

## ДОСЛІДЖЕННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ЗАМОРОЖУВАННЯ НАПІВФАБРИКАТУ ЗІ СТОЛОВОГО БУРЯКУ

**О. І. Черевко, доктор технічних наук;  
М. І. Погожих, доктор технічних наук;  
А. М. Одарченко, кандидат технічних наук;  
Д. М. Одарченко, кандидат технічних наук;  
Г. Л. Звягінцева**

В Україні буряк є однією з найпоширеніших сільськогосподарських культур. Асортимент продуктів переробки столового буряка досить обмежений. Переважно це продукти, представлені салатами і обідніми стравами, які реалізуються на підприємствах громадського харчування. Також ринок торгової мережі України представлений невеликою кількістю консервованих продуктів переробки столового буряка. Такі продукти представлені натуральними, закусочними консервами, сухими концентратами, маринованими продуктами і соками [1].

Ринок заморожених напівфабрикатів із овочів – це один із крупних сегментів ринку замороженої продукції, що динамічно розвивається в Україні. Асортимент заморожених напівфабрикатів з овочів на українському ринку сьогодні великий: перець салатний, брюссельська капуста, капуста броколі, зелений горошок, квасоля, шпинат, кабачки молоді, морква, овочеві суміші (царська, гавайська, китайська, мексиканська, літня, весняна, для супу, по-селянськи, овочева рагу та ін.), спаржа, картопля фрі та інші. Відносно недавно почалося виробництво продуктів із столового буряка лікувально-профілактичної дії.

Заморожування – фізичний процес, що протікає з різною швидкістю залежно від методу, температури, устаткування, виду і сорту сировини. Консервування як фізичний процес обмежує негативну дію мікроорганізмів, ферментів і фізико-хімічних чинників. Глибоке

заморожування надійно пригнічує життєдіяльність мікробів і дію більшості ферментів. Несприятливим чинником, що впливає на якість консервованих таким способом продуктів, є утворення крупних кристалів льоду, які можуть пошкодити рослинні тканини або клітини механічною дією: розрив стінок [2].

Перевагами консервації продуктів шляхом заморожування є:

- збереження якостей свіжого продукту;
- зменшення втрати маси продукту при зберіганні в 2–3 рази;
- скорочення виробничих площ в 1,5–2 рази;
- зниження потреб у виробничому персоналі на 25–30 %;
- скорочення терміну окупності виробництва на 15–20 %.

Одним із способів підготовки напівфабрикатів перших і других страв є технологічна операція – тушіння, яка інактивує ферменти, розм'якшує рослинні тканини і сприяє набухання крохмалю і целюлози.

Основними критеріями при виборі способу заморожування є швидкість і економічність проведення процесу. При цьому кількість теплоти, що відводиться повітрям від продукту, прямо пропорційна площі поверхні контакту повітря з продуктом, різниці температур повітря і продукту і коефіцієнта теплопередачі від продукту до повітря. При цьому режими заморожування є єдиним чинником, який, так або інакше, визначає товарні властивості кон-

сервування заморожуванням буряка. Оскільки вода є основним середовищем, у якому відбуваються біохімічні, ферментативні реакції і мікробіологічні процеси, то її кількість перед заморожуванням об'єкта визначає не тільки енергетичні витрати, швидкість заморожування, продуктивність морозильних установок, але і якість готової продукції.

При заморожуванні відбуваються незворотні процеси, зумовлені коагуляцією, агрегацією високомолекулярних з'єднань, розчинених у воді в нативному стані. Утворення льоду в процесі заморожування призводить до зниження розчинності окремих компонентів через підвищення їх концентрації в рідкій фазі. Якщо цей процес (зниження кількості розчинника) провести до етапу заморожування, то слід чекати зміни на кривих кінетики температури зразка, точок кристалізації різних форм вологи.

Таким чином, метою статті є вивчення кінетичних закономірностей температури зразків напівфабрикатів для перших і других страв на основі столового буряка, а також виконати кількісну оцінку вимороженої вологи за різних температур заморожування.

Була використана методика тушіння столового буряка в трьох режимах: 1,0 – тушіння до повної готовності; 0,7 – скорочений режим тушіння та 1,3 – режим тривалого тушіння буряка. Тушіння столового буряка проводили таким чином: миття, інспекція, очищення, подрібнення і тушіння свіжого буряка. Режим готовності визначався органолептично, унаслідок чого були встановлені тимчасові параметри приготування для кожного з режимів.

