

УДК 664.8.375:635

## ЗАМОРОЖУВАННЯ І ДЕФРОСТАЦІЯ ПЛОДОВООВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ ПІД ТИСКОМ

*В.Ф. Ялпачик, к.т.н., докторант*

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

**Ключові слова:** заморожування, напруга, гідростатичний тиск, осмотичний тиск, дефростація, температура, коефіцієнт теплопровідності, клітка плодів.

**Keywords:** freezing, tension, hydrostatical pressure, osmotic pressure, defrosting, temperature, coefficient of heat conductivity, cage of garden-stuffs.

**Реферат.** На прикладі ягід винограду розглянутий процес, що відбувається усередині клітки. Рішення задачі Ляме показала, що напруга при заморожуванні для всіх точок стінок ягоди винограду розтягується і змінюється по гіперболічному закону.

З метою зменшення найбільших розтягуючих напруг необхідно навантажити циліндрову оболонку зовнішнім тиском, рівним гідростатичному тиску в клітці.

Проведені дослідження показали, що заморожування і дефростацію слідє проводити при тиску для баклажан – 0,03 МПа, кукурудза – 0,045 МПа, перцю – 0,067 МПа, винограду – 0,07 МПа.

**Summary.** On the example of berries of vine the considered process, that takes place into a cage. Decision of task Lyame showed that tension at freezing for all points of walls of berry of vine stretched and changes on a hyperbolic law.

With the purpose of reduction of most stretching tensions it is necessary to load a cylinder shell by external pressure even to hydrostatical pressure in a cage.

The conducted researches showed that freezing and defrosting follows to

conduct at pressure for aubergine – 0,03 МПа, corn – 0,045 МПа, pepper – 0,067 МПа, vine – 0,07 МПа.

**Постановка проблеми.** Одним з ефективних шляхів збереження втрат сільськогосподарської сировини, а, отже, збільшення об'ємів продовольчих ресурсів, є розширення виробництва заморожених продуктів. Проте, існуючі способи зберігання продукції в замороженому вигляді не задовольняють вимогам, що пред'являються. Після дефростації плоди зморщуються, тобто мають не товарний вигляд. Тому проблема удосконалення технології заморожування і дефростації є актуальною.

**Аналіз останніх досягнень.** Вибір режимів заморожування, обумовлений забезпеченням умов для зниження ушкоджувальної дії осмотичного тиску води; зменшення деформації біологічного об'єкту кристалами льоду, що ростуть; досягнення обезводнення біооб'єкту, достатнього для запобігання усередині клітинної кристалізації.

Клітинні стінки здійснюють тиск на воду, яке виражається в появі напруги від дії поверхневого натягнення під впливом системи повітря – вода і сил притягання системи твердий стан – вода.

Якби стінки клітки були ідеально пружними, то після дефростації плід зберігав би первинний вигляд. Проте вона не є ідеально пружною і тому може розтягуватися і ягода після дефростації зморщується.

**Постановка завдання.** Метою статті є розробка способу заморожування і розморожування плодів при якому дотримується динамічна рівновага, тобто проводити дію при гідростатичному тиску, який дорівнює тиску в плодах.

