

**А.М. Одарченко**, д-р техн. наук, проф. (*ХДУХТ, Харків*)

**А.О. Сергієнко**, асист. (*ХДУХТ, Харків*)

**З.П. Карпенко**, ст. викл. (*ХДУХТ, Харків*)

**Ю.Ю. Агафонова**, ст. викл. (*ХДУХТ, Харків*)

## **ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СТУПІНЧАСТОГО СПОСОБУ РОЗМОРОЖУВАННЯ**

Ширина асортименту замороженої харчової продукції та сировини на першій план висуває проблему пошуку нових прогресивних способів розморожування, за яких якість розмороженої сировини і продукції буде максимально наближена до вихідного стану.

У попередніх дослідженнях було розглянуто та наведено переваги використання ступінчастого способу розморожування. Такий спосіб здійснюється за допомогою низькотемпературного калориметра зі зворотним зв'язком по температурі. У якості холодоносія використовують пари рідкого азоту, які змішують в певній пропорції з повітрям для створення необхідної температури середовища. Однак встановлено, що при цьому спостерігалися значні зміни температури на вході калориметра, що в подальшому спричинило б істотні похибки в розрахунках кількості витраченої на розморожування теплоти.

У зв'язку з цим в подальшому експерименти проводили з використанням пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) регулятора, який дозволив зменшити коливання температури на вході калориметра, а також величину і тривалість відхилення температури зразка від заданої температури, яку має бути обрано у якості опорної.

ПІД-регулятор вимірює відхилення стабілізуючою величини від заданого значення і генерує керуючий сигнал, який є сумою трьох доданків, перший з яких є пропорційним цьому відхиленню, другий – пропорційним інтегралу відхилення і третій – пропорційним похідній відхилення.

При цьому пропорційна складова використовується для усунення безпосередньої помилки в значенні стабілізуємої величини, що спостерігається в даний момент часу. Значення цієї складової є прямопропорційним відхиленню вимірюваної величини від заданої величини.

Для усунення статистичної помилки необхідно ввести інтегральну складову. Вона дозволяє регулятору «вчитися» на попередньому досвіді. Якщо система не відчуває зовнішніх коливань, то через деякий час регульована величина стабілізується на заданому значенні.

Диференціальна складова протидіє передбачуваним відхиленням регульованої величини, як би «передбачаючи» поведінку об'єкта в майбутньому. Ці відхилення можуть бути спровоковані зовнішніми впливами або запізненням впливу регулятора на систему. Чим швидше регульована величина відхиляється від заданої, тим сильніше протидія, створювана диференціальною складовою. Пропорційна, інтегральна і диференціальна складові мають бути попередньо визначені експериментально.

Оскільки в низькотемпературному калориметрі під час заморожування і розморожування підтримується однакова масова секундна витрата теплоносія, то можна порівняти теплоти витрачені (виділені) при нагріванні і заморожуванні досліджуваних зразків. При цьому кількість теплоти ( $q_{\text{нагрів.-заморож.}}$ ) можна визначити, як:

$$q_{\text{нагрів.-заморож.}} = M' C_p \int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta t(\tau) d\tau,$$

де  $M'$  – масова секундна витрата теплоносія, кг/с,  $C_p$  – теплоємність теплоносія, Дж/кг·К;  $\Delta t(\tau)$  – різниця температур теплоносія на вході-виході калориметра, К.

При  $M' = \text{const}$  і  $C_p = \text{const}$ , інтеграл буде визначати кількість теплоти, витраченої на нагрівання. Визначаючи цей інтеграл навіть у відносних одиницях, можна судити про співвідношення величин теплот, витрачених на кожній ділянці. Статистична обробка даних здійснюється за допомогою програмного засобу MathCad 14.

Отримана термограма процесу заморожування-розморожування буде розбита на 2 ділянки: графік, що розташовується вище  $0^\circ \text{C}$ , відповідає процесу розморожування, нижче  $0^\circ \text{C}$  – заморожування. Отримані термограми надалі будуть використані для розрахунку середньозважених площ, обмежених графіками заморожування-розморожування і  $0^\circ \text{C}$ . Відповідно, інтеграл під цими кривими буде пропорційний відносній кількості теплоти, яка була витрачена на розігрів або виділена при заморожуванні досліджуваних зразків.

Даний спосіб уже було апробовано та запроваджено для заморожених овочевих напівфабрикатів.

Перспективними дослідженнями є апробація доцільності використання описаного ступінчастого способу для розморожування риби, м'яса, заморожених соусів та ін.