Процес заморожування здійснювався за допомогою низькотемпературного калориметра [3]. Як холодоносії використовували пари рідкого азоту, які змішувались у певній пропорції з повітрям для створення необхідних температур:  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Заморожуванню піддавався зразок тушкованого буряка, масою 20 г, який занурювався в калориметр із заданою температурою середовища нижче  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Процес заморожування вважався закінченим при досяганні усередині досліджуваного зразка температури, рівної температурі середовища. Після цього моменту здійснювали процес розморожування продукту, встановивши в ка-

мері калориметра температуру навколишнього середовища. Експеримент вважали завершеним після досягнення температури зразка  $+20\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Контроль температури в зразку здійснювали по шарах продукту, а також контролювали температуру суміші повітря та азоту. Реєстрацію здійснювали за допомогою хромель-копелєвих термопар, е.д.с. яких реєстрували цифровим потенціометром, сполученим з портом ПК. Статистичну обробку і апроксимацію бази даних проводили за допомогою програмного засобу Mathcad 2001.

Загальний вид термограм при заморожуванні і нагріванні зразків представлений на рис. 1.

Термограма розбита на дві ділянки, відокремлені вертикальною лінією: ліва частина – ділянка заморожування за постійної температури заморожування (для  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), права частина – нагрівання (дефростація) за постійної температури, рівній температурі навколишнього середовища. Видно, що криві заморожування і розморожування не мають повної симетрії щодо шкали часу: тривалість заморожування дещо більше, ніж розморожування. Очевидно, це зумовлено двома основними чинниками: різною теплопровідністю зразка, що містить лід або рідину. Проте на всіх кривих чітко видно характерні ділянки, які можна ідентифікувати по так званих критичних точках: ділянка від початку заморожування до крапки  $K_1$  характеризується охолодженням зразка до початку утворення льоду. Потім до точки  $K_2$  відбувається безпосередній процес кристалізації частини води, яку називатимемо «вимороженою» (точка  $K_2$ ). Після точки  $K_2$  відбувається охолодження зразка до температури заморожування.

На кривій нагрівання також можна ідентифікувати аналогічні ділянки, які зумовлені розморожуванням води (таненням льоду).

У методиці використовувався калориметр з достатньою чутливістю за реєстрацією різниці температур суміші азоту і повітря між входом і виходом у робочу камеру  $\Delta t$ . Використовуючи рівняння теплового балансу, визначалась кількість вимороженої води на різних ділянках по відносних величинах площ, обмежених кривими  $\Delta t - \tau$ .

