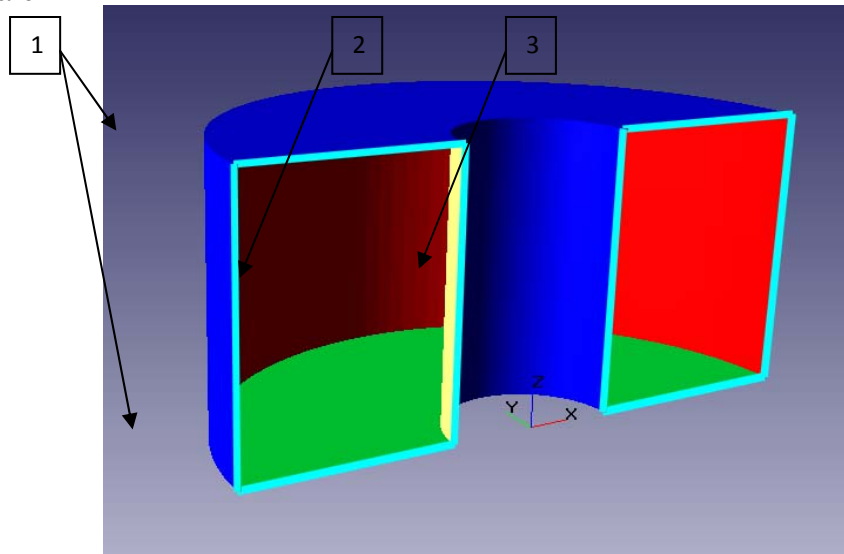
Несмотря на поиск двумерного решения  $\theta_z = f(x, y)$ ,  $\theta_r = f(x, y)$ , при моделировании расчетная сетка строилась так, чтобы была учтена цилиндрическая форма тела при численном решении уравнения теплопроводности. Длительность нагрева тела в печи принимаем 50 часов (при теплопроводности в радиальном направлении  $\lambda_r = 7 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ), 40 часов (при  $\lambda_r = 14 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ).

## Математическая модель и физические параметры

В данной задаче выбирали модель «Твердый материал». В списке рассчитываемых уравнений отмечали «Энергия».

- **Начальные значения:** начальное распределение температуры во всей расчетной области ( $T_{\text{ин}}=60^\circ\text{C}$ );
- **Вещество:** - сталь (твердое тело), теплопроводность: для первой модели - в ходе первого исследования принимали  $\lambda = 7 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ [1], второго:  $\lambda = 14 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ [1]; для второй модели  $\lambda = 40 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ;

## Граничные условия



Для первой модели:

- 1) На границе 1 – граничное условие симметрии (Симметрия→Симметрия).
- 2) На границе 2 – граничное условие стенка с диффузионным потоком тепла (Стенка→ Диффузионный поток→значение коэффициента теплоотдачи равно 6.82, температуры–511°C [1]).
- 3) На границе 3 – граничное условие стенка с диффузионным потоком тепла (Стенка→ Диффузионный поток→значение коэффициента теплоотдачи равно 131.19, температуры–730°C [1]).

Для второй модели:

- 1) На границе 1 – граничное условие стенка с диффузионным потоком тепла (**Стенка→Диффузионный поток**→значение коэффициента теплоотдачи равно **17.08**, температуры–**511°C** [1]).
- 2) На границе 2 и 3 – граничное условие симметрии (**Симметрия→Симметрия**).

### Начальная расчетная сетка

Задали равномерную расчетную сетку 23x20x20.

Получили сетку, состоящую из 9200 расчетных ячеек:

### Задание глобальных параметров

- 1) Для первой модели характерный размер области равен 1.6 м., коэффициент температуропроводности равен  $1.8 \cdot 10^{-6}$  ( $\lambda/(C \cdot \rho) = 7/(485 \cdot 7900)$ ) и  $3.6 \cdot 10^{-6}$  ( $\lambda/(C \cdot \rho) = 14/(485 \cdot 7900)$ ) для первого и второго исследования соответственно. Таким образом, шаг можно положить равным: для первого исследования - 87 000 секунд, для второго - 44 000 секунд. Конечное время для первого исследования– 190 000 секунд( ч), для второго – 144 000 секунд.
- 2) Для второй модели характерный размер области равен 1 м., коэффициент температуропроводности равен  $1.0 \cdot 10^{-5}$  ( $\lambda/(C \cdot \rho) = 40/(485 \cdot 7900)$ ). Таким образом, шаг можно положить равным 15 000 секунд. Конечное время - 190 000 секунд.

### Визуализация результатов расчета

На странице Постпроцессор создавали Новый скаляр:

- 1) Имя переменной: **Безразмерная температура;**
- 2) Выражение:

$$\theta = \frac{t_1 - t}{t_1 - t_2},$$

где

$t_1$  – для первой модели: температура, задаваемая на ГУ №3; для второй: ГУ №1;

$t$  – расчетная температура;

$t_2$  – начальная температура;

### Экспорт результатов расчета

Экспорт осуществляется путем извлечения (копирования) нужных строк, а именно: аргументов функции и самой функции из файлов экспорта FlowVision \*.glo в MathCAD.

