

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СУШКИ ЗЕРНА В СУШИЛКАХ С ПОДВИЖНЫМ СЛОЕМ

Андрианов Н. М.

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого  
В. Новгород, Россия

Интенсификация тепловых режимов сельскохозяйственных зерносушилок требует детального изучения их рабочих процессов. Математическая модель сушильной камеры должна учитывать основные особенности её внутренней структуры, состояние слоя зернового материала и, связанные с ними, характерные особенности условий тепло- и массопереноса.

Математическая модель, описывающая нестационарные режимы сушки в сушильной камере зерносушилок с подвижным зерновым слоем (шахтных, барабанных, бункерных и т. п.), получена на основе балансовых соотношений

$$\frac{\partial W}{\partial t} + V_3 \cdot \frac{\partial W}{\partial x} - k_d \cdot V_3 \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = -k_b \cdot W \cdot J_3,$$

$$\frac{\partial J_3}{\partial t} + V_3 \cdot \frac{\partial J_3}{\partial x} - k_d \cdot V_3 \cdot \frac{\partial^2 J_3}{\partial x^2} = -\frac{r}{100 \cdot c_3} \cdot k_b \cdot W \cdot J_3 + \frac{m}{R \cdot c_3 \cdot r_3} \cdot k_a^c \cdot (1 + k_a^v \cdot k_b \cdot W \cdot J_3) \cdot (J_T - J_3),$$

$$\frac{\partial J_T}{\partial t} + V_T \cdot \frac{\partial J_T}{\partial x} = -\frac{m \cdot (1 - \varepsilon)}{R \cdot r_T \cdot c_T \cdot e} \cdot k_a^c \cdot (1 + k_a^v \cdot k_b \cdot W \cdot J_3) \cdot (J_T - J_3).$$

Начальные условия:

$$W(0, x) = W_0(x), \quad v_3(0, x) = v_{30}(x), \quad v_T(0, x) = v_{T0}(x).$$

Граничные условия:

$$W(t, 0) = W_0(t), \quad v_3(t, 0) = v_{30}(t), \quad v_T(t, 0) = v_{T0}(t), \quad W(t, \infty) = W_P, \quad v_3(t, \infty) = v_T(\infty, L)$$

при  $W(0, 0) = W_0(0), \quad v_3(0, 0) = v_{30}(0).$

Здесь:  $W$ ,  $v_3$  и  $v_T$  – текущие значения влагосодержания зерна, температуры зерна и температуры теплоносителя;  $t$ ,  $x$  – координаты времени и пространства;  $V_3$  и  $V_T$  – скорости перемещения зерна и теплоносителя по сушильной камере;  $r$  – скрытая теплота парообразования;  $c_3$  и  $c_T$  – удельные теплоемкости абсолютно сухого зерна и теплоносителя;  $\rho_3$  и  $\rho_T$  – плотности зерна и теплоносителя;  $R$  и  $m$  – эквивалентный радиус и коэффициент формы зерновки;  $\varepsilon$  и  $k_\delta$  – скважность и коэффициент перемешивания зернового материала;  $k_\beta$ ,  $k_\delta$ ,  $k_a^c$ ,  $k_a^v$  – модельные коэффициенты.

Построение модели базируется на уравнениях динамики процесса сушки в элементарном слое зерна с последующим переходом к плотному подвижному слою конечной толщины и на их основе к сушильной камере конкретного типа зерносушилки. Уравнения получены при следующих допущениях:

- теплофизические характеристики зерна и теплоносителя постоянны;
- скорости движения зерна и теплоносителя постоянны;
- давление внутри сушильной камеры равно барометрическому;
- пространственные поля температуры и влагосодержания зерна одномерные, измеряемые по координате  $x$ , отсчитываемой в направлении движения зернового материала;
- между зерновым материалом и теплоносителем происходит только конвективный теплообмен.

Предложенная модель учитывает нелинейные свойства процесса, перемешивание фаз зернового слоя, построена с использованием основных переменных состояния ( $W$ ,  $v_3$ ,  $v_T$ ), содержит характеристики зерна ( $m$ ,  $R$ ,  $c_3$ ,  $\rho_3$ ,  $\varepsilon$ ), теплоносителя ( $c_T$ ,  $\rho_T$ ), управляющие ( $V_3$ ,  $V_T$ ,  $v_T$ ) и возмущающие ( $W_0(t)$ ,  $v_{30}(t)$ ) воздействия. После идентификации модельных коэффициентов для конкретного типа зерна и сушильной камеры она может быть использована для решения множества прикладных задач - определение статических и динамических характеристик сушильной камеры, выбор (оптимизация) режимных параметров сушки, решение задач контроля и управления процессом и др..