

УДК 621.1.016.4

П.А.Попов (5 курс, каф. КТиЭТ), В.А.Талалов, к.т.н., доц.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕПЛООБМЕНА

Определение полей температур и электрического потенциала расплава позволяет оптимизировать режимы работы рудно-термических печей медно-никелевого производства.

Цель данной работы - развитие численных реализаций математических моделей физических процессов в электрических печах для эффективного расчета распределения температуры и электрического потенциала.

Задачей данной работы являлась разработка универсальных программных методов определения полей температуры и потенциала в рудно-термических печах прямоугольной формы с электродами круглого сечения.

При построении математической модели электрической печи необходимо сделать ряд упрощений. Это объясняется тем, что численный расчет, учитывающий всю сложность происходящих процессов, является исключительно трудной задачей. Принятые допущения относятся как к геометрии области, так и к записи системы уравнений. В качестве исследуемой области выбрано горизонтальное сечение печи в области шлакового расплава, представленное на рис. 1.

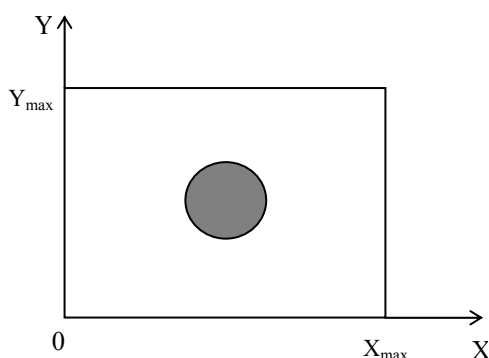


Рис. 1

Система уравнений выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + q_v = 0 \\ \frac{\partial}{\partial x} \left(\sigma \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\sigma \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) = 0 \end{cases},$$

$$q_v = \frac{1}{\sigma} \left[\left(\sigma \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + \left(\sigma \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 \right].$$

При следующих граничных условиях:

$$y = 0, 0 < x < X_{\max} : \frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0, T = T_w;$$

$$y = Y, 0 < x < X_{\max} : \frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0, T = T_w;$$

$$x = 0, 0 < y < Y_{\max} : \frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0, T = T_w;$$

$$x = X, 0 < y < Y_{\max} : \varphi = 0, \frac{\partial T}{\partial n} = 0.$$

Сформулированную задачу можно решать различными методами, в том числе:

- 1) методом конечных разностей;
- 2) методом конечных элементов.

В данной работе используется метод конечных элементов. Данный выбор обусловлен сложной формой области. Метод конечных элементов позволяет обеспечить лучшую

аппроксимацию границ областей со сложной геометрией. В качестве примитивов, на которые разбивается область, выбраны линейные треугольные элементы. Этот выбор обусловлен следующими соображениями:

- простотой элемента (соответственно, простотой реализации разбиения и структур данных и, как следствие, быстрой генерацией и решением получаемых СЛАУ по сравнению с элементами более высокого порядка);
- большей (по сравнению с иными элементами) гибкостью в описании границ.

Для построения сетки использовалась программа Tescplot. По заданным границам области и количеству узлов на них программа триангулирует исходную область и создает файл с координатами узлов построенной сетки и информацией о границах.

Использовались два варианта математической модели. Более простой вариант предполагает постоянство теплофизических свойств шлака в рудно-термической печи, а более сложный – изменение теплопроводности и электропроводности шлака в зависимости от температуры. Для решения поставленных задач методом конечных элементов разработана специальная программа, которая рассчитывает распределение электрического потенциала и температуры в узлах сетки. Программа работает с областями произвольной формы и с обоими вариантами математической модели.

В работе использованы упрощенные математические модели реального физического процесса. Однако подобный метод решения задач можно применять и для более сложных моделей, учитывающих движение шлака и фактор зависимости свойств шлака от температуры. Разработанная программа работает с любой формой области и может быть развита для учета дополнительных уравнений.

Выводы. Решение задач методом конечных элементов требует большего количества вычислений, сложным является вопрос о построении сеток для произвольных областей. Однако при исследовании областей со сложной геометрией метод конечных элементов дает заметное увеличение точности вычислений по сравнению с методом конечных разностей, что компенсирует указанные сложности и во многих случаях является единственно возможным методом решения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Диомидовский Д.А. “Металлургические печи цветной металлургии”, Металлургия, 1970, 704с.
2. Купряков Ю.П. “Шлаки медеплавильного производства и их переработка”, М.: Металлургия, 1987. 200с.
3. Дульнев Г.Н. и др. “Применение ЭВМ для решения задач теплообмена”, М.: Высш. шк., 1990 – 207 с.
4. Баландин М.Ю., Шурина Э.П. “Методы решения СЛАУ большой размерности”. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. 70 с.
5. Баландин М.Ю., Шурина Э.П. “Векторный метод конечных элементов”. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. 69 с.