УДК 622.734.001.57

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВА В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ СУШИЛЬНОГО АППАРАТА МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.

В.Н. Павлыш, И.В. Тарабаева *(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

The results of mathematical modeling of distribution of concentration of wet substance in the working camera of drying apparatus.

Высушивание влажной горной массы является заключительной стадией технологического процесса обогащения углей, которая во многом определяет качество конечного продукта. Метод сушки в «кипящем слое» является эффективной модификацией технологии сушки. Для его практической реализации необходимо иметь возможность исследования процесса и расчета рациональных параметров технологического оборудования.

В работе [1] рассматривается конструкция аппарата и технологические основы процесса сушки обогащенного угля в «кипящем слое». В работах [2,3] рассмотрены уравнения, описывающие механические и тепловые процессы, происходящие при работе оборудования, приведены результаты моделирования распределения скорости и температуры вещества в рабочей камере.

Целью настоящей работы является разработка математической модели процесса распределения концентрации высушиваемой массы в рабочей камере сушильного аппарата и ее применение к расчету технологических параметров.

Рассматривается следующая задача: в области G рабочей камеры [1,2] требуется определить распределение концентрации $C(x,y,t)$ при заданном количестве отверстий на газораспределительной решетке. Функция $C(x,y,t)$ является решением конвективного уравнения диффузии

$$\frac{\partial C}{\partial t}=Д\left(C_{xx}+C_{yy}\right)-V_1(x,y)\frac{\partial C}{\partial x}-V_2(x,y)\frac{\partial C}{\partial y} \qquad (1)$$

где $Д$ – коэффициент диффузии, $V_1(x,y)$ – продольная компонента скорости, $V_2(x,y)$ – поперечная компонента скорости. При этом концентрация C обязана удовлетворять граничным условия:

$$\begin{array}{ll}
C_y(x,y,t)=0, & (x,y)\in F_1 \\
C_x(x,y,t)=0, & (x,y)\in F_2\cup F_3 \\
C_y(x,y,t)=0, & (x,y)\in Г_i, \quad i=1,2,\dots,n \\
C(x,y,t)=C_j, & (x,y)\in Д_i, \quad i=1,2,\dots,n+1 \\
C(x,y,t)=\alpha, & (x,y)\in Г_{ВХ} \\
C(x,y,t)=\beta, & (x,y)\in Г_{ВЫХ}
\end{array} \qquad (2)$$

к начальному условию

$$C(x,y,0)=C_0 \qquad (3)$$

Здесь C_j, α, β, C_0 – постоянные величины.

Компоненты продольной и поперечной скорости определяются из решения краевой задачи [2,3]:

$$\begin{cases} V_1 \dfrac{\partial V_1}{\partial x} + V_2 \dfrac{\partial V_1}{\partial y} = -\dfrac{dP}{dx} + \dfrac{\partial^2 V_1}{\partial y^2}, \qquad (x,y)\in G \\ \dfrac{\partial V_1}{\partial x} + \dfrac{\partial V_2}{\partial y} = 0; \end{cases} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} &V_1\big|_{(x,y)\in B\cup \Gamma_к} = V_2\big|_{(x,y)\in B\cup \Gamma_к} = 0, \\ &V_1\big|_{(x,y)\in Д_к} = 1, \quad V_2\big|_{(x,y)\in Д_к} = 0, \\ &V_1\big|_{(x,y)\in T_1} = V_{1_0}, \quad V_2\big|_{(x,y)\in T_1} = V_{2_0}, \\ &V_1\big|_{(x,y)\in T_2} = 0, \quad V_2\big|_{(x,y)\in T_2} = V_{2_0}. \end{aligned} \tag{5}$$

Для решения задачи (1)-(3) применяется метод прямых. Проведем дискретизацию переменных x и y, т.е. рассмотрим точки $x_i = i \cdot hx$, $i = 1,2,..., n-1$; $y_j = j \cdot hy$, $j = 1,2,.., m-1$. Тогда производные по переменным x и y можно заменить конечными разностями [4]:

$$\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{C_{i+1,j} - C_{i-1,j}}{2 \cdot hx}; \qquad \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{C_{i,j+1} - C_{i,j-1}}{2 \cdot hy}$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \frac{C_{i+1,j} - 2C_{i,j} + C_{i-1,j}}{hx^2}; \qquad \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} = \frac{C_{i,j+1} - 2C_{i,j} + C_{i,j-1}}{hy^2}$$

где

$$C(x_i, y_j, t) = C_{ij}(t),$$

А уравнение (1) – дифференциально-разностными соотношениями:

$$\begin{aligned} \frac{1}{T} \cdot \frac{dC_{ij}}{dt} = \frac{Д}{l^2} \cdot \frac{C_{i+1,j} - 2C_{i,j} + C_{i-1,j}}{hx^2} + \frac{Д}{H^2} \cdot \frac{C_{i,j+1} - 2C_{i,j} + C_{i,j-1}}{hy^2} - \\ - V_{1ij} \frac{1}{l} \cdot \frac{C_{i+1,j} - C_{i-1,j}}{2\,hx} - V_{2ij} \frac{1}{H} \cdot \frac{C_{i,j+1} - C_{i,j-1}}{2\,hy} \end{aligned} \tag{6}$$

