

УДК 622.794.4.001.57

В.Н. Павлыш, И.В. Тарабаева

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ УВЛАЖНЕННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Запропоновано модель процесу зневоднення зволоженої гірської маси в сушильній камері з урахуванням параметрів технологічного процесу висушування і з відображенням фізичних законів, що описують процеси, які відбуваються. Математична модель процесу представлена у вигляді крайової задачі для рівнянь математичної фізики.

Ключові слова: модель, зневоднення, гірська маса, сушильна камера

V.N. Pavlysh, I.V. Tarabaeva

MATHEMATICAL SIMULATION OF THE WET ROCK DEHYDRATION PROCESS

The model of wet rock dehydration process in a drying chamber is proposed, taking into account parameters of the technological process of drying as well as physical laws describing the process. The mathematical model of process is presented as a boundary-value problem of mathematical physics.

Keywords: simulation, dehydration, rocks, drying chamber

Процессы обезвоживания влажных сыпучих материалов являются важной составляющей технологии производства в различных отраслях промышленности (угольной, химической и др.) [1,2], в связи с чем совершенствованию техники и технологии высушивания уделяется постоянное внимание как научных организаций, так и промышленных предприятий.

Общей проблемой является интенсификация процесса обезвоживания влажных сыпучих материалов, а также создание и внедрение новой сушильной техники.

В этой связи стоит задача расширения исследований технологических схем и параметров высушивания, что, в свою очередь, поднимает роль метода математического моделирования с применением компьютеров. Таким образом, в комплексе средств решения общей проблемы выделяется задача математического моделирования процесса обезвоживания влажных сыпучих материалов.

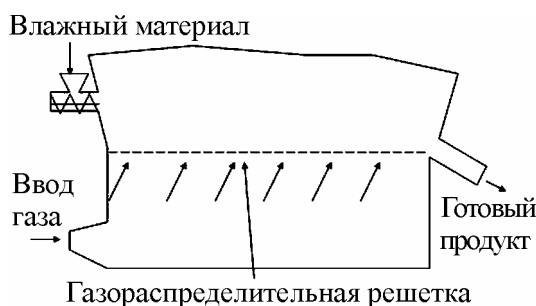


Рис. 1. Схема сушильного аппарата

Для исследования процесса необходимо иметь адекватную математическую модель. Разработанные к настоящему времени модели не учитывают тот фактор, что процесс протекает в условиях сплошной среды, а следовательно, не используют уравнения математической физики.

Физическую постановку задачи математического моделирования процесса обезвоживания влажных сыпучих материалов можно сформулировать следующим образом.

Высушивание происходит в аппарате, схема которого показана на рис. 1. В камеру сушилки, снабженной газопроницаемым поддерживающим устройством в виде сетки, пористой перегородки и т.п., которое будем называть газораспределительной решеткой, помещается сыпучий материал.

Для создания режима локального фонтанирования применяют газораспределительную решетку, позволяющую вводить оживающий агент в псевдооживленный слой с высокой скоростью. Благодаря этому в слое образуются зоны, в которых частица и среда движутся с более высокими, чем в слое, скоростями, а обмен между этими зонами делает более интенсивными процессы тепло- и массообмена [3].

Гидродинамическая структура потоков, возникающих при локальном вводе оживающего агента в псевдооживленный слой (рис. 2), указывает на наличие четырех зон перемешивания [4]:

I – фонтан из частиц, движущихся вверх;

II – прирешеточная активная зона. Равнодействующая сил на частицы в этой зоне направлена в сторону фонтана вследствие интенсивного перемешивания сыпучего материала и

втягивающей силы фонтана;

III – зона слоя, прилегающего к фонтану и активно питающего его;

IV – наименее активная зона с преимущественным движением вниз за счет обмена между прирешеточной активной зоной II и зоной III.