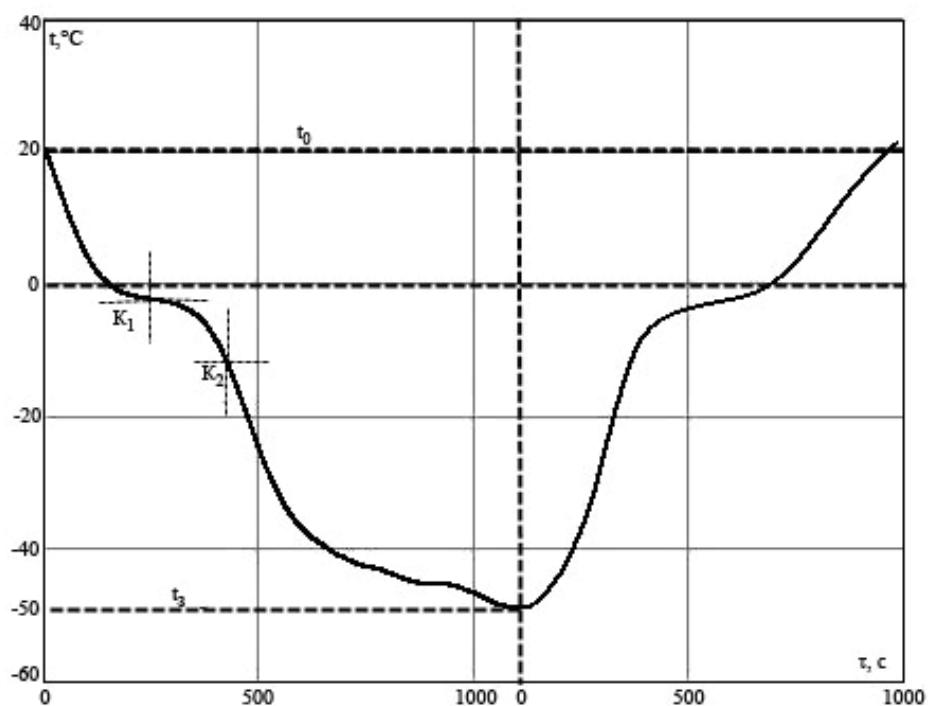


Рис. 1. Середня температура зразка при заморожуванні та нагріванні

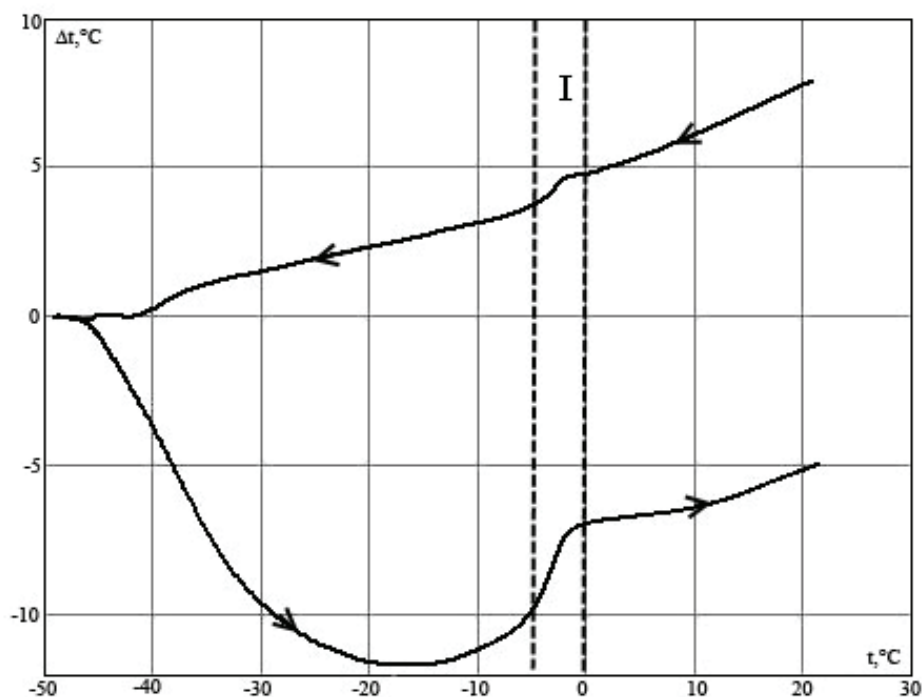


Рис. 2. Різниця температур вхід – вихід температури зразка

На рис. 2 представлена типова крива в координатах  $\Delta t - t$  зразка для випадку заморожування буряка за температури  $-50\text{ }^\circ\text{C}$ . Верхня

частина малюнка відносно  $\Delta t = 0\text{ }^\circ\text{C}$  відповідає охолодженню і заморожуванню, а нижня частина – нагріванню. Як видно, в цій системі

координат криві  $\Delta t = f(t)$  достатньо чутливі по відношенню до процесів кристалізації і рекристалізації води в зразках (ділянка I).

Заморожені продукти перед уживанням піддають дефростації (нагріванню), мета якої – доведення продуктів до стану, близького до початкового. Розбіжність між кривими заморожування і розморожування пояснюють відмінністю теплопровідності льоду і води, оскільки теплопровідність льоду в 4 рази перевищує теплопровідність рідкої води, а коефіцієнт теплопровідності розмороженого

продукту приблизно в 2–2,5 рази нижче, ніж у замороженого [4]. Внутрішня температура продукту в початковий період зростає до точки танення льоду і залишається постійною, після чого швидко підвищується до заданого рівня 4–5 °С [5].

З рис. 3 видно, що діапазони кристалізації води змінюються, що зумовлено зміною таких фізичних характеристик, як щільність, теплопровідність зразка, а також змінами колоїдного стану крохмалю і інших високомолекулярних з'єднань.

