УДК 622.734.001.57

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СУШКИ ОБОГАЩЕННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

Тарабаева И.В., ассистент
Донецкий национальный технический университет

Рассматриваются математические модели поля скоростей частиц и давления в слое измельченной влажной горной массы, получаемой при обогащении углей, при ее сушке в "кипящем слое" внутри сушильной камеры.

The mathematical models of distribution of speed of damp stratum of mine mass during the process of drying are considering.

Проблема и ее связь научными и практическими задачами. Процессы сушки являются важной составляющей технологии производства в различных отраслях промышленности (угольной, химической и др.) [1], в связи с чем совершенствованию техники и технологии сушки уделяется постоянное внимание, как со стороны научных организаций, так и со стороны промышленных предприятий.

Общей проблемой является интенсификация процесса сушки, а также создание и внедрение новой сушильной техники.

Анализ исследований и публикаций. Завершающим этапом получения обогащенной горной массы является процесс ее высушивания.

В работе [1] рассматриваются конструкции аппаратов и технологические основы процесса сушки обогащенного угля в "кипящем слое". В работах [2,3] рассмотрены уравнения, описывающие механические тепловые процессы, происходящие при работе оборудования, и сформированы математические модели, основанные на системе уравнений в частных производных:

$$\begin{cases} U\dfrac{\partial U}{\partial x} + V\dfrac{\partial V}{\partial y} = -\dfrac{dP}{dx} + \dfrac{\partial^2 U}{\partial y^2}, \\ \dfrac{\partial U}{\partial x} + \dfrac{\partial V}{\partial y} = 0, \end{cases} \qquad (1)$$

где $U(x, y)$ – продольная, а $V(x, y)$ – поперечная скорость вещества в сушилке.

Уравнения дополняются краевыми условиями, и поле скоростей рассчитывается в результате решения полученной краевой задачи методом конечных разностей [4].

Такой подход позволяет получить распределение скоростей в виде числовых таблиц. Однако в ряде случаев имеет место необходимость получения расчетных зависимостей функционального типа.

Постановка задачи. Целью работы является вывод соответствующих расчетных зависимостей с использованием критериальных моделей.

Задача состоит в том, чтобы найти явные выражения типа $y = f(x_1,...,x_n)$ для расчета скорости слоя высушиваемого материала и потери давления в слое.

Изложение материала и результаты. Будем рассматривать скорость слоя W_T, как функцию

$$W_T = W_T(M, b, \rho_T, \rho_{ж}, d_T, v_{ж}, w_{ж}, g, \varphi_{в}, \varphi_{вн}, \varepsilon_0) \qquad (2)$$

Потерю давления в слое будем рассчитывать по формуле

$$\Delta p = \Delta p(M, b, \rho_T, \rho_{ж}, d_T, w_{ж}, g, w_T, H, v) \qquad (3)$$

где M – производительность аппарата, кг;

b– ширина камеры сушилки, м;

ρ_T – плотность твердой фазы, кг/м3;

$\rho_{ж}$ – плотность псевдоожижающего агента, кг/м3;

d_T – размер частиц твердого материала, м;

$v_{ж}$ – вязкость псевдоожижающего агента, кг/м3;

$w_{ж}$ – скорость псевдоожижающего агента, кг/м3;

g – ускорение свободного падения, м/с2;

$\varphi_{в}$ – коэффициент внутреннего трения;

$\varphi_{вн}$ – коэффициент внешнего трения;

ε_0 – характеристика неподвижного слоя;

H – высота слоя.

Для построения функции применим теорию размерности, согласно которой W_T ищется в виде следующей степенной функции

$$W_T = k \cdot M^n, b^m, \rho_T^x, \rho_{ж}^y, d_T^z, v_{ж}^{\alpha}, w_{ж}^h, g^{\lambda}, \varphi_{в}^{\gamma}, \varphi_{вн}^{\chi}, \varepsilon_0^d \qquad (4)$$

а Δp ищется в виде следующей функции

$$\Delta p = k \frac{M^n}{t^n} b^m \rho_T^x \rho_{ж}^y d_T^z w_{ж}^h g^{\lambda} w_T^{\mu} H^{\chi} v^{\alpha} \qquad (5)$$

где k – коэффициент пропорциональности. Функция (2) зависит от 11 переменных, причем три последние $\varphi_в, \varphi_{вн}, \varepsilon_0$ – безразмерные, а остальные переменные имеют следующие размерности

$$M = \left[\frac{кг}{с}\right]; \quad b = [м]; \quad \rho_T, \rho_ж = \left[\frac{кг}{м^3}\right];$$

$$d_T = [м]; \quad v_ж = \left[\frac{м^2}{с}\right]; \quad \Delta p = \left[\frac{кг}{м \cdot с^2}\right]$$

Для W_T имеем:

$$\frac{l}{t} = \frac{M^n}{t^n} l^m \frac{M^x}{l^{3x}} \cdot \frac{M^y}{l^{3y}} \cdot l^z \cdot \frac{l^{2\alpha}}{t^{\alpha}} \cdot \frac{l^h}{t^h} \cdot \frac{l^{\lambda}}{t^{2\lambda}}$$

Отсюда следует система линейных уравнений

$$\begin{cases} 1 = m - 3x - 3y + z + 2\alpha + h + \lambda \\ 1 = \alpha + h + 2\lambda + n \\ 0 = n + x + y \end{cases} \left| \begin{matrix} l \\ t \\ M \end{matrix} \right.$$

Решая эту систему, получим

$$n = -(x + y); \qquad \alpha = 1 - h - 2\lambda - n; \qquad m = -1 - n - z + h + 3\lambda$$