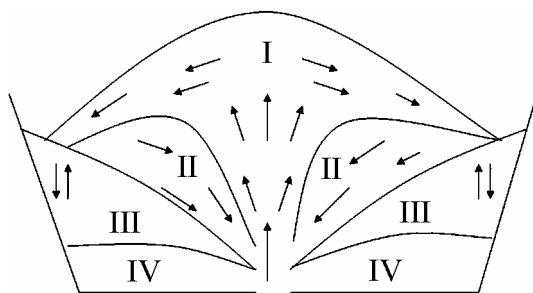


Рис. 2. Схема структуры потоков

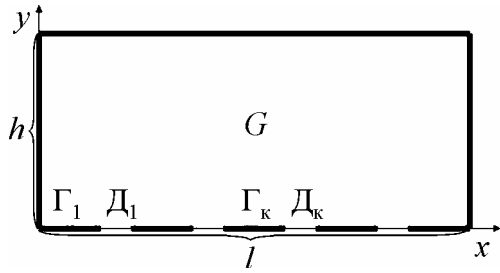


Рис. 3. Схема сушильного аппарата в плоскостном разрезе: G , l , h – соответственно область, длина, высота сушильной камеры; Γ_k – точки газораспределительной решетки; D_k – координаты отверстий газораспределительной решетки

Будем строить математическую модель процесса обезвоживания влажного сыпучего материала в сушильном аппарате. Рассматриваем следующую задачу.

В области G (сушильный аппарат, рис. 3) требуется установить распределение температуры (или энергии) при заданном количестве узлов (отверстий) на газораспределительной решетке. Такие задачи относятся к классу краевых задач со смешанными краевыми условиями, а само уравнение есть уравнение эллиптического типа.

Дифференциальное уравнение распределения температуры и краевые условия имеют следующий вид [5]:

$$\omega c_p \frac{\partial U}{\partial x} = k \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + \alpha (U - T_S), \quad (1)$$

$$\text{при } 0 < x < l \quad \left. \frac{\partial U(x, y)}{\partial y} \right|_{y=h} = 0,$$

$$\text{при } 0 \leq y \leq h \quad \left. \frac{\partial U(x, y)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0; \quad \left. \frac{\partial U(x, y)}{\partial x} \right|_{x=l} = 0,$$

$$\text{при } (x, y) \in \Gamma_k \quad \frac{\partial U(x, y)}{\partial y} = 0,$$

$$\text{при } (x, y) \in D_k \quad U(x, y) = U,$$

где U – температура поступающего газа; c – удельная теплоемкость сыпучей среды; ρ – плотность среды; ω – скорость поступающего газа; k – коэффициент теплопроводности среды; T_S – температура верхнего слоя сыпучей среды.

Для уменьшения трудоемкости вычислений удобно использовать переменные $\xi = \frac{x}{l}$ и $\eta = \frac{y}{h}$ (где l – длина сушилки, h – ее высота). Тогда в новых переменных ξ и η уравнение (1) и краевые условия можно записать в следующем виде:

$$c_p \omega \frac{1}{l} \frac{\partial \gamma(\xi, \eta)}{\partial \xi} = k \left(\frac{1}{l^2} \frac{\partial^2 \gamma}{\partial \xi^2} + \frac{1}{h^2} \frac{\partial^2 \gamma}{\partial \eta^2} \right) + \alpha (\gamma - \theta), \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{при } 0 < \xi < 1 \quad \left. \frac{\partial \gamma(\xi, \eta)}{\partial \eta} \right|_{\eta=1} &= 0, \\ \text{при } 0 \leq \eta \leq 1 \quad \left. \frac{\partial \gamma(\xi, \eta)}{\partial \xi} \right|_{\xi=0} &= 0; \quad \left. \frac{\partial \gamma(\xi, \eta)}{\partial \xi} \right|_{\xi=1} = 0, \\ \text{при } (\xi, \eta) \in \Gamma_k \quad \frac{\partial \gamma(\xi, \eta)}{\partial \eta} &= 0, \\ \text{при } (\xi, \eta) \in D_k \quad \gamma(\xi, \eta) &= U. \end{aligned}$$

