

В.А. Потапов, д-р техн. наук, проф. (ХГУПП, Харьков)
Н.М. Цуркан, канд. техн. наук, доц. (ХГУПП, Харьков)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ПРОЦЕССА СУШКИ

Процессы сушки разнообразного пищевого сырья являются одними из наиболее энергозатратных технологических процессов пищевой промышленности независимо от способа их реализации, поэтому поиск путей повышения энергоэффективности процессов сушки рядом с другими технологическими процессами в пищевой промышленности является приоритетной проблемой для отраслевой науки.

Для успешного решения данной проблемы, прежде всего, необходимые соответствующие теоретические исследования процессов сушки на примере определенных физических и математических моделей, которые дадут возможность описывать реальные тепломассообменные процессы на основе соответствующих функциональных зависимостей и, таким образом, управлять процессом с целью достижения его максимальной энергоэффективности.

В первом приближении будем исходить из общепринятой классификации влаги по уровням энергии связи молекул воды с «сухим скелетом» и разделим воду, содержащуюся в материале, на «свободную» и «связанную». Представим, что молекулы связанной воды находятся в некоторых «потенциальных полях» с различной энергией связи, которые характеризуются определенным удельным потенциалом u . Молекулы свободной воды, имеют «нулевую» (или минимальную) энергию связи с «сухим скелетом» материала.

Таким образом, молекулы «связанной» воды характеризуются определенным коэффициентом диффузии D :

$$D = \beta \cdot (kT - u), \quad (1)$$

где k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура, К; β – подвижность молекулы, определяемая в общем случае как отношение скорости молекулы к действующей на нее силе, зависящей от координат $\beta = v/K$; u – потенциал взаимодействия с «сухим скелетом».

Предположим, в первом приближении, что величина $(kT - u)$, соответствует кинетической энергии E молекулы массой m , движущейся в некотором потенциальном поле со скоростью v . В таком

случае, когда потенциальное взаимодействие учтено, мы можем применить классическое распределение Максвелла, согласно которому вероятность нахождения молекулы с энергией E в элементе dx равна (для одномерного случая):

$$dW(x) = A \cdot f(x) dx = A e^{-\frac{E}{kT}} dx, \quad (2)$$

где A – константа, определяемая из условия нормировки; $f(x) = e^{-E/kT}$ – функция распределения или плотность вероятности.

Конкретный вид функции $f(x)$ дает нам возможность вычислить интеграл состояний или статистический интеграл Z . Зная интеграл состояний Z , вычисляем удельную свободную энергию молекул ψ вблизи определенной потенциальной поверхности, которая характеризуется значением $u(x)$:

$$\psi = -kT \ln Z. \quad (3)$$

По известному значению ψ (определенных подсистем) вычисляем свободную энергию начального (Ψ_0) и конечного состояния модельной термодинамической системы (Ψ_K).

Поскольку, исходя из концепции, процесс сушки представляет собой переход определенной термодинамической системы из состояния со значением термодинамического потенциала Ψ_0 в состояние с потенциалом Ψ_K , то максимальная работа затрачиваемая на процесс A_{\max} будет определяться следующим выражением:

$$A_{\max} = \Psi_0 - \Psi_K. \quad (4)$$

Принимая A_{\max} за эталонное значение энергетических затрат на процесс, введем коэффициент энергоэффективности процесса $K_{\text{эф}}$ в виде отношения

$$K_{\text{эф}} = \frac{A_{\max}}{A} < 1, \quad (5)$$

где A – значение реальных энергозатрат на процесс.

Сравнительный анализ $K_{\text{эф}}$ различных вариантов реализации процесса позволяет определить наиболее энергоэффективный процесс ($K_{\text{эф}} = \max$) для конкретного вида пищевого сырья.