

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ОБЕЗВОЖИВАНИЯ УВЛАЖНЕННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ**

В.Н. Павлыш, д. т. н., проф., И.В. Тарабаева (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.

**MATHEMATICAL DESIGN OF PROCESS OF DEHYDRATION OF
WATER-WET MOUNTAIN MASS**

**V.N. Pavlysh, doctor of technical sciences, professor, I.V. Tarabaeva, assistant
(DonNTU, Donetsk, Ukraine)**

The model of process of dehydration of water-wet mountain mass is offered in a drying chamber, taking into account the parameters of technological process of drying and reflecting physical laws, describing what be going on processes. The mathematical model of process is presented as a regional task for equalizations of mathematical physics.

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.

Цель настоящей работы – разработка детерминированной математической модели, связывающей параметры процесса обезвоживания влажных сыпучих материалов, и ее реализация с использованием численных методов.

Одним из наиболее эффективных способов является технология высушивания в «кипящем слое». 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.

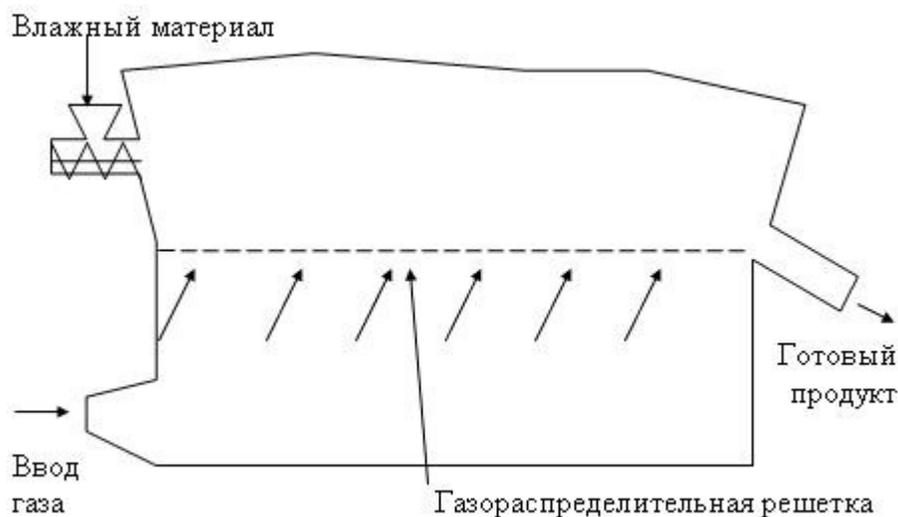


Рис. 1. Схема сушильного аппарата

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.