Уравнение (2) запишем в более удобном виде:

$$a_{11} \frac{\partial^2 \gamma}{\partial \xi^2} + a_{22} \frac{\partial^2 \gamma}{\partial \eta^2} + a_{10} \frac{\partial \gamma}{\partial \xi} + a_1 \gamma = F(\xi, \eta),$$

где $a_{11} = k \frac{1}{l^2}$, $a_{22} = k \frac{1}{h^2}$, $a_{10} = -c\rho\omega \frac{1}{l}$, $a_1 = \alpha$, $F(\xi, \eta) = \alpha\theta(\xi, \eta)$.

Таким образом, математическая модель, описывающая процессы обезвоживания влажных сыпучих материалов, которые происходят при высушивании в «кипящем слое», представляет собой краевую задачу для уравнений в частных производных. Решение поставленной задачи в общем виде возможно только численным методом с использованием компьютера. Преимуществом такого подхода является то, что модель учитывает большинство параметров процесса и отражает физические законы, описывающие происходящие процессы.

В первом приближении была решена упрощенная задача: рассчитать распределение температуры при высушивании сыпучей массы, имеющей следующие характеристики:

- удельная теплоемкость $C = 0,2$ Дж/(кг·град);
- плотность $\rho = 5$ кг/м³;
- коэффициент теплопроводности $k = 0,05$ Вт/(м·град);
- коэффициент теплоотдачи $\alpha = 0,5$ Вт/(м·град);
- температура верхнего слоя $T_G = 20$ °С в сушильном аппарате, для которого:
 - длина сушильной камеры $l = 1,0$ м;
 - высота сушильной камеры $h = 0,5$ м;
 - скорость поступающего газа $\omega = 0,5$ м/с;
 - количество узлов на газораспределительной решетке – 4 шт.

Данные задачи являются входными для подпрограммы, являющейся частью общего программного комплекса.

Результаты решения представлены на рис. 4.

Выводы. Предлагаемая модель является к настоящему времени наиболее полной математической моделью рассматриваемого процесса обезвоживания влажных сыпучих материалов. Ее компьютерная реализация предполагает

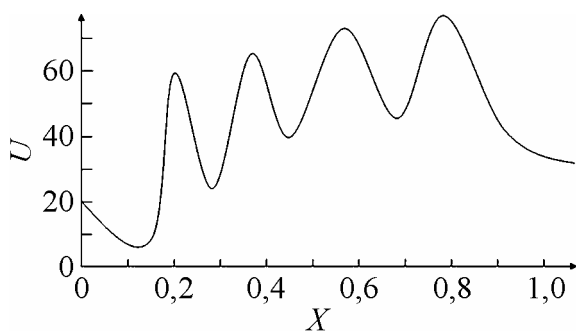


Рис. 4. Распределение температуры высушиваемой массы в сушильном аппарате

разработку программного комплекса, позволяющего выполнять всестороннее исследование процесса с целью его дальнейшего совершенствования.

1. *Филиппов В.А.* Технология сушки и термоаэроклассификации углей. – М.: Недра, 1987.– 287с.
2. *Лыков А.В.* Сушка в химической промышленности. – М.: Химия, 1970.– 432с.
3. *Джалурия И.* Естественная конвекция. – М.: Мир, 1983.– 399с.
4. *Кузнецова Н.С., Грошев Г.Н., Лабутин А.Н.* Сушка сыпучих материалов в псевдооживленном слое с переменным полем температур и скоростей // Химическая промышленность. – 1979. – Вып. 6. – С. 42–48.
5. *Календерьян В.А., Корнараки В.В.* Температурное поле в сушилке с движущимся плотным слоем при комбинированном подводе тепла // Химическая промышленность. – 1979. – Вып. 6. – С. 56–60.

Статья поступила в редакцию 13 октября 2008 года