

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

к.т.н., профессор Агапатов 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.

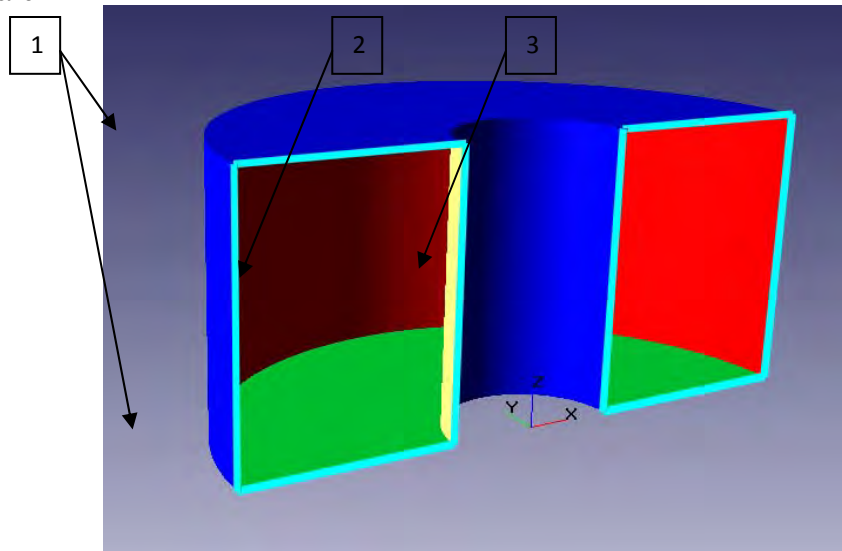
Несмотря на поиск двумерного решения $\theta_z = f(x, y)$, $\theta_r = f(x, y)$, при моделировании расчетная сетка строилась так, чтобы была учтена цилиндрическая форма тела при численном решении уравнения теплопроводности. Длительность нагрева тела в печи принимаем 50 часов (при теплопроводности в радиальном 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 ($T_{\text{ini}}=60^\circ\text{C}$);
- **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°С [1]).
- 3) На границе 3 – граничное условие стенка с диффузионным потоком тепла (Стенка→ Диффузионный поток→значение коэффициента теплоотдачи равно 131.19, температуры–730°С [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:

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

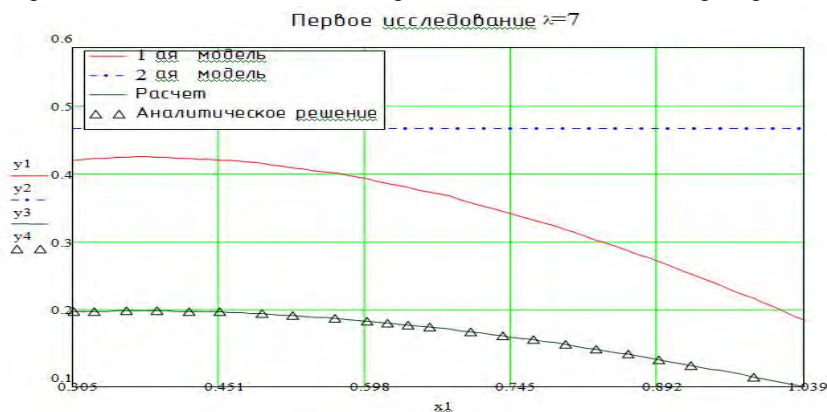
$$t = t_1 - \theta_i \cdot (t_1 - t_2),$$

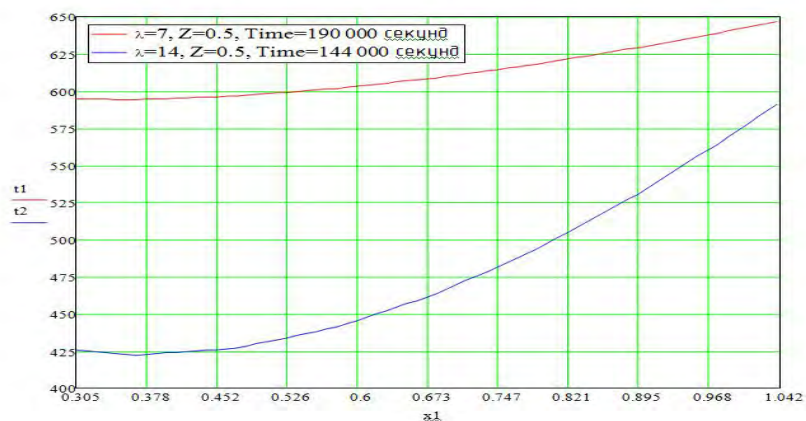
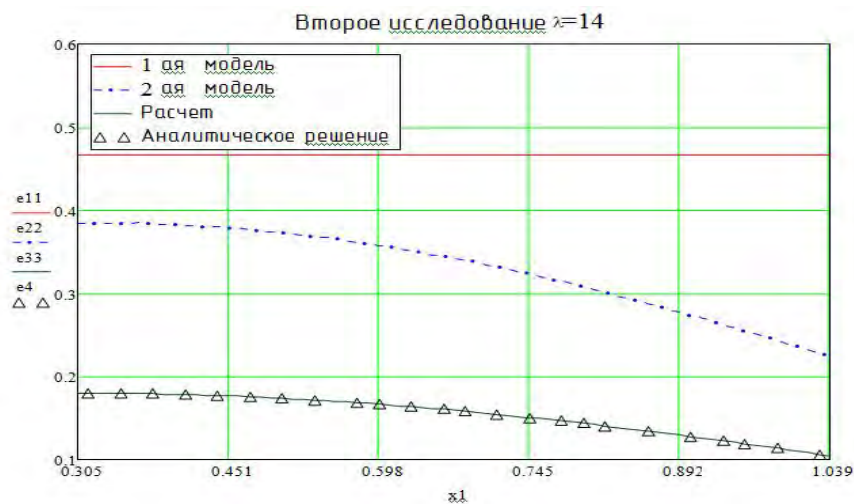
где

$\theta_{i,190\,000}, \theta_{i,190\,000}, \theta_i$ – 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.;