Для Δp имеем:

$$\begin{cases} -1 = m - 3x - 3y + z + 2\alpha + h + \lambda + \mu + \chi \\ -2 = -n - \alpha - h - 2\lambda - \mu \\ 1 = n + x + y \end{cases} \left| \begin{matrix} l \\ t \\ M \end{matrix} \right.$$

Решение систем приводит к следующим зависимостям

$$n = -(x + y) + 1; \qquad \alpha = 2 - h - 2\lambda - \mu + x + y - 1;$$

$$m = -2 + x + y - 1 - z + h + 3\lambda + \mu - \chi$$

Таким образом, получаем следующую зависимость для W_T:

$$W_T = \\ = k \cdot M^{-(x+y)} b^{-1+x+y-z+h+3\lambda} \rho_T^x \rho_ж^y d_T^z v_ж^{1-h-2\lambda+x+y} w_ж^h g^{\lambda} \varphi_в^{\gamma} \varphi_{вн}^{\chi} \varepsilon_0^d \tag{6}$$

Для Δp имеем:

$$\Delta p = \\ = kM^{-(x+y)+1} b^{-3+x+y-z+h+3\lambda+\mu-\chi} \rho_T^x \rho_ж^y d_T^z w_ж^h g^{\lambda} w_T^{\mu} H^{\chi} v^{1-h-2\lambda-\mu+x+y} \tag{7}$$

Соотношение (6) перепишем в следующем виде:

$$\frac{bW_T}{\nu} = k\left(\frac{b\rho_T \nu}{M}\right)^x \left(\frac{b\rho_{ж}\nu}{M}\right)^y \left(\frac{d_T}{b}\right)^z \left(\frac{bw_{ж}}{\nu}\right)^h \left(\frac{b^3 g}{\nu^2}\right)^\lambda \varphi_{в}^{\gamma} \varphi_{вп}^{\chi} \varepsilon_0^{d}, \qquad (8)$$

соотношение (7) перепишем в виде:

$$\frac{\Delta p b^3}{M\nu} = \qquad (9)$$

$$= k\left(\frac{b\nu\rho_T}{M}\right)^x \left(\frac{b\rho_{ж}\nu}{M}\right)^y \left(\frac{d_T}{b}\right)^z \left(\frac{bw_{ж}}{\nu}\right)^h \left(\frac{bw_T}{\nu}\right)^\mu \left(\frac{b^3 g}{\nu^2}\right) \left(\frac{b}{H}\right)^\chi \varphi_{в}^{\gamma_1} \varphi_{вп}^{\chi_2} \varepsilon_0^{\gamma_3}$$

Итак, искомая функция (2) представлялась в соответствии с π – теоремой в виде соотношения между шестью безразмерными комплексами

$$\pi_1 = \frac{bW_T}{\nu}; \quad \pi_2 = \frac{b\rho_T \nu}{M}; \quad \pi_3 = \frac{b\rho_{ж}\nu}{M};$$

$$\pi_4 = \frac{d_T}{b}; \quad \pi_5 = \frac{bw_{ж}}{\nu}; \quad \pi_6 = \frac{b^3 g}{\nu^2}$$

Искомая функция (3) представляется в соответствии с π – теоремой в виде соотношения между восьмью безразмерными комплексами и $\varphi_{в}, \varphi_{вп}, \varepsilon_0$ – безразмерными величинами

$$\pi_1 = \frac{\Delta p b^3}{M\nu}; \quad \pi_2 = \frac{b\nu\rho_T}{M}; \quad \pi_3 = \frac{b\rho_{ж}\nu}{M};$$

$$\pi_4 = \frac{d_T}{b}; \quad \pi_5 = \frac{bw_{ж}}{\nu};$$

$$\pi_6 = \frac{bw_T}{\nu}; \quad \pi_7 = \frac{b^3 g}{\nu^2}; \quad \pi_8 = \frac{b}{H}$$

Показатели $x, y, z, h, \lambda, \gamma, \chi, d$ определяются методом подбора по опытным данным. Следовательно, критериальное уравнение можно переписать в таком виде

$$\Phi(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3) = 0$$

Полученный результат согласуется с π – теоремой, согласно которой мы должны иметь 9-3=6 безразмерных комплексов (здесь 9 – число независимых переменных в (3), а -3 – число единиц измерения).

Для идентификации модели разработан программа с использованием метода Монте-Карло. Программа предназначена для построения функции в виде степенной.

Функцию скорости слоя в соответствии с $\pi-$ теоремой представляем в виде

$$\pi_1 = k \cdot \pi_2^x \pi_3^y \pi_4^z \pi_5^h \pi_6^\lambda \varphi_в^\gamma \varphi_{вн}^\chi \varepsilon_0^d$$

В результате работы программы на массиве конкретных числовых данных получены значения параметров $x, y, z, h, \gamma, \chi, d, k$.

Таким образом, функция W_T может быть представлена в виде:

$$W_T = \left(\frac{b\rho_T \nu}{M}\right)^{3.1} \left(\frac{b\rho_{ж}\nu}{M}\right)^{2.1} \left(\frac{d_T}{b}\right)^{4.1} \left(\frac{bw_{ж}}{\nu}\right)^{2.4} \left(\frac{b^3 g}{\nu^2}\right)^{0.4} \varphi_в^{2.5} \varphi_{вн}^{0.3} \varepsilon_0^{4.5}$$

Выводы и направления дальнейших исследований. Полученные зависимости являются основой для расчета параметров агрегатов, проектируемых как оборудование для осуществления процесса сушки в кипящем слое. Направление дальнейших исследований состоит в развитии теоретических основ проектирования агрегатов данного типа.

Перелік джерел.

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. Междуанородный сборник научных трудов, вып. 30. – Донецк, 2005, с. 176-181.
4. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.:Наука, 1977. – 656с.