УДК 536.2 : 664.1

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОЛОГОПЕРЕНОСУ В МАСИВІ ЦУКРУ-ПІСКУ ПРИ ТРИВАЛОМУ ЗБЕРІГАННІ.

М. М. Масліков, М. О. Прядко.

Український державний університет харчових технологій.

В штабелях цукру при тривалому зберіганні у неопалюваних складах виникають значні градієнти температури та потенціалу вологопереносу, внаслідок чого у масі цукру розвиваються процеси переносу теплоти та вологи. Це призводить до коливань вологості цукру та погіршення його якості [1,2] .

Для розрахунку процесів тепловологопереносу, що протікають у масиві цукру-піску пропонується модель, що грунтується на новому потенціалі переносу вологи θ [3]. Цей потенціал вимірюється за допомогою давачів потенціалу, або підраховується за формулою:

$$\theta = 4{,}15 \times 10^3 \left(\frac{99325 \times 100}{\varphi \cdot p_{нТ}} \right)^{-1}, \qquad (1)$$

де φ – відносна вологість повітря, %; $p_{нТ}$ – парціальний тиск пари для даної температури, Па.

При тривалому контакті міжкристального повітря з цукром на порівняно великій поверхні кристалів під час зберігання досягається температурно-потенціальна рівновага. Ця рівновага для цукру одного хімічного складу однозначно визначена ізотермами сорбції цукру-піску [4]. Таким чином, потенціал переносу вологи для цукру (так само, як і повітря) можна розрахувати за формулою (1), якщо у неї підставити відносну вологість міжкристального повітря.

Рівняння взаємопов’язаного тепломасопереносу, записані через густини потоків наведені у [3].

Для розрахунку за методом кінцевих різниць масив цукру розбивається на шари з кроком $\Delta x = x_{n+1} - x_n$, а час - на відрізки $\Delta\tau = \tau_{k+1} - \tau_k$.

Система рівнянь у кінцевих різницях для явного триточкового шаблону має вигляд (значення T' та θ' стосуються момента часу $\tau+\Delta\tau$) [3]:

$$
\begin{cases}
q_n = \dfrac{T_n - T_{n+1}}{\Delta x}\lambda_e(T_n,\theta_n); \\
q_{mn} = \dfrac{\theta_n - \theta_{n+1}}{\Delta x}\lambda_m(T_n,\theta_n)T_n\dfrac{\delta_T(T_n,\theta_n)}{c_m(T_n,\theta_n)}\delta_Д(T_n,\theta_n); \\
T_n' = T_n + \dfrac{\Delta\tau}{\Delta x}\dfrac{\left[\left(q_n + q_{mn}\right) - \left(q_{n+1} + q_{mn+1}\right)\right]}{c(T_n,\theta_n)\rho(T_n,\theta_n)}; \\
j_n = \dfrac{\theta_n - \theta_{n+1}}{\Delta x}\lambda_m(T_n,\theta_n); \\
j_{Tn} = \dfrac{T_n - T_{n+1}}{\Delta x}\lambda_m(T_n,\theta_n)\dfrac{\delta_T(T_n,\theta_n)}{c_m(T_n,\theta_n)} \\
\theta_n' = \theta_n + \dfrac{\Delta\tau}{\Delta x}\dfrac{\left[\left(j_n + j_{Tn}\right) - \left(j_{n+1} + j_{Tn+1}\right)\right]}{c_m(T_n,\theta_n)\rho_0(T_n,\theta_n)}
\end{cases}
\qquad (3)
$$

Коефіцієнти переносу c_m, δ_T, $\delta_Д$ визначаються за допомогою чисельного диференціювання функцій вологовмісту цукру та питомої ентальпії вологи у ньому $u = f(T,\theta)$ і $h_в = f(T,\theta)$. При цьому треба враховувати як вологу, що знаходиться у плівці розчину на поверхні кристала, так і водяну пару у міжкристальному повітрі. Після цього визначаються густини потоків теплоти та вологи, а потім значення T' та θ' . Враховуючи залежність коефіцієнтів тепловологопереносу цукру від його температури та вологості, розраховувати їх треба на кожному кроці розв'язку.

За даними [3] стійкість розрахунку забезпечується за умов $(2\cdot Fo_q\text{-}1)<0$ та $(2\cdot Fo_j\text{-}1)<0$, де Fo_q та Fo_j - теплове та масообмінне числа Фур'є. Виходячи з цих умов, вибираються Δx та $\Delta\tau$.

На базі (3) розроблено програму розрахунку тепловологопереносу у масиві цукру-піску під час зберігання. За допомогою програми з'являється можливість вести розрахунок, прогнозування та оптимізацію процесу зберігання цукру (форми та розміру штабелів, способів їх укладання, режимів вентиляції тощо).

Висновок: Запропоновано нову модель тепловологопереносу у штабелі цукру-піску, на базі якої можна вести розрахунок, прогнозування та оптимізацію процесу зберігання цукру.

Література

1. Беляев А.И. и др., Изменение микрофлоры сахара-песка при его хранении. / Сахарная промышленность.— 1985.— № 5.— с. 17—188.
2. Bagster D.F., Cause, preventation and measurement of the caking of refined sugar — a review. / International Sugar Journal.— 1970.— №№ 861—862.— pp.263—267, 298—302.
3. Пахомов В.М., Вдосконалення теорії та методики розрахунку тепломасопровідності вологих харчових структур.— У зб. Наукові праці УДУХТ, №1.— К.: 1993.— с. 94—105.
4. Гинзбург А.С., Савина И.М., Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов. Справочник.— М.: Легкая и пищевая промышленность.— 1982.— 280 с.