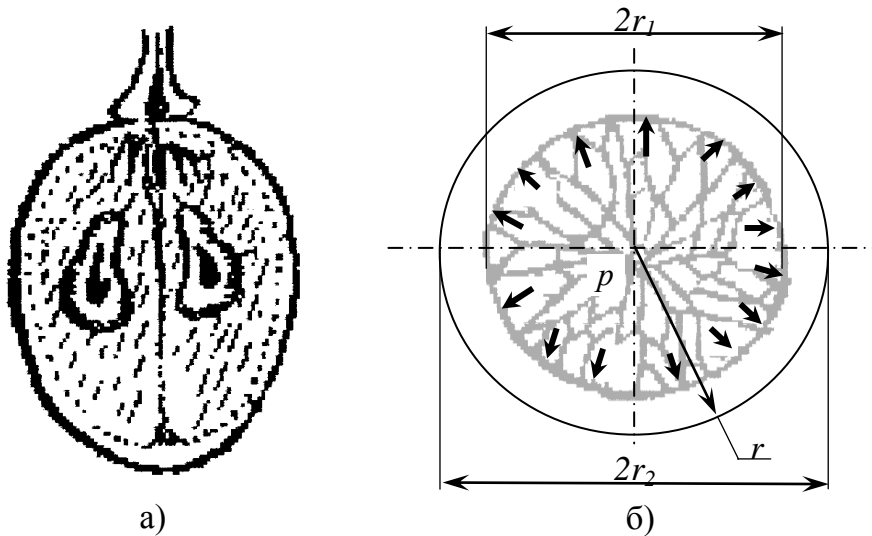
**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо на прикладі винограду [4] процес, що відбувається усередині клітки при заморожуванні, проведемо дослідження напруженого стану оболонки винограду. Для цього використовуємо в першому наближенні приватну задачу розрахунку

циліндра (задача Ляме) [2,3] при навантаженні його тільки внутрішнім тиском (рис.1):

$$\sigma_t = \frac{pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \left( 1 + \frac{r_2^2}{r^2} \right); \quad (1)$$

$$\sigma_r = \frac{pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \left( 1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right), \quad (2)$$

де  $\sigma_t$  – окружна напруга;  
 $\sigma_r$  – радіальна напруга;  
 $p$  – внутрішній тиск;  
 $r_1$  – радіус внутрішньої поверхні;  
 $r_2$  – радіус зовнішньої поверхні;  
 $r$  – відстань від осі циліндра до даної точки.



Мал. 1 Ягода винограду (а) і схема її навантаження (б)

Як видно з приведених формул (1), (2) і напруги  $\sigma_r$  для всіх точок стінки стискаючі, а напруги  $\sigma_t$  – розтягуючі.

Напруги по товщині стіни змінюються по гіперболічному закону.

Відомо [1], що розрив кліток рослинної сировини при заморожуванні свідчать про виникнення в ній внутрішніх напруг при фазових

перетвореннях рідини. В результаті температурного градієнта в різних шарах продукту одночасно відбуваються різні процеси. Зовнішні шари, в яких температура стає значно нижчою криоскопічною, стискаються, об'єм внутрішніх – збільшується (до 9%), у наслідок перетворення води в лід. Між цими шарами в продукті розвивається тиск, що зростає у міру відведення теплоти. В той момент, коли напруга в поверхневих шарах перевищує межу міцності, продукт розтріскується.

З метою зменшення найбільших розтягуючих напруг  $\sigma_t$  необхідно навантажити циліндрову оболонку зовнішнім тиском.

Розглянемо зміну напруг  $\sigma_t$  і  $\sigma_r$  під дією зовнішньої напруги. В цьому випадку формули для напруг мають вигляд:

$$\sigma_r = -\frac{r_2^2 \cdot p}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \left(1 - \frac{r_1^2}{r^2}\right) \quad (3)$$

$$\sigma_t = -\frac{r_2^2 \cdot p}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \left(1 + \frac{r_1^2}{r^2}\right) \quad (4)$$

Обидві напруги стискаючі, причому  $\sigma_t > \sigma_r$  (по абсолютній величині).

В внутрішньої поверхні циліндра маємо:

$$(\sigma_r)_{r=r_1} = 0;$$

$$(\sigma_t)_{r=r_1} = -\frac{2}{1-k^2} \cdot p; \quad (5)$$

Отже, проведені теоретичні дослідження показали, що заморожування ягід слід проводити при зовнішньому тиску рівному гідростатичному тиску в клітці.