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

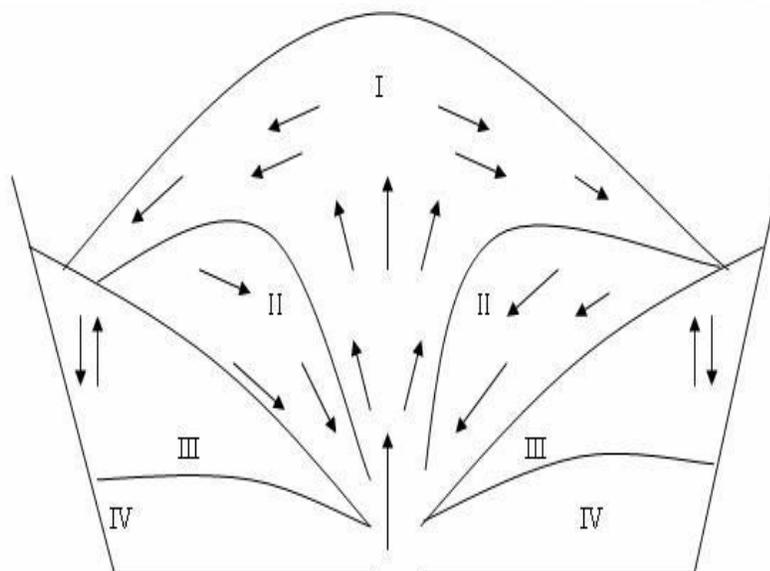


Рис. 2. Схема структуры потоков

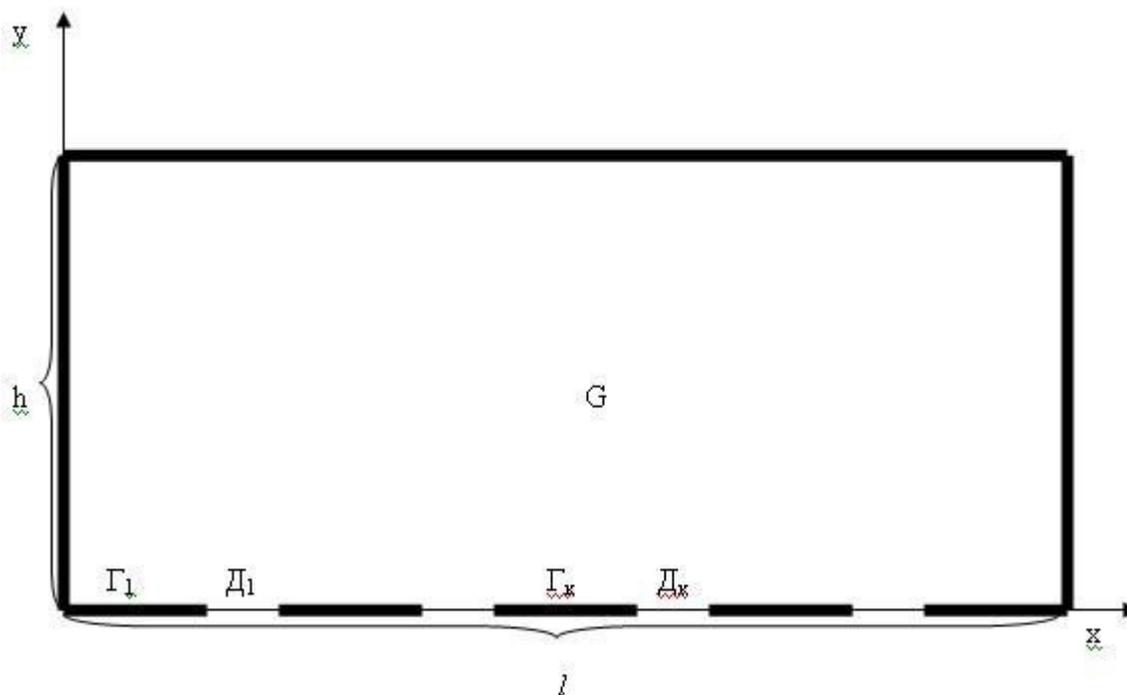


Рис. 3. Схема сушильного аппарата в плоскостном разрезе:

G – область сушильной камеры, l – длина сушильной камеры,
 h – высота сушильной камеры, Γ_k – точки
 газораспределительной решетки, \mathcal{D}_k – координаты отверстий
 газораспределительной решетки

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]:

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

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

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

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

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

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:

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

$$\text{при } 0 < \xi < 1 \quad \frac{\partial \gamma(\xi, \eta)}{\partial \eta} \Big|_{\eta=1} = 0,$$

$$\text{при } 0 \leq \eta \leq 1 \quad \frac{\partial \gamma(\xi, \eta)}{\partial \xi} \Big|_{\xi=0} = 0; \quad \frac{\partial \gamma(\xi, \eta)}{\partial \xi} \Big|_{\xi=1} = 0,$$

$$\text{при } (\xi, \eta) \in \Gamma_\kappa \quad \frac{\partial \gamma(\xi, \eta)}{\partial \eta} = 0,$$

$$\text{при } (\xi, \eta) \in D_\kappa \quad \gamma(\xi, \eta) = U.$$

Уравнение (2) запишем в более удобном виде:

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

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

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.

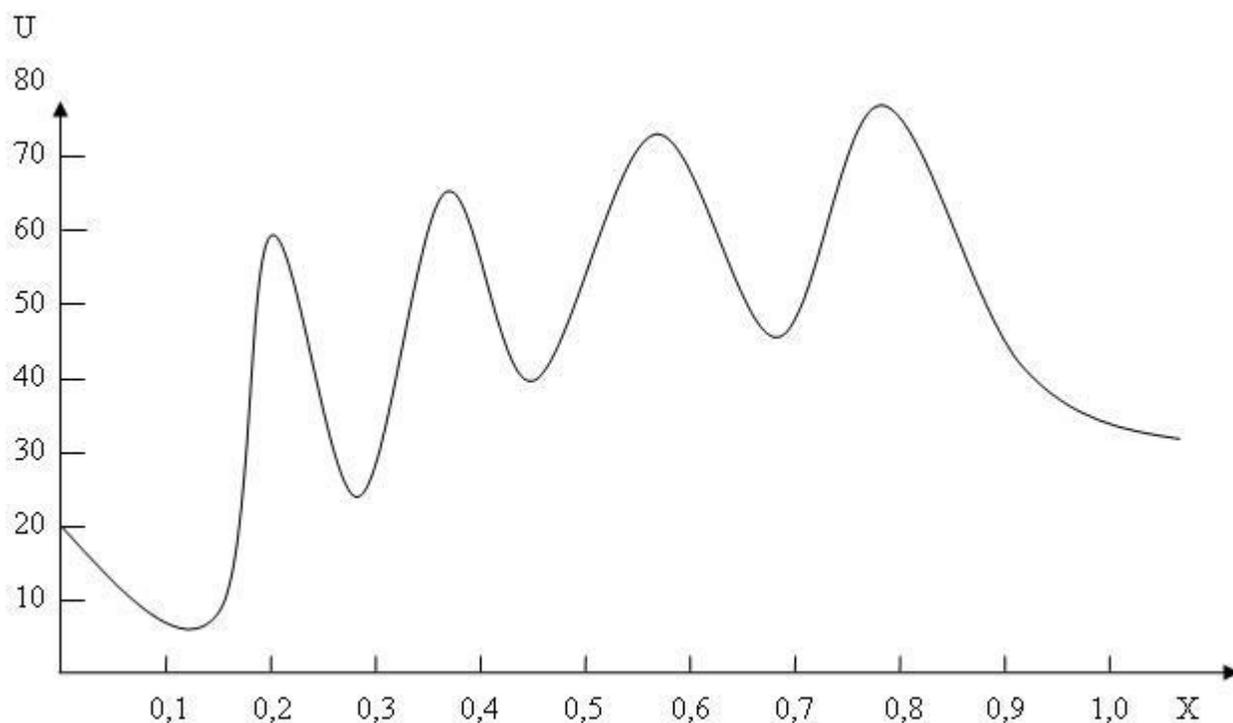


Рис. 4. Распределение температуры высушиваемой массы в сушильном аппарате

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 $T_s = 20$ °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 разработку программного комплекса, позволяющего выполнять всесторонние исследования процесса с целью его дальнейшего совершенствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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.

Рис. 1. Схема сушильного аппарата

Рис. 2. Схема структуры потоков

Рис. 3. Схема сушильного аппарата в плоскостном разрезе:

G – область сушильной камеры, l – длина сушильной камеры,

h – высота сушильной камеры, Γ_k – точки газораспределительной решетки, D_k – координаты отверстий газораспределительной решетки.

Рис. 4. Распределение температуры высушиваемой массы в сушильном аппарате