

УДК [664.8.037.5:536.2.022]:635.621

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ПРИ ЗАМОРОЖУВАННІ

Ялпачик В.Ф., д.т.н.,

Стручаєв М.І., к.т.н.,

Тарасенко В.Г., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-13-06

**Анотація** – розглянуто прилад та методику для визначення коефіцієнта теплопровідності, наводяться результати досліджень коефіцієнта теплопровідності кабачків і гарбузів, які можуть використовуватися при розробці технології заморожування і зберігання.

**Ключові слова** - температура, заморожування, коефіцієнт теплопровідності, кабачки, гарбуз.

*Постановка проблеми.* Технологія заморожування плодів і овочів, а також розрахунки, пов'язані з цим процесом, вимагають знання коефіцієнта теплопровідності продуктів при негативних температурах. При розробці режимів заморожування і розморожування, а також для розрахунків витрат енергії вирішальне значення має їх точне значення.

*Аналіз останніх досягнень.* Слід відзначити дослідження теплофізичних характеристик овочів і плодів у роботі Гінзбурга А.С., Громова М.А. [1]. Однак, в літературі значень коефіцієнта теплопровідності, при температурах нижче криоскопічних немає, а їхні значення при позитивних температурах, отримані в різних роботах, помітно між собою різняться. Пов'язано це з тим, що плоди та овочі в різних дослідках відрізнялися масовою часткою вологи, температурою, фізичної щільністю, а також пористістю і структурою тканини.

*Формулювання цілей статті.* Визначимо коефіцієнт теплопровідності кабачків і гарбузів при заморожуванні, розглядаючи ці овочі як деяке квазіоднорodne тіло а також розглянемо технічний пристрій для експрес-оцінки якості замороженої плодової та овочевої продукції.

*Основна частина.* Плодоовочева продукцію можна розглядати як капілярно-пористу структуру, теплофізичні характеристики якої через складність залежать від вологості, щільності, температури, хіміко-мінерального (грунтового) походження [2].

Для таких овочів, як кабачки, фрагменти яких нарізані циліндрами, можна скористатися теорією поширення теплоти поперек нескінченного циліндричного стрижня постійного перетину, для фрагменту (кубіка) гарбуза – нескінченної однорідної пластини.

Джерелом теплоти можна вважати сам матеріал плода, нагрітий до кімнатної температури (в літній час 29 ... 32 ° С). Умовно джерело теплоти концентрується уздовж осі плода. Перейшовши до абсолютної температури, отримуємо спрощене диференціальне рівняння теплопровідності

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right), \quad (1)$$

де  $T$  - температура, К;

$x$  - відстань від центру плоду, м.

Рішенням цього рівняння є такий вираз

$$T(x, \tau) = T_0 \left[ 1 - \Phi \left( \frac{x \sqrt{\rho c}}{z \sqrt{\lambda \tau}} \right) \right], \quad (2)$$

де  $T(x, \tau)$  - температура у момент часу  $\tau$  на відстані  $x$  від осі;

$T_0$  - початкова температура плоду, К;

$\Phi$  - інтеграл ймовірності Гауса [4].

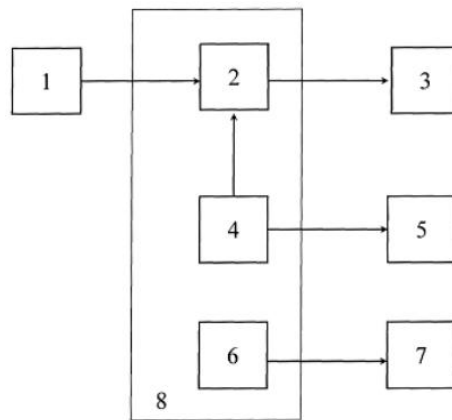


Рис. 1. Пристрій експрес-оцінки якості замороженої плодової та овочевої продукції: 1 – генератор; 2 – мост опору; 3 – мілівольтметр; 4 – вимірювальний осередок; 5 – омметр; 6 – датчик температури; 7 – дисплей; 8 – термостат.

На рис. 1 зображена схема пристрою експрес-оцінки якості замороженої плодової та овочевої продукції; на рис. 2 зображена схема вимірювального осередку, корпус якого виконує функцію зовнішнього електрода.