Гідростатичний тиск надає дію підтримці форми плоду, впливає на рух води і розчиненню речовин. Про наявність гідростатичного тиску свідчить той факт, що при проколюванні плодів з них бризкає сік. Якби стінки клітки були

ідеально пружними, то після дефростації плід зберігав би первинний вигляд. Проте вона не є ідеально пружною і тому може розтягуватися і плоди після дефростації зморщуються.

Тому, для виключення цього явища, необхідно при заморожуванні і розморожуванні плодів дотримуватися динамічної рівноваги, тобто проводити дію при гідростатичному тиску, який дорівнює тиску в плодах.

Для визначення гідростатичного тиску в плодах необхідно знати осмотичний тиск.

Осмотичний тиск в плодах варіює від 0,9 (томати) до 3,8 МПа (виноград) [4].

Осмотичний тиск грає велику роль в біологічних явищах. Так постійний осмос в середині кліток утворює в плодах підвищений гідростатичний тиск, який обумовлює міцність і пружність тканин. Урівноважений осмотичний тиск клітинного соку складає 405...2026 кПа [5]

Осмотичний тиск клітинного соку простіше всього визначити кріоскопічним методом по рівнянню Ван Гоффа [6]

$$P = i \cdot r \cdot R \cdot T, \quad (6)$$

де  $P$  – осмотичний тиск, атм;

$i$  – ізотонічний коефіцієнт;

$r$  – концентрація розчину, міль на 1 л;

$R$  – газова константа;

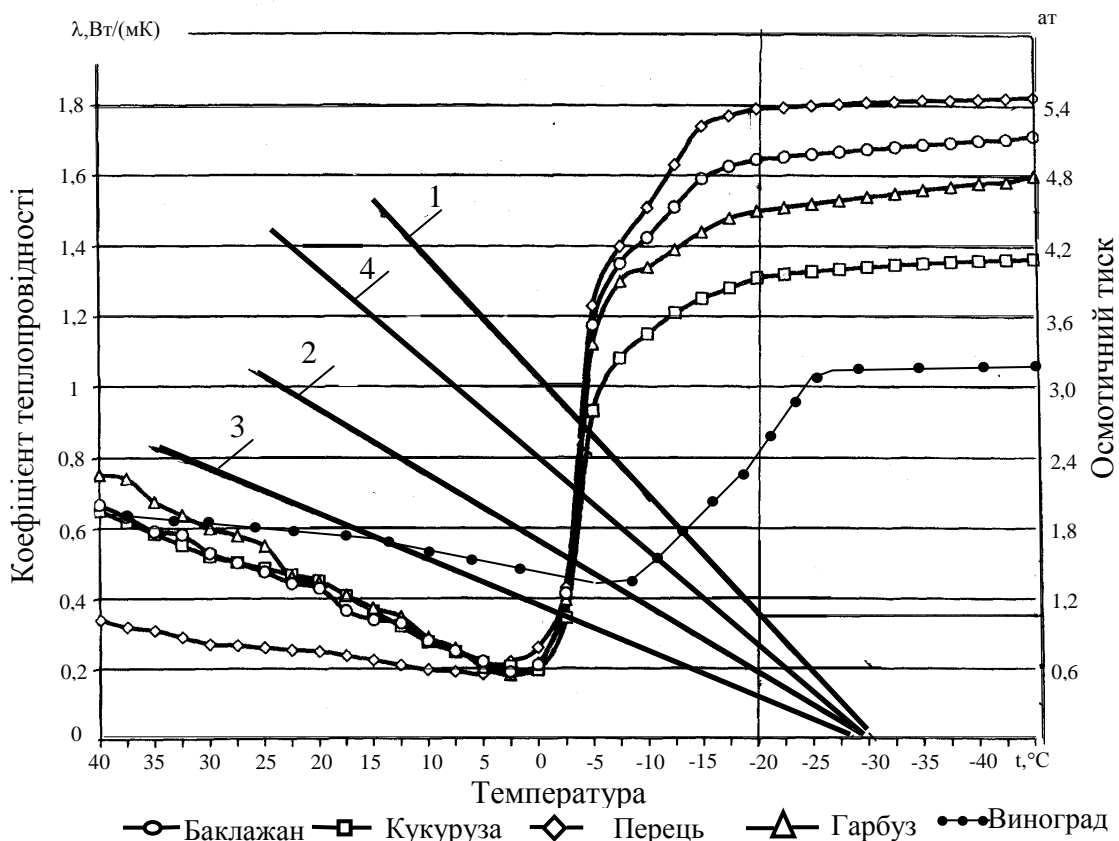
$T$  – температура від абсолютного нуля, °К.

