

**В.А. Потапов**, д-р техн. наук, проф. (ХГУПТ, Харьков)  
**Д.П. Семенюк**, канд. техн. наук, доц. (ХГУПТ, Харьков)  
**О.Ю. Гриценко**, асп. (ХГУПТ, Харьков)

## ЭНТАЛЬПИЙНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ТЕРМОГРАММ

Исходными данными для большинства методов термического анализа являются термограммы – зависимости температуры исследуемого образца от определенного физического параметра. На этих зависимостях построены методы измерения теплофизических характеристик (ТФХ), тепловых эффектов фазовых переходов, химических и биохимических реакций. Существенным ограничением большинства методов являются требование постоянства физических характеристик, отсутствие тепловых эффектов другой природы, правильная геометрия образца, временной интервал измерений и др. Для влажных дисперсных систем, к которым относятся пищевые продукты, большинство этих ограничений не выполняются в эксперименте, что приводит к существенному разбросу ТФХ полученных разными методами и разными авторами. В связи с этим целью данной работы является разработка физически корректного и, по возможности, универсального метода анализа термограмм.

Представим интегральное уравнение сохранения и переноса энергии в процессах с фазовыми переходами и химическими реакциями в следующем виде

$$\int_V \frac{\partial(c\rho T)}{\partial \tau} dV + \oint_S j dS = \int_V \frac{\partial(L\rho)}{\partial \tau} dV + \int_V \frac{\partial(q\rho)}{\partial \tau} dV : \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \left[ \int_V \rho(cT + q + L) dV \right] = \oint_S j dS . \quad (2)$$

После усреднения всех величин по объему и поверхности образца получаем

$$R_V \frac{\partial}{\partial \tau} (\rho H) = j_s , \quad (3)$$

где  $H$  – полная энтальпия системы, учитывающая фазовые переходы и тепловые эффекты физико-химических и биохимических реакций;  $R_V = V/S$  – отношение объема образца к площади его поверхности;  $j_s$  – плотность теплового потока на поверхности образца;  $c$  – удельная теплоемкость;  $\rho$  – плотность;  $T$  – температура;  $L$  – удельная теплота фазовых переходов;  $q$  – удельная теплота физико-химических и биохимических реакций;  $\tau$  – текущее время.

Из (3) получаем уравнение для определения полной энтальпии системы, которое справедливо для любой формы образца, для любых тепловых стационарных и нестационарных процессов,

$$H = \frac{1}{\rho R_V} \int j_s d\tau . \quad (4)$$

В частности, для процесса сушки при конвективном подводе теплоты к образцу на основании (4) имеем

$$\theta + Co \theta u + Ko u = K \int_0^{\tau} \theta d\tau + const , \quad (5)$$

где  $\theta = (T_{\infty} - T)/(T_{\infty} - T_0)$  - безразмерная температура;

$u = (w - w_{\infty})/(w_0 - w_{\infty})$  - безразмерное влагосодержание;

$Co = c_w(w_0 - w_{\infty})/c_d$ ;  $Ko = L_w(w_0 - w_{\infty})/[c_d(T_{\infty} - T_0)]$ ;

$K = 2aBi / [R_V^2(2 + Bi)]$ ;  $a$  - коэффициент температуропроводности;

$Bi$  - число Био,  $c_w$ ,  $c_d$  - удельная теплоемкость воды и сухого вещества;  $L_w$  - скрытая теплота парообразования; индексы «0» - начальное значение, « $\infty$ » - равновесное значение при  $\tau \rightarrow \infty$ .

Все переменные в уравнении (5):  $\theta, u, \int_0^{\tau} \theta d\tau$  - являются

экспериментальными данными термограмм и кинетики влагосодержания в процессе сушки, что позволяет методами регрессионного анализа определять ТФХ, входящие в постоянные коэффициенты  $Co, Ko, K$ . Заметим, что постоянные  $Co, Ko$  могут быть легко рассчитаны, и тогда на основании уравнения (5) получаем метод определения кинетики влагосодержания по экспериментальной термограмме сушки

$$u = \frac{(1 - \theta)(1 + Co + Ko) - \theta}{Co \theta + Ko} , \quad (6)$$

где

$$\theta = \int_0^{\tau} \theta d\tau \cdot \left[ \int_0^{\Delta\tau} \theta d\tau \right]^{-1} , \quad (7)$$

$\Delta\tau$  - продолжительность сушки.

Аналогичным образом могут быть получены регрессионные уравнения пригодные для анализа других процессов.