где l и H – характерные размеры, а T – характерное время, $i = 1,2,\ldots,n-1$; $j = 1,2,\ldots,m-1$. Эту систему обыкновенных дифференциальных уравнений можно представить в следующем виде:

$$\frac{dC_{ij}}{dt} = A_{ij} \cdot C_{i+1,j} - R \cdot C_{i,j} + G_{ij} \cdot C_{i-1,j} + B_{ij} \cdot C_{i,j} + S_{ij} \cdot C_{i,j} - 1 \tag{7}$$

Аппроксимация граничных условий приводит к следующим соотношениям:

$$C_{0j}=C_{1j}, \qquad j=0,1,\dots,m; \qquad j\neq m_1$$
$$C_{0j}=\alpha, \qquad j=m_1$$

(здесь использовалось граничное условие $\frac{\partial C(0,y,t)}{\partial x}=0$);

$$C_{Nj}=C_{N-1,j}, \qquad j=0,1,\dots,m; \qquad j\neq m_2$$
$$C_{Nj}=\beta, \qquad j=m_2$$

(использовалось граничное условие $\frac{\partial C(1,y,t)}{\partial x}=0$);

$$C_{i0}=C_{i1}, \qquad (x,y)\in F_1\cup F_3\cup Д_к$$
$$C_{i0}=C, \qquad (x,y)\in Г_к$$

(применялось граничное условие $\frac{\partial C(x,y,t)}{\partial y}=0, \quad (x,y)\in Г_1\cup Г_к$)

$$C_{im}=C_{im-1}, \qquad i=0,1,\dots,n$$

На рис. 1 приведены результаты решения задачи в безразмерной форме.

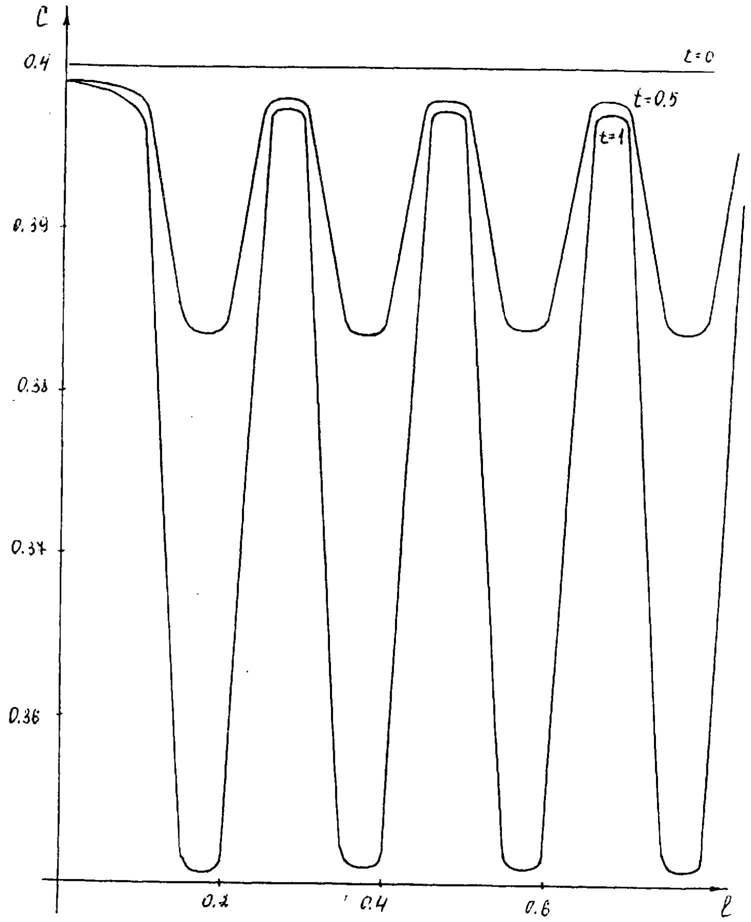

Рис. 1 Распределение концентрации вещества в камере сушилки при $y = 0.2$, для моментов времени $t = 0.0$; 0.5; 1.0.

Таким образом, решение краевой задачи (1) – (3) свелось к численному решению задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (7) при начальных условиях

$$C_{ij}(0)=C_0 \tag{8}$$

Задача Коши (7) – (8) численно интегрировалась при помощи метода Рунге-Кутта, причем погрешность метода равна $O(hx^2 + hy^2)$.

Выводы. Процесс сушки увлажненного материала в аппарате, работающем в режиме «кипящего слоя», адекватно описывается детерминированной математической моделью, основанной на системе дифференциальных уравнений. Задачей дальнейших исследований может быть разработка комплексной модели процесса сушки с учетом комплекса механических, термодинамических и конвективных параметров.

Список литературы: **1.** Филиппов В.А. Технология сушки и термоаэроклассификации углей. – М., "Недра", 1987, 287с. **2.** Павлыш В.Н., Тарабаева И.В. Математическое моделирование процесса сушки при переработке углей. Наукові праці ДонНТУ, серія: „Гірничо-електромеханічна", випуск 94. – Донецк, 2005, с. 165-171. **3.** Павлыш В.Н., Тарабаева И.В. Расчет параметров машин, осуществляющих сушку в "кипящем слое". Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Междунородный сборник научных трудов, вып. 30. – Донецк, 2005, с. 176-181. **4.** Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.:Наука, 1977. – 656с.