Відомо [7], що кожний моль речовини, доданий до води, викликає пониження температури замерзання розчину на 1,86°С (кріоскопічна постійна). Знаючи цю постійну, можна визначити ефективну концентрацію (активність) розчину  $i$ , таким чином, обчислити величину осмотичного тиску.

Розрахунки осмотичного тиску для температур від плюс 25°С до

мінус 30°C представлені в таблиці.

Відомо, що збереження плодів і ягід слід проводити при температурі мінус 20°C, тому з точки кривої, зміни коефіцієнта теплопровідності, відповідної мінус 20°C опустимо перпендикуляр до перетину з лінією осмотичного тиску, відповідною даному плоду (рис.2). Точка перетину і відповідатиме гідростатичному тиску, тобто такому тиску при якому необхідно проводити заморожування продукції.



Мал. 2. Графіки зміни коефіцієнта теплопровідності, осмотичного тиску від температури

1 – гарбуз; 2 – кукуруза; 3 – баклажан; 4 – перець.

Проведені дослідження показали, що заморожування і дефростацію

слідуює проводити при тиску для баклажан – 0,03 МПа, кукурудза – 0,045 МПа, перцю – 0,067 МПа, винограду – 0,07 МПа. Досліди показали, що плоди, заморожені і дефростированні під тиском мають значно кращий вигляд, ніж плоди, заморожені і дефростированні в звичайних умовах. Вони мають природне забарвлення і форму і щільну консистенцію, а плоди перцю, крім того, і добре виражений аромат.



Мал. 3. Розморожені плоди:

- а) – перець; б) – баклажани;  
в) – кукурудза; г) – виноград

Працездатність пропонованої моделі процесу заморожування ягід, плодів і овочів під тиском підтверджується роботою Орлової Н.Я. застосувала метод попереднього осмотичного обезводнення в плазмолітичній розчині для визначення впливу обезводнення на якість заморожених плодів слив і абрикос [6].

В результаті обезводнення клітки плоду підвищується концентрація внутріклітинних колоїдів, здійснюється переохолодження внутріклітинного змісту і його перехід склоподібний стан, що не порушує структуру кліток. Завдяки цьому консистенція розморожених осмотично обезводнених плодів

на відміну від плодів контрольного варіанту була міцною і оцінювалася в межах 4,3–4,8 балів, у контрольних зразків – в межах 2–3 балів.

Відомо [7], що осмотичний тиск в клітках овочів, фруктів і винограду коливається межах від 0,08 до 0,49 МПа. Вимірювання тиску в одиницях МПа не виражають фізичних процесів які відбуваються в клітці при заморожуванні.

Тиск є результуючою силової дії молекул на стінки судини і рівно відношенню нормальної складової сили до площі, на яку діє сила.

$$P = \frac{F}{S} = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \frac{mV_{\vec{v}}^2}{2} = \frac{2}{3} n \cdot \frac{mV_{\vec{v}}^2}{2}, \quad (7)$$

де  $P$  – тиск, Па = Н/м<sup>2</sup>;

$F$  – сила, Н;

$S$  – площа, м<sup>2</sup>;

$N$  – повне число молекул в одиниці об'єму;

$V$  – об'єм, м<sup>3</sup>;

$\bar{v} = N/V$  – число молекул в одиниці об'єму;

$m$  – маса, кг;

$V_{cp}$  – середня швидкість руху молекул, м/с.