Для визначення коефіцієнта теплопровідності кабачків і гарбузів при негативних температурах використаний експрес-метод. Для цього

використовувався пристрій для експрес-оцінки якості замороженої плодової та овочевої продукції [3].

Пристрій експрес-оцінки якості замороженої плодової та овочевої продукції складається з генератора 1, моста опору 2, мілівольтметра 3, вимірювального осередку 4, омметра 5, датчика температури 6, дисплея 7 та термостата 8. Генератор 1 з'єднано електричними дротами з мостом опору 2, до якого під'єднані електричними дротами електричні контакти вимірювального осередку 4, який розташований разом з мостом 2 та датчиком температури 6 у термостаті 8.

До електричних контактів вимірювального осередку 4 електричними дротами під'єднано також омметр 5. Вихідний сигнал надходить на мілівольтметр 3, під'єднаний електричними дротами до моста опору 2, а датчик температури 6, що знаходиться в термостаті 8, під'єднаний електричними дротами до дисплея 7.

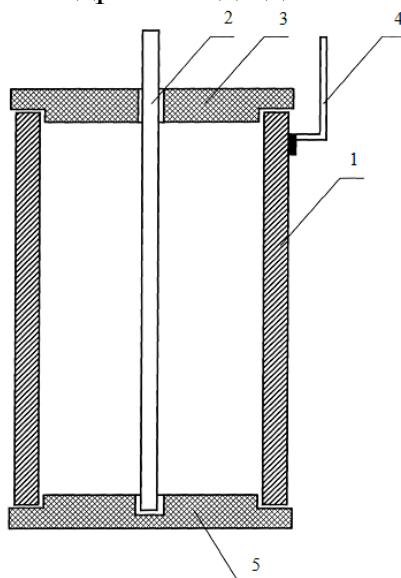


Рис. 2. Вимірювальний осередок пристрою для експрес-оцінки якості замороженої плодової та овочевої продукції: 1 – корпус; 2 – центральний електрод з електричним контактом; 3 – верхня кришка з діелектричного матеріалу з центруючим отвором; 4 – електричний контакт від зовнішнього електроду; 5 – нижня кришка з діелектричного матеріалу з центруючою втулкою.

Принцип дії пристрою описується наступним чином: вимірювальний осередок, в корпус якого встановлені зразки кабачків і гарбузів, центральний електрод, який закрито верхньою кришкою з діелектричного матеріалу з центруючим отвором, та нижньою кришкою з діелектричного матеріалу з центруючою втулкою, опускають в термостат, де встановлено датчик температури, виходи якого виведено на дисплей. Включають генератор, і після встановлення постійного значення температури, виконують вимірювання, знімаючи показання мілівольтметра та омметра.

Після заповнення вимірювального осередку зі зразком продукту, через нього проходить електричний імпульс від генератора через електричний контакт від зовнішнього електрода і центральний електрод з електричним контактом, причому електричний імпульс проходить також через міст опору і фіксується мілівольтметром. Температура вимірювального осередку та зразка підтримується постійною за допомогою термостата, а опір вимірювального осередку визначається за допомогою омметра.

Дослідження проводилося шляхом вимірювання температур в продукті в певні моменти часу та перерахунку інтеграла Гауса з використанням таблиць [4].

Згідно зі значеннями температур, визначених при пошарових вимірах, величину коефіцієнта теплопровідності визначали, використовуючи рівняння

$$\lambda = \frac{\chi^2 \cdot \rho \cdot c}{4 \cdot \tau \cdot Y^2}, \quad (3)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);

$\chi$  - відстань від центру плода, м;

$\rho$  - густина плоду, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  - теплоємність плоду, Дж/(кг·К);

$\tau$  - час, с;

$Y$  - функція нормального розподілу, згідно зі значеннями інтегралу Гаусса [4].

Узагальнені результати експериментів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Коефіцієнт теплопровідності кабачків і гарбузів

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda$ , Вт/(м·К)	Температура, °С					
	0	-5	-10	-15	-20	-25
Кабачки	0,2	1,21	1,36	1,45	1,52	1,57
Гарбуз	0,2	1,18	1,41	1,55	1,63	1,65

При температурі нижче 0 °С відбувається різке зростання коефіцієнта теплопровідності, що обумовлюється фазовим переходом води в лід. Оскільки теплопровідність льоду приблизно в 4 рази більше теплопровідності води [5], то при заморожуванні з пониженням температури  $\lambda$  зростає у відповідності з закономірностями зміни кількості вимороженої води в залежності від температури. Графічно це показано на рис.3.

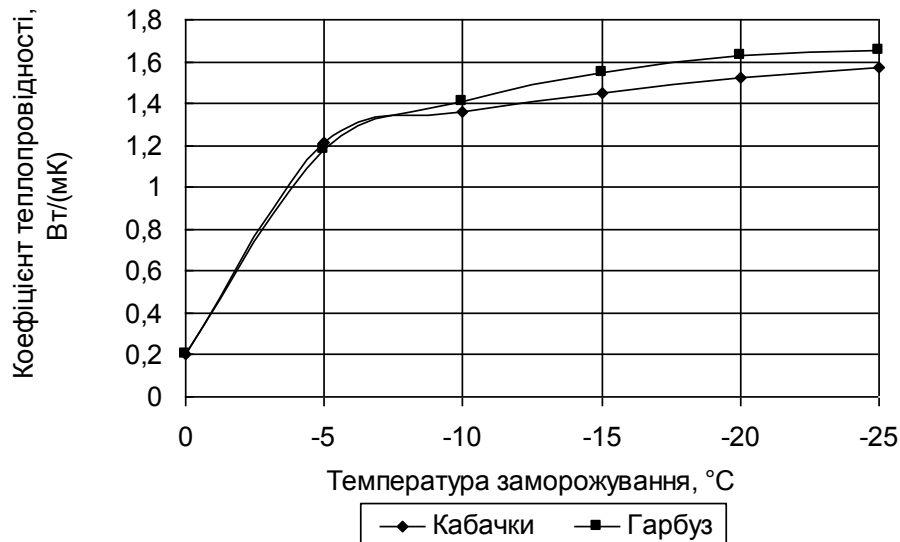


Рис. 3. Залежність коефіцієнта теплопровідності кабачків і гарбузів від температури заморожування.

*Висновки.* Аналіз результатів експериментів по визначенню коефіцієнта теплопровідності кабачків і гарбузів при заморожуванні свідчить про те, що цей показник після проходження криоскопічної температури збільшується, що пов'язано з підвищенням кількості вимороженої води.

1. Встановлено, що коефіцієнт теплопровідності як функція від температури дозволяє виконувати більш точний розрахунок процесів заморожування, зберігання в замороженому вигляді і дефростації овочевої продукції.

2. Запропоновані формули можуть бути використані для обчислення коефіцієнтів теплопровідності різних овочів і визначення температури зберігання.

Література:

1. Гинзбург А.С. Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плодов /А.С. Гинзбург, М.А. Громов . – М.: «Агропромиздат». –1987. – 265 с.

2. Иванченко В.И., Модонкаева А.Э., Ялчак В.Ф., Стручаев К.Н., Загорко Н.П. Определение коэффициента теплопроводности плодоовощной продукции при замораживании // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2001. - № 12. – с. 24-25

3. Пат. 86725 Україна, МПК (2013.01) G01N 27/00 Пристрій експрес-оцінки якості замороженої плодової та овочевої продукції / М.І. Стручаєв: Заявл. 01.07.2013, Опубл. 10.01.2014, Бюл. №1, 5 с.

4. Венцель Е.С. Теория вероятностей. - М.: Наука, 1969.- 576с.

5. Рогов И.А., Куцакова В.Е. Консервирование пищевых продуктов холодом (теплофизические основы) / Рогов И.А., Куцакова В.Е. и др. – М.: Колос, 1999. – 176 с.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ ЗАМОРАЖИВАНИИ**

Стручаев Н.И., Ялпачик В.Ф., Тарасенко В.Г.

*Аннотация* – рассмотрено прибор и методику для определения коэффициента теплопроводности, приведены результаты исследований коэффициента теплопроводности кабачков и тыквы, которые могут использоваться при разработке технологии замораживания и хранения.

## **EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THERMOPHYSICAL FEATURES OF SQUASH AND PUMPKIN AT FREEZING**

M. Struchayev., V. Yalpachyk, V. Tarasenko

### *Summary*

The results of researches of thermophysical features of squash and pumpkin, which can be used for development of technology of freezing and storage, are resulted in this paper.