

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ДОМЕННОГО ДУТЬЯ

**Кобыш Е.И., студентка; Симкин А.И., к.т.н., доц.**

*(Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь, Украина)*

Подготовка доменного дутья представляет собой сложный, многостадийный технологический процесс. Наиболее важной задачей, определяющей стабильность теплового режима доменной печи, является нагрев дутья до заданной температуры. Эта задача осуществляется на блоке доменных воздухонагревателей (кауперов), каждый из которых представляет собой теплообменный аппарат регенеративного типа. Для того чтобы нагреть дутье до необходимой температуры, воздухонагреватель в период своего нагрева должен получить определенное количество тепла, которое в последующем режиме работы воздухонагревателя, режиме нагрева дутья, будет передано доменному дутью.

Модель работы каупера включает расчет горения топлива, оценку параметров газа-теплоносителя и насадки во время нагрева дутья, а также параметров воздуха и насадки в период нагрева воздуха. После нескольких циклов моделирования работы каупера модель доменного воздухонагревателя достигает установившегося режима.

При расчете горения топлива определяют количество необходимого для горения воздуха, количество и состав продуктов сгорания, а также температуру горения [1].

Для определения теплоты сгорания доменного газа применяется формула:

$$Q_{н\text{д}}^P = 127,7 CO + 108 H_2 + 358 CH_4 + 234 H_2 S, \quad (1)$$

где  $CO$  и т.д. – процентное содержание горючих компонентов в топливе;

127,7 – теплота сгорания  $CO$ .

Первая модель представлена системой уравнений, описывающих теплообмен в регенеративном воздухонагревателе в квазистационарном состоянии с учетом коэффициента массивности  $m_j$  в безразмерных переменных [1]:

$$(1/\tau_j) \frac{dv_j}{d\tau} = P_j - v_j, \quad (2)$$

$$(1/H_j) \frac{dP_j}{dH} = P_j - v_j, \quad (3)$$

где  $P_j$  - безразмерная температура газовой среды;

$v_j$  - безразмерная температура кирпича насадки;

$\tau_j$  - безразмерный комплекс времени;

$H_j$  - безразмерный комплекс поверхности.

Безразмерный комплекс поверхности определяется по формуле:

$$H_j = \frac{H\alpha_j}{W_j m_j}, \quad (4)$$

где  $H$  - поверхность нагрева насадки;

$\alpha_j$  - коэффициент теплоотдачи газов к насадке в режиме нагрева насадки и насадки дутью в режиме нагрева дутья;

$W_j$  - теплоемкость газа в режиме нагрева насадки или дутья в режиме нагрева дутья;

$m_j$  - коэффициент массивности насадки.

Безразмерный комплекс времени определяется по формуле:

$$\tau_j = \frac{\tau \alpha_j}{\rho_{кч} c_{кч} m_j R_э}, \quad (5)$$

где  $\tau$  - время нагрева насадки;

$R_э$  - эквивалентная полутолщина кирпича насадки;

$\rho_{кч}$  - плотность материала насадки;

$c_{кч}$  - теплоемкость материала насадки.

Для решения данной задачи был избран численный метод конечных разностей, который позволяет учесть зависимость коэффициентов теплоотдачи и свойств материалов и газовых сред от времени и высоты насадки (различные зоны насадки), а также от температуры. При известных начальных и граничных условиях последовательно можно найти температуру газовой среды и насадки в любой точке по высоте в любой момент времени.

У данной математической модели есть существенный недостаток: отсутствие возможности определения температуры по толщине кирпича. Устранить этот недостаток позволяет математическая модель, основанная на решении уравнений теплового баланса [2].

Насадка воздухонагревателя, как и в прежнем методе, разбивается по высоте на участки, для каждого из которых задача состоит в определении температуры кирпича по всей его толщине. Для газовой среды решается уравнение вида:

$$c\rho V \frac{dT_э}{d\tau} = -\alpha F (T_э - T_1), \quad (6)$$

где  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи газа;

$V$  - объем газа;

$\rho$  - плотность газа;

$c$  - теплоемкость газа;

$T_э$  - температура газа;

$T_1$  - температура поверхности насадки.

Для поверхности теплообмена решается уравнение вида:

$$c\rho V \frac{dT_1}{d\tau} = \alpha F_1 (T_э - T_1) + \frac{\chi}{\delta} (T_э - T_1) F_2, \quad (7)$$

где  $\chi$  - коэффициент теплопроводности кирпича насадки;

$\delta$  - шаг по толщине насадки;

$F_1$  - поверхность теплообмена первого слоя с газовой средой;

$F_2$  - поверхность теплообмена первого слоя с последующим слоем;

$T_2$  - температура следующего слоя по толщине насадки.

Далее для каждого  $i$ -того слоя по толщине решается уравнение вида:

$$c\rho V \frac{dT_i}{d\tau} = \frac{\chi}{\delta} F_i (T_{i-1} - T_i) + \frac{\chi}{\delta} (T_{i+1} - T_i) F_{i+1}, \quad (8)$$

Для последнего слоя по толщине насадки, который считаем теплоизолированным, решается уравнение:

$$c\rho V \frac{dT_n}{d\tau} = \frac{\chi}{\delta} F_n (T_{n-1} - T_n), \quad (9)$$

Данная модель более детально рассматривает процесс теплообмена между насадкой и газовой средой, что позволяет отслеживать эффективность использования эквивалентной полутолщины кирпича, которая обычно для доменных воздухонагревателей составляет 19мм, при накоплении тепла и его отдаче нагреваемому воздуху в режиме нагрева дутья.

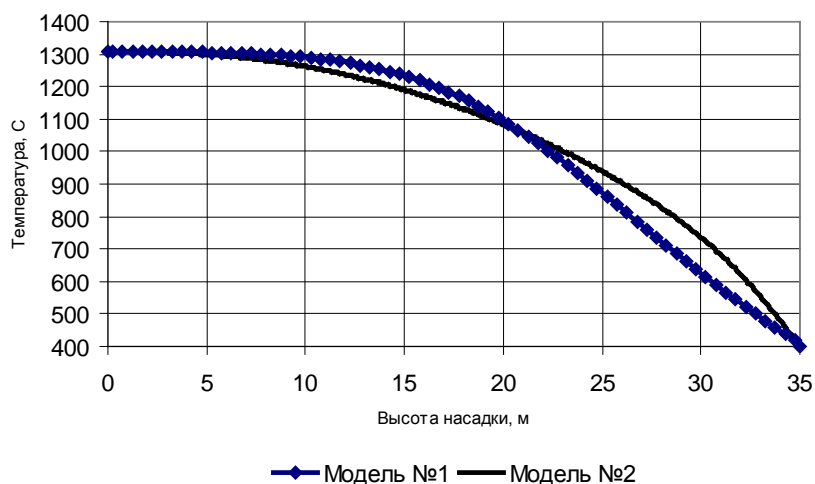


Рисунок 1 – Распределение температуры по высоте насадки

Следует отметить, что во всех случаях важно учитывать ограничение температуры купола воздухонагревателя, которое составляет  $1350^{\circ}\text{C}$ .

#### Перечень ссылок

1. Шкляр Ф.Р., Малкин В.М. Доменные воздухонагреватели. Конструкция, теория, режимы работы. М.: "Металлургия", 1982.-176с.
2. Теплообмен и аэродинамика в металлургических агрегатах. М.: "Металлургия", 1967 (ВНИИМТ Сб. №13). 312с.