Оскільки,  $\frac{m \cdot V_{cp}^2}{2} = E_k$  – кінетична енергія однієї молекули [Дж], той

тиск всіх молекул можна представити у вигляді.

$$D = \frac{\frac{2}{3} \cdot N \cdot E_k}{V} = \frac{E_{\vec{v} \vec{a}}}{V}, \quad (8)$$

де  $N$  – число молекул;

$E_k$  – кінетична енергія, Дж;

$V$  – об'єм, м<sup>3</sup>;

$E_{Kob}$  – загальна кінетична енергія  $N$  молекул.



Отже, більш правильно тиск в клітці виміряти як питому об'ємну енергію, що вимірюється в Джоулях на метр кубічний.

**Висновки:** заморожування і дефростацію плодів і ягід необхідно проводити при зовнішньому тиску, рівному гідростатичному тиску в клітці.

#### **Бібліографічний список**

1. Антонов А.А. Совершенствование производства быстрозамороженных продуктов с использованием низкотемпературных проточных систем хладоснабжения. Дис. док. техн. наук. – М., 2003. – 349с.
2. Сопротивление материалов. Под редакцией Г.С. Писаренко. – К.: Вища школа, 1973, – 670с.
3. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976, – 606с.
4. Ялпачик В.Ф., Леонова А.В., Кюрчева Л.М. Дослідження напруженого стану при заморожуванні розморожуванні винограду // Праці таврійської державної агротехнічної академії. Випуск 26, Мелітополь – 2005, С.54–60.
5. Слейчер Р. Водный режим растений. М.: Мир, 1970.– 265с.
6. Орлова Н.Я. Товарознавчі аспекти формування якості заморожених плодів, ягід і овочів. Автореферат на здоб. Наук. ступеня д.т.н. К.: 1996.
7. Кушниренко М.Д., Печерская С.Н. Физиология водообмена засухоустойчивости растений. – Кишинев: Штицца. 1991. – 306с.
8. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н.Н. Третьяков и др.; под редакцией Н.Н. Третьякова. – Г.: Колос, 1998. – 640с.
9. Рогов И.А., Куцакова В.Э. Филиппова В.И., Фролов С.В. Консервирование пищевых продуктов холодом (теплофизические основы). 2-е изд. перераб. и доп. Г.: Колос, 1999. – 176с.

Таблиця

## Зміна осмотичного тиску залежно від температури

Найменування продукту		Осмотичний тиск при температурі									
		25	15	10	0	КТ*	-5	-15	-20	-25	-30
Баклажан 0,86	Р	11,3	10,94	10,75	10,37	10,34	10,18	9,8	9,61	9,42	9,23
	Різниця тиску	2,07	1,71	1,52	1,14	1,11	0,95	0,57	0,38	0,19	0
Кукурудза 1,29	Р	17,78	16,38	16,1	15,53	15,41	15,25	14,18	14,39	14,11	13,83
	Різниця тиску	3,95	2,55	2,27	1,7	1,58	1,42	0,85	0,56	0,28	0
Перець 1,67	Р	21,93	21,20	20,47	20,09	20,22	19,73	18,99	18,62	18,25	17,89
	Різниця тиску	4,04	3,31	2,58	2,21	2,33	1,84	1,10	0,73	0,36	0
Гарбуз 2,3	Р	29,8	28,8	28,3	27,3	27,27	26,8	25,8	25,3	24,8	24,3
	Різниця тиску	5,5	4,5	4	3	2,97	2,5	1,5	1	0,5	0
Виноград	Р	24,96	24,12	23,28	22,86	22,03	22,44	22,03	21,61	21,19	20,55
	Різниця тиску	4,6	3,77	2,93	2,52	2,67	2,09	1,67	1,25	0,83	0

- Примітка: КТ – криоскопическая температура