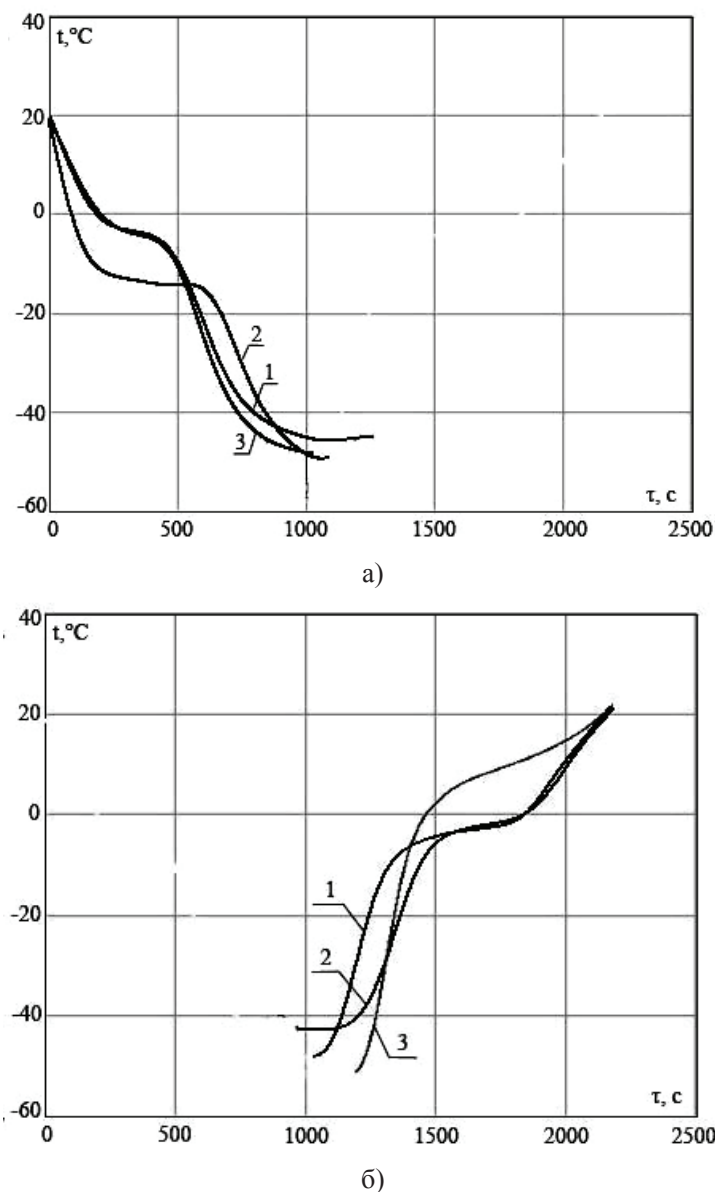


Рис. 3. Кінетика температури буряка при різних режимах тушіння:

1 – режим 1,0; 2 – режим 0,7; 3 – режим 1,3;

а) – заморожування; б) – нагрівання

Одержані дані дозволяють зробити такий висновок:

- зі зниженням температури заморожування кількість вимороженої води збільшується;
- будь-який з використаних режимів тушкування буряка зміщує діапазони температур кристалізації і рекристалізації води;
- у режимі тушкування 1,3 діапазон температур кристалізації і рекристалізації зміщений в область нижчих температур на відміну від інших режимів.

Характер (табл.) досліджуваних діапазонів температур кристалізації і рекристалізації обумовлений тим, що зразки мають достатньо велику масу і їх охолодження не відбува-

ється миттєво. Точка замерзання залежить від швидкості охолодження продукту і швидкості проходження води через стінки клітини в міжклітинні простори. Це ж слід віднести і до нагрівання зразка. На основі проведених досліджень можна зробити практичний висновок, а саме: наблизити проведений модельний експеримент до реальних виробничих умов, де використовується заморожування шматків, блоків і т. п., і температура за об'ємом зразка також не рівномірна. Проте слід зазначити, що холодоильна обробка, незалежно від характеру оброблюваного продукту, діє на процеси, які погіршують якість продуктів, з певною закономірністю.

Таблиця

Основні характеристики процесів заморожування і нагрівання буряка

Досліджуванний зразок буряка	Температура заморожування продукту, °С	Зміна маси наважки продукту в результаті заморожування, %	Діапазон температур кристалізації води, °С	Діапазон температур рекристалізації води, °С	Кількість вимороженої води, %
Свіжий	-20	2,5	-1,5...-4,5	-4,3...-1,5	53,5±0,5
	-50	1,1	-3,6...-8,8	-8,2...-2,7	56,0±0,5
	-70	0,9	-0,1...-3,1	-3,9...-0,1	78,5±0,7
Тушкований 1,0	-20	0,4	-3,7...-8,6	-8,4...-3,8	74,5±0,7
	-50	0	-2,2...-8,6	-7,9...-1,8	52,5±0,5
	-70	0,2	-1,5...-7,5	-7,6...-1,4	50,0±0,5
Тушкований 0,7	-20	1,2	-0,2...-4,2	-4,0...-0,5	73,0±0,7
	-50	0,6	-2,7...-8,2	-8,1...-2,4	71,5±0,7
	-70	0,1	-1,0...-6,5	-6,1...-0,9	72,0±0,7
Тушкований 1,3	-20	1,5	-3,7...-11,7	-12,2...-4,1	54,0±0,5
	-50	0,5	-9,4...-17,0	-17,1...-8,8	74,5±0,7
	-70	0,4	-8,1...-15,4	-16,1...-8,2	80,0±0,8