### Расчет распределения температур

Расчет распределения температур ведут по следующим формулам:

$$\theta_i = \theta_{i,190\,000} \cdot \theta_{i,190\,000},$$

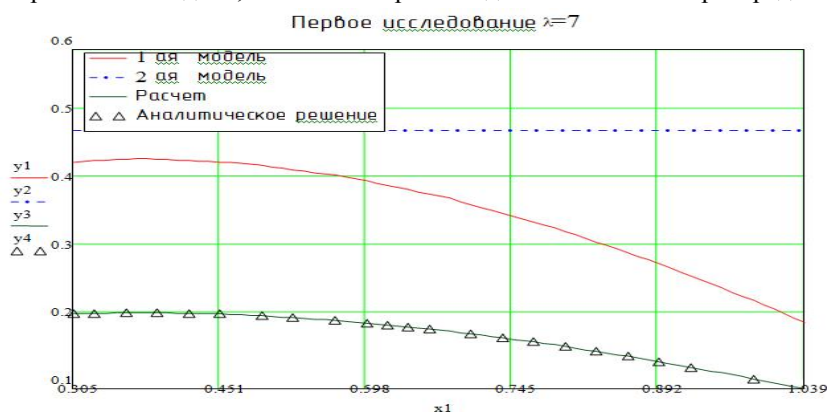
$$t = t_1 - \theta_i \cdot (t_1 - t_2),$$

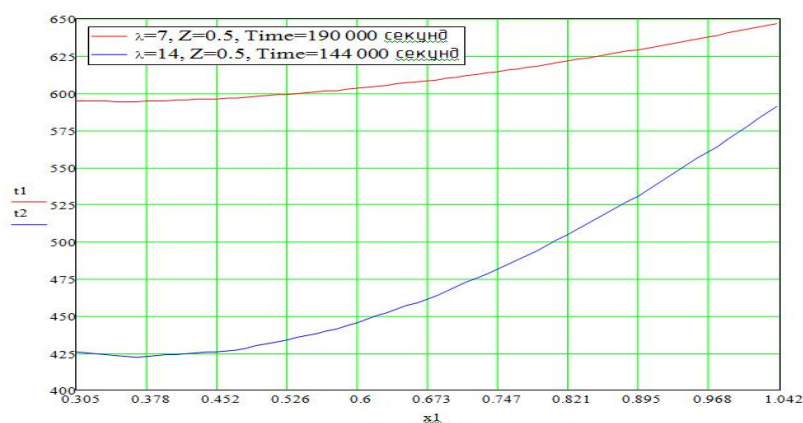
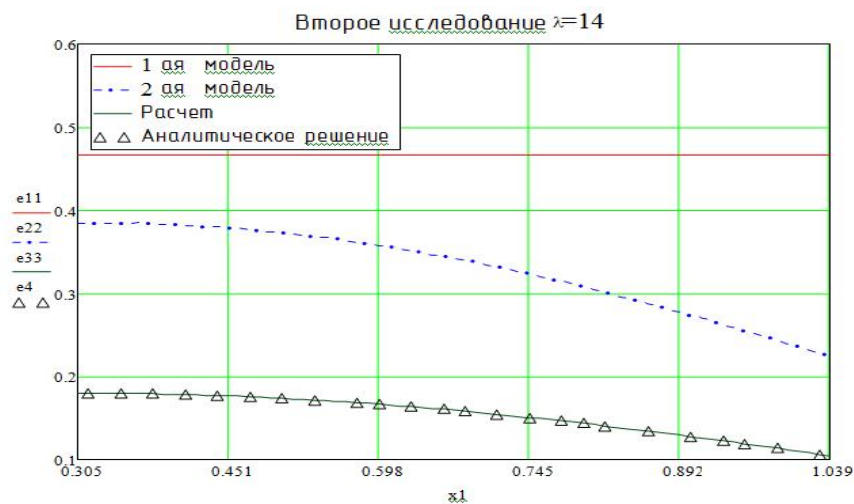
где

$\theta_{i,190\,000}, \theta_{i,190\,000}, \theta_i$  – безразмерные температуры на последнем временном слое, для первой, второй и расчетной модели соответственно;

$i$  – координата по оси X;

$t, t_1, t_2$  – температуры расчетной модели, на ГУ №3 первой модели и начального распределения соответственно;





Распределение температур по ширине рулона для первого и второго исследований.

### Заключение

В ходе проведенных исследований было установлено, что предложенная модель дает при расчете результаты, соответствующие аналитическому решению. Работа во [FlowVision](#) экономит время расчета и позволяет пренебрегать стратегией вычисления экстремальной температуры (оценивая тем самым её реальное положение), которое в аналитической форме решения строго фиксировано в пространстве и во времени.

### Используемая литература

Расчет нагревательных и термических печей: Справ. изд. /Под ред. докт. техн. наук Тымчака В. М. и канд. техн. наук В. Л. Гусовского. - М.: Металлургия, 1983. 480 с.;