

УДК 66.047

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО  
ВЛАГООБМЕНА ПРИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ ЯГОД С ИК-ИЗЛУЧЕНИЕМ**

**Акулич А. В., Гостинщикова Л. А., Левьюк Л. Н.**

**Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий  
г. Могилев, Беларусь**

При описании процесса сушки материалов решение комплексной задачи тепло- и массопереноса затруднено многими факторами, поэтому ее упрощают, вводят допущения, что скорость внешнего влагообмена пропорциональна разности концентраций в ядре фазы и на границе ее раздела. Однако в этом случае коэффициенты внешнего и внутреннего влагообмена представляют собой функции многих переменных. Определение этих коэффициентов осуществляется с использованием теории подобия и данных о кинетике процесса сушки.

Экспериментально установлено, что при сушке ягодного сырья поверхность влагообмена претерпевает значительные изменения в ходе обезвоживания [1]. А, так как большинство ягод имеет сферическую форму и упругую внешнюю оболочку, которые при сушке подвержены значительной объемной и поверхностной усадке, нельзя пренебрегать уменьшением текущих размеров в процессе тепловой обработки.

Кроме того, при сушке с использованием ИК-излучения на влагоперенос значительное влияние оказывает возникающее из-за высоких градиентов температур явление термовлагопроводности. При этом поток влаги переносит некоторое количество тепла внутрь ягод. А поскольку ягоды являются материалом, проницаемым для лучистой энергии, то величину теплового потока лучистой энергии, вносимого внутрь ягод, необходимо учитывать при описании тепло- и массообмена. При его расчете нужно учитывать оптические свойства материалов, поэтому выбрать унифицированную формулу не представляется возможным, а можно лишь приближенно установить расчетную зависимость.

Поэтому применительно к ягодному сырью для описания внешнего массообмена при комбинированном конвективном энергоподводе с ИК-излучением получено критериальное уравнение (1), учитывающее объемную усадку ягод при сушке [2]:

$$Nu_m = A \cdot Re^n \cdot \left( \frac{W}{W_{кр}} \right)^k \cdot \left( \frac{T_u}{T_c} \right)^{0,4} \cdot (Gu')^2 \cdot \left( \frac{V}{V_0} \right)^m, \quad (1)$$

где  $W/W_{кр}$  – симплекс, выражающий отношение текущей влажности ягод  $W$  в любой момент времени к критической влажности  $W_{кр}$ .

Коэффициент  $A$  и показатели степени  $n$ ,  $m$ ,  $k$  определены путем обработки экспериментальных данных по различным видам ягодного сырья.

Из предложенного критериального уравнения (1) можно определить коэффициент внешнего влагообмена  $\beta$ , м/с:

$$\beta = Nu_m \cdot \frac{D}{l}, \quad (2)$$

где  $l$  – определяющий геометрический размер поверхности испарения – длина обтекания по направлению движения воздуха,  $m$  (принимая равным эквивалентному диаметру ягоды);  $D$  – коэффициент диффузии влаги,  $m^2/c$ .

Для определения коэффициента внутреннего влагообмена  $\alpha_m$ , м<sup>2</sup>/с, используем дифференциальное уравнение влагопереноса. Его решение получено А. В. Лыковым [3] и имеет вид:

$$-\frac{dW}{d\tau} = \frac{\alpha_m}{R^2} \cdot \frac{1}{4/\pi^2 + 1/\text{Bi}_m} (W - W_p), \quad (3)$$

где  $\text{Bi}_m = \frac{\beta \cdot R}{\alpha_m}$  – массообменный критерий Био.

Выражение (3) с допущением постоянства влагообменных коэффициентов и, используя данные о кинетике сушки, приведено к виду (4):

$$\text{tg}\psi = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{4 \cdot R}{\pi^2 \cdot \alpha_m}}, \quad (4)$$

где  $\text{tg}\psi$  – тангенс угла наклона прямой приведенной влажности для периода падающей скорости сушки, 1/с;  $\beta$  – коэффициент внешнего влагообмена, м/с;  $R$  – определяющий геометрический размер, м (принимается равным половине эквивалентного диаметра ягоды).

Таким образом, выражение для расчета  $\alpha_m$  имеет вид:

$$\alpha_m = \frac{4 \cdot R^2}{\pi^2} \cdot \frac{1}{1/2,3 \cdot \text{tg}\psi - R/\beta}, \quad (5)$$

На рисунке 1 представлены зависимости коэффициентов внешнего  $\beta$  и внутреннего  $\alpha_m$  влагообмена от влажности  $W^c$  при конвективной сушке ягод черники с ИК-излучением.

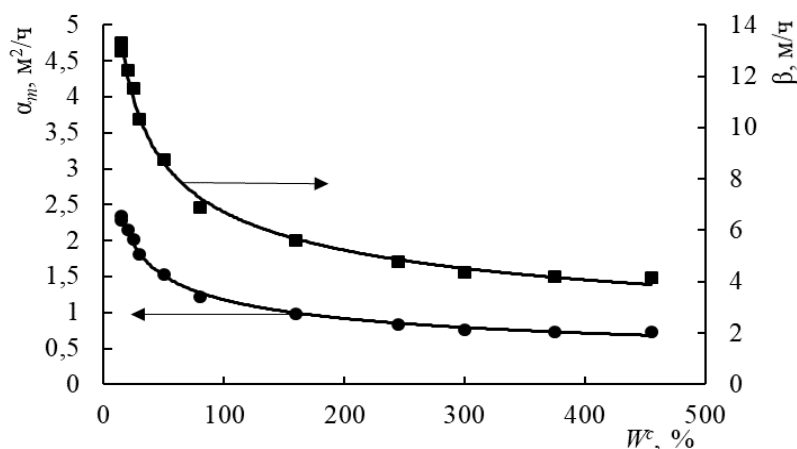


Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов внутреннего и внешнего влагообмена от влажности при конвективной сушке ягод черники с ИК-излучением

Полученные зависимости могут быть использованы при расчете процесса сушки растительного сырья.

#### Список использованных источников

- 1 Shulyak, V. A. Shrinkage kinetics during convective drying of selected berries / V. A. Shulyak, L. A. Izotova // *Drying Technology*. – 2009. – vol. 27. – №3. – P. 495–501.
- 2 Акулич, А. В. Исследование внешнего массообмена при сушке ягодного сырья с учетом усадочных явлений/ А. В. Акулич, Л. А. Гостинщикова // *Изв. вузов. Пищевая технология*. – 2019. – №1(367). – С. 81–83.
- 3 Лыков, А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – 472 с.