

**Олександр ЧЕРЕВКО,
Андрій ОДАРЧЕНКО,
Тетяна КАРБІВНИЧА**

ТЕРМІЧНО ОБОРОТНИЙ ПРОЦЕС РОЗМОРОЖУВАННЯ НАПІВФАБРИКАТІВ

Досліджено особливості процесу програмованого розморожування овочевого напівфабрикату, який попередньо піддавався режимам технологічної обробки (сушінню). Науково обґрунтовано та експериментально перевірено режими ступінчастого розморожування борщової заправки.

Сучасний вітчизняний ринок швидкозаморожених продуктів впевнено формує передумови до відкриття нових підприємств і переоснащення вже функціонуючих. Розвиток холодильної галузі визначає забезпечення населення продовольчими товарами, вирішення перспективних завдань промислового виробництва, енергетики, транспорту, фундаментальних і прикладних досліджень.

© Олександр Черевко, Андрій Одарченко, Тетяна Карбівнича, 2011

В умовах розвиненої конкуренції на ринку швидкозаморожених продуктів постійно з'являються як нові види продукції, так і нові технології, наприклад овочеві суміші, виготовлені за технологією "шокового" заморожування.

Швидкість заморожування впливає на якість і товарний вигляд продукції, характеризує ступінь ефективності теплообміну між охолоджуючим середовищем і заморожуваним продуктом, що визначає енергетичну та економічну ефективність процесу [1; 2]. При цьому виникає проблема термічної оборотності процесу заморожування – розморожування, що має як прикладне (впливає на асортимент і якість продукції), так і наукове значення, оскільки її вирішення перебуває на початковому етапі розробки. Під оборотністю слід розуміти здійснення процесу розморожування таким чином, щоб одна або кілька властивостей (параметрів) сировини мали однакову кінетику, що й при заморожуванні. Таким параметром обрана температура – термічна оборотність.

Проблемою оборотності процесу заморожування – розморожування вже тривалий час займаються відомі вчені Н. Я. Орлова, О. В. Руцький, М. Доценко та ін. [3–5].

Мета роботи – визначити умови термічної оборотності процесів заморожування – розморожування овочевого напівфабрикату борщової заправки шляхом проведення безперервного та ступінчастого розморожування, що уможливить максимально наблизити цю операцію до повної оборотності досліджуваних процесів.

Предмет дослідження – зразки овочевого напівфабрикату борщової заправки, приготовлені за стандартною рецептурою [6] і частково зневоднені методом висушування до видалення вологи в кількості 5 % (зразок № 1); 15 % (зразок № 2); 30 % (зразок № 3) від початкового її вмісту. Після чого досліджувані зразки заморожено до $t = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і закладено на зберігання при $t = -18 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Після 18 місяців зберігання зразки піддавалися процесу розморожування до $t = +5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Процес розморожування здійснено за допомогою низько температурного калориметра [7]. Як холодоносій використовували пари рідкого азоту, що змішувалися у певній пропорції з повітрям для створення необхідної температури середовища. Розморожування проведено з використанням пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) регулятора, який дає змогу зменшити величину й тривалість відхилення температури зразка від заданої. Остання обрана як опірна, виходячи з експериментальних даних, отриманих у результаті заморожування зразків овочевого напівфабрикату [8].

ПІД-регулятор вимірює відхилення стабілізуючої величини від заданого значення та генерує керуючий сигнал, який є сумою трьох доданків, перший з яких пропорційний цьому відхиленню, другий – інтегралу відхилення, третій – похідній відхилення [9].

Пропорційна складова використовується для усунення безпосередньої помилки значення стабілізуючої величини, яка спостерігається в певний момент часу. Значення цієї складової прямо пропорційне відхиленню вимірюваної величини від заданої.

Для усунення статистичної помилки вводиться інтегральна складова, яка дає змогу регулятору "вчитися" на попередньому досвіді. Якщо система не зазнає зовнішніх відхилень, то через деякий час регульована величина стабілізується на заданому значенні.

Диференціальна складова протидіє можливим відхиленням регульованої величини, "передбачаючи" поведінку об'єкта в майбутньому. Ці відхилення можуть бути викликані зовнішніми впливами або запізненням впливу регулятора на систему. Чим швидше регульована величина відхиляється від заданої, тим сильніша протидія, створювана диференціальною складовою [10].

Пропорційна, інтегральна та диференціальна складові попередньо визначені експериментально.

Оскільки в низькотемпературному калориметрі при заморожуванні й розморожуванні підтримувалася однакова масова секундна витрата теплоносія, то можна порівняти теплоту, витрачену (виділену) при нагріванні й заморожуванні зразків. Кількість теплоти можна визначити за формулою:

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

де M' – масова секундна витрата теплоносія, $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$;

C_p – теплоємність теплоносія, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

$\Delta t(\tau)$ – різниця температур теплоносія на вході – виході з калориметра, К .

При $M' = \text{const}$ та $C_p = \text{const}$, інтеграл визначатиме кількість теплоти, яка витрачена на нагрівання. Окреслюючи цей інтеграл навіть у відносних одиницях, можна судити про співвідношення величин теплоти, витрачених на кожній ділянці.

Статистичну обробку даних здійснено за допомогою програмного засобу *MathCad 14*. На *рис. 1* представлено типову криву в координатах $\Delta t - \tau$ для процесу заморожування – розморожування зразків овочевого напівфабрикату.

Із висновків отриманих термограм проведено розрахунок середньозважених площ, обмежених графіками заморожування – розморожування та осі 0°C . Відповідно інтеграл під цими кривими буде пропорційний кількості теплоти, яка витрачена на розігрів або виділена при заморожуванні дослідних зразків. Отримані дані представлено в *табл. 1*.

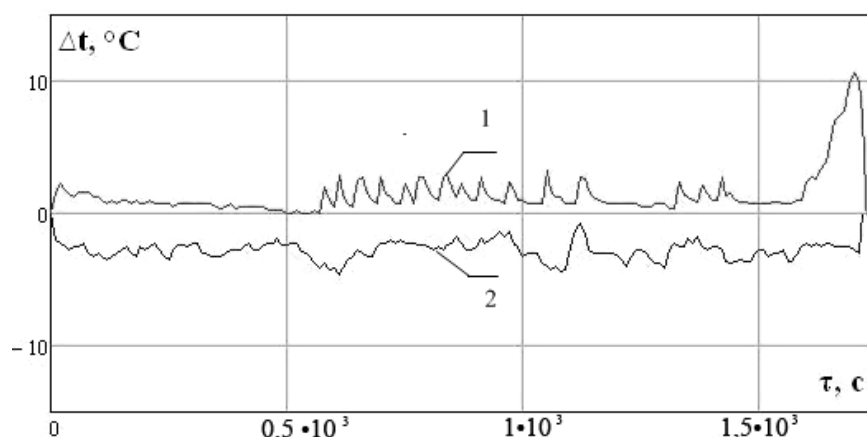


Рис. 1. Різниця температури вхід – вихід для процесу заморожування (2) – розморожування (1)

Таблиця 1

Кількість теплоти виділена (витрачена) в процесі заморожування і розморожування борщової заправки

Номер зразка	Кількість виділеної теплоти при заморожуванні, відн. од.	Кількість витраченої теплоти при розморожуванні, відн. од.
1	150	280
2	110	250
3	80	200

Оскільки площі кривих різні, це означає, що на розморожування витрачено приблизно в 2–2.5 раза більше теплоти, ніж виділено при заморожуванні цих зразків. Це пояснюється тим, що хоча за теплофізичною сутністю розморожування розглядається як процес, зворотний заморожуванню, однак розморожування вимагає додаткової витрати теплоти на підігрів кристалів льоду в зразку до $0\text{ }^\circ\text{C}$ і перетворення їх у воду при такій же температурі.

Необхідно відзначити, що використання ПД-регулятора дало змогу зменшити потужність нагрівачів при наближенні температури зразка до заданої температури розморожування, а також скоротити витрату хладоносія.

Встановлено залежність виділеної та витраченої кількості теплоти від технологічного процесу, якому попередньо підлягали зразки. При заморожуванні зразків борщової заправки, в яких попередньо видалено до 30 % вологи від початкового її вмісту, виділилося найменше теплоти. При зворотному процесі простежується аналогічна залежність.

Розморожування проведено при змінній температурі навколишнього середовища, тому вихідний графік (див. рис. 1) умовно поділено на три ділянки та розраховано кількість теплоти, витраченої на кожному етапі цього процесу. Це уможливило визначення режимів

ступінчастого нагрівання зразків і відстеження характеру температури їхнього нагрівання, що практично збігається з температурою зразка при заморожуванні (рис. 2), тобто здійснити термічну оборотність процесу заморожування – розморожування.

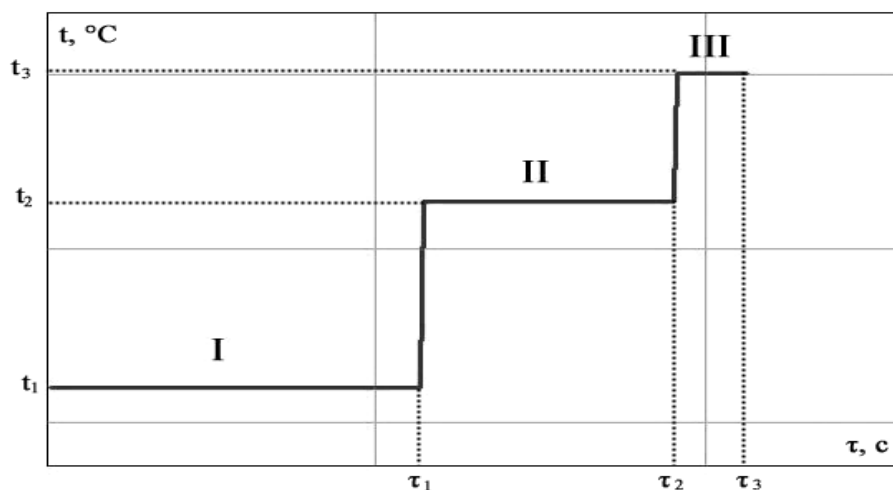


Рис. 2. Типовий вигляд ступінчастого розморожування борщової заправки

Аналіз етапів розморожування зразків овочевого напівфабрикату наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Режими ступінчастого розморожування борщової заправки

Номер зразка	Параметри технологічного процесу	I етап	II етап	III етап
1	$t, ^\circ\text{C}$	-10	7	22
	$\tau, \text{с}$	1130	760	210
2	$t, ^\circ\text{C}$	-12	10	24
	$\tau, \text{с}$	760	500	320
3	$t, ^\circ\text{C}$	-14	15	25
	$\tau, \text{с}$	1000	540	210

Виходячи з отриманих результатів режимів розморожування зразків борщової заправки, необхідно відзначити, що найбільша тривалість характерна для I етапу розморожування, коли температура на вході калориметра становить $-10 \div -14 ^\circ\text{C}$, найменша – для III етапу, при цьому $t_{\text{входу}} = +22 \div +25 ^\circ\text{C}$. Очевидно, це пов'язано з тим, що заморожування проводили при $t = \text{const}$, і температурний натиск визначався переважно теплофізичними властивостями сировини. Виходячи з другого початку термодинаміки, здійснити зворотний процес при $t = \text{const}$ неможливо. Це пояснюється тим, що теплофізичні властивості сировини, яка зберігалася при від'ємних температурах, змінилися. Саме тому експериментальна установка "відпрацювала"

величину температури навколишнього середовища таким чином, щоб кінетика температур заморожування – розморожування співпала. Наявність трьох щаблів температурної кривої навколишнього середовища (див. *рис. 2*) свідчить про фазові переходи води та зміну теплофізичних властивостей сировини поблизу цих переходів.

Експериментально проведено перевірку отриманого ступінчастого режиму розморожування. На *рис. 3* видно, що він дає можливість максимально наблизити до термічної оборотності: уникнути в кінетиці температур гістерезису процесів заморожування – розморожування.

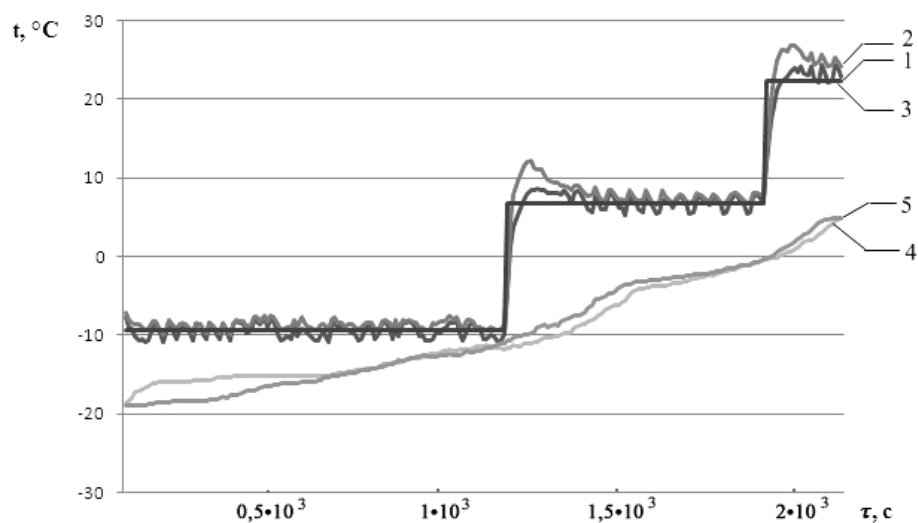


Рис. 3. Кінетика температури борщової заправки при розморожуванні за ступінчастим режимом:

- 1 – температура на вході калориметра; 2 – температура на виході з калориметра;
3 – задана температура на вході калориметра; 4 – температура зразка при розморожуванні; 5 – температура зразка при заморожуванні

Отже, використовуючи калориметр зі зворотним зв'язком по температурі та ПІД-регулятором, проведено процес розморожування зразків борщової заправки за температурною кривою їх заморожування, що наближає процес до термодинамічної оборотності й відобразиться на функціонально-технологічних властивостях виробів. Установлено особливості процесів заморожування – розморожування зразків борщової заправки: заморожування доцільно проводити при постійній, а розморожування при змінній температурі навколишнього середовища. Визначено, що на проведення процесу розморожування зразків необхідно в 2–2.5 рази більше теплоти, ніж виділяється при заморожуванні. Встановлена пряма залежність виділеної та витраченої кількості теплоти від режиму сушіння, якому попередньо піддавалися зразки: чим більше вологи видалено з продукту, тим менше теплоти необхідно затратити на його розморожування. Аналогічна залежність характерна також для процесу заморожування.

Таким чином, визначені та експериментально перевірені режими ступінчастого розморожування свідчать про можливість здійснення термічної оборотності процесу заморожування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Паньшин Н. Б.* Совершенствование камеры быстрого замораживания пищевых продуктов с использованием низкотемпературного воздуха турбохолодильной машины : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.04.03 / Н. Б. Паньшин. — М., 2010. — 18 с.
2. *Буянов В. О.* Разработка технологии быстрого замораживания пищевых продуктов на базе комбинированного способа: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.18.04 / В. О. Буянов. — К., 2009. — 18 с.
3. *Орлова Н. Я.* Консистенция и влагоудерживающая способность замороженных плодов / Н. Я. Орлова // Пищевая пром-сть. — 1992. — № 1. — С. 24—25.
4. *Руцкий А. В.* Холодильная технология обработки и хранения продовольственных продуктов / А. В. Руцкий. — М. : Высш. шк., 1991. — 197 с.
5. *Доценко Н.* Кріозахист айви при заморожуванні / Н. Доценко, Є. Кротов, А. Бровченко // Харчова і переробна пром-сть. — 1997. — № 12. — С. 24—25.
6. *Сборник рецептурных блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания.* — М. : Экономика, 1983. — 720 с.
7. Пат. 13953 Україна, МПК А/23L 1/00. Пристрій для визначення кількості вільної та зв'язаної вологи при температурах, близьких до температури рідкого азоту / А. М. Одарченко, Д. М. Одарченко, М. І. Погожих — № 200511091 ; заявл. 23.11.2005 ; опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4. — 4 с.
8. *Вплив попередньої підготовки на заморожування компонентів для борщової заправки* / [А. М. Одарченко, Д. М. Одарченко, Т. В. Карбівнича та ін.] // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. праць. — Донецьк : ДонНУЕТ, 2010. — Вип. 25. — С. 305—311.
9. *Денисенко В. В.* ПИД-регулятори: принципы построения и модификации / В. В. Денисенко // Современные технологии автоматизации. — 2006. — № 4. — С. 66—74.
10. *Денисенко В. В.* ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации / В. В. Денисенко // Современные технологии автоматизации. — 2007. — № 1. — С. 78—88.

Стаття надійшла до редакції 07.09.2011.

Черевко А., Одарченко А., Карбівнича Т. Термически обратимый процесс размораживания полуфабрикатов. Исследована особенность процесса программируемого размораживания овощного полуфабриката, который предварительно подвергался режимам технологической обработки (сушке). Научно обоснованы и экспериментально проверены режимы ступенчатого размораживания борщевой заправки.

ISSN 1998-2666. Товари і ринки. 2011. №2

Cherevko A., Odarchenko A., Karbivnichaya T. The thermally convertible process of defrosting of intermediate product. The features of the process of programmed defrosting of vegetable semi product that had previously been subject to technological regimes of technological processing (drying) are studied. Gradual defrost models of borsch flavor are scientifically based and experimentally verified.

НОВІТНІ ТЕХН
ОЗДОРОВЧІК