З фізичних процесів псування до основних відносяться процеси усихання продуктів або втрата маси. Вони спричиняють не тільки кількісні зміни (зменшення маси), але й можуть привести до погіршення якості продукції. Ступінь усихання овочів залежить від різниці парціального тиску водяної пари над продуктом і навколишнім середовищем, а також швидкістю руху повітря між ними. Наголошується, що з пониженням температури зберігання на кожні 10 °С усихання заморожених продуктів в середньому скорочується в 2,5 рази [6]. Одержані дані низькотемпературного заморожування зразків столового буряка (див. табл.) підтверджують вищезгаданий факт і

свідчать про те, що унаслідок пониження температури заморожування втрачається маса зразків знижується і не перевищує 3 %.

Аналізуючи діапазони кристалізації вимороженої води в досліджуваних зразках буряка, необхідно відзначити, що зміни спостерігаються як при різних температурах заморожування, так і при різних технологічних режимах готовності даного продукту. Цей факт пояснюється тим, що зміни в клітинах при їх охолодженні починають відбуватися вже поблизу точки замерзання. В'язкість клітинної протоплазми зростає, утворюється гель, а ліпіди, що містяться в клітинах, вимерзають. Проте істотні зміни починаються після замерзання



деякої кількості клітинної вологи. Замерзання клітинного колоїду звичайно починається так само, як і замерзання самого розчину. Тут теж виникає явище зниження температури замерзання, а з колоїдного розчину вимерзає тільки чиста вода. Унаслідок вимерзання води залишкова концентрація розчину зростає, і температура його замерзання подібно до дійсного розчину зменшується.

Одержані дані про кількість вимороженої води в досліджуваних зразках буряка підтверджують той факт, що зі зниженням температури заморожування кількість вимороженої води збільшується, але завдяки колоїдному характеру системи зв'язана вода не замерзає.

Вимерзання води з рослинних і тваринних клітин починається за температури їх замерзання. У міру відбору теплоти вимерзає все більше води, а концентрація розчинених у клітинній волозі речовин збільшується. Після досягнення певної точки знижувати температуру далі марно, оскільки вода з клітин більше не вимерзає. Як відомо, деяка її кількість навіть при дуже низьких температурах залишається в рідкій фазі [6].

Таким чином, експериментально було встановлено, що температура кристалізації вимороженої води в досліджуваних зразках столового буряка сорту «Козачок F1», що районується в Харківській області, зміщується залежно від температури заморожування, а також попередньої технологічної підготовки даного продукту. Експериментально були визначені та графічно підтверджені точки початку і кінця процесу кристалізації і рекристалізації вимороженої води, а також розрахована її фактична кількість у досліджуваних зразках буряка.

Одержані дані будуть використані для визначення раціональних режимів заморожування і розморожування столового буряка з метою забезпечення покращення властивостей заморожених напівфабрикатів для перших і других страв.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сальников А. Н. Заготовка и переработка овощей : справ. пособие / А. Н. Сальников, П. В. Левченко. – Донецк : Донбасс, 1988. – 128 с.
2. Бабич О. В. Наукове обґрунтування розробки рецептури швидкозаморожених овочевих напівфабрикатів для функціонального харчування / О. В. Бабич, Н. О. Орлова. – Донецьк : Донецький держ. ун-т, 2001. – Вип. 6, т. 11. – С. 141–148.
3. Патент № 13953 Україна, МПК А/23L 1/00. Пристрій для визначення кількості вільної та зв'язаної вологи при температурах, близьких до температури рідкого азоту / Одарченко А. М., Одарченко Д. М., Погожих М. І.; заявник і патентовласник Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – № 200511091; заявл. 23.11.2005; опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4.
4. Плужников И. И. Разработка технологи и биохимические исследования режимов термической обработки компонентов наборов замороженных овощей : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. шифр «Назва спец.» / И. И. Плужников. – О. : [б. и.], 1981. – 26 с.
5. Постольски Я. Замораживание пищевых продуктов / Я. Постольски, З. Груда. – М. : Пищевая промышленность, 1978. – 606 с.
6. Алмаши Э. Быстрое замораживание пищевых продуктов : Э. Алмаши, Л. Эрдели, Т. Шарей. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 406 с.