



УДК 664.8:634/635

DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-51

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ І ПАРАМЕТРИ – КРИТЕРІЙ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПЛОДООВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Стручаєв М. І., к. т. н.

<http://orcid.org/0000-0002-8891-4960>

Постол Ю. О., к. т. н.

<http://orcid.org/0000-0002-0749-3771>*Таврійський державний агротехнологічний університет*

e-mail: yuliapostol111@gmail.com

Анотація - робота посвячена теоретичним і експериментальним дослідженням можливості використання значень коефіцієнтів теплопровідності в залежності від температури для контролю теплової і холодильної обробки плодоовочевої продукції в різних зонах підготовки плодоовочевої продукції до тривалого зберігання. Проведені нами дослідження в інтервалі температур: від +100°C до -195,75°C (в рідкому азоті), показали, що зміна коефіцієнта теплопровідності різних плодів і овочів від температури мають подібний характер і описується запропонованою нами формулою. Отримані аналітичні залежності та емпіричні коефіцієнти можуть бути використані для розрахунку технологічних ліній заморожування плодоовочевої продукції.

Ключові слова: коефіцієнт теплопровідності, тепла і холодильна обробка, плодоовочева продукція.

Постановка проблеми. Плодоовочева продукція займає важливе місце в сучасному раціоні харчування, але період плодоносіння на півдні України складає приблизно 3 місяці, що потребує вирішення проблеми довготривалого зберігання. Значну частку способів підготовки плодоовочевої продукції до довготривалого зберігання займає тепла і холодильна обробка. Існує кілька способів теплової і холодильної обробки для підготовки плодоовочевої продукції до тривалого зберігання. Це стерилізація, пастеризація, тривала пастеризація, короткочасне зберігання в холодильних камерах при плюсовій температурі, тривале зберігання при мінусових температурах; дуже тривале зберігання при температурах нижче мінус 50 °C [1]. При здійсненні технологічних процесів, пов'язаних з використанням теплової і холодильної обробки, важливе місце займає визначення теплофізичних характеристик і параметрів, таких як температура, тиск, коефіцієнт теплопровідності [2].

Аналіз останніх досліджень. Питання визначення теплофізичних характеристик плодів і овочів, та контролю якості плодоовочевої



продукції висвітлені в роботах [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Але проблеми, які вирішено в них носять фрагментарний характер. Узагальнюючої роботи, яка охоплює використання теплофізичних характеристик і параметрів плодоовочевої продукції для контролю якості плодоовочевої продукції на усьому інтервалі температур підготовки плодоовочевої продукції до довготривалого зберігання з використанням теплової і холодильної обробки досі немає.

Постановка завдання. Дослідження відповідності локально-стабільних значень теплофізичних характеристик і параметрів плодоовочевої продукції при позитивних і негативних температурах різним видам теплової і холодильної обробки для підготовки плодоовочевої продукції до тривалого зберігання.

Основна частина. Проведені дослідження [3,4,13] показали, що зміна коефіцієнту теплопровідності різних плодів і овочів від температури мають подібний характер, для них залежність коефіцієнта теплопровідності від температури описується запропонованою формулою

$$\lambda = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3 + a_4 \cdot T^4 + a_5 \cdot T^5 + a_6 \cdot T^6 + \dots + a_9 \cdot T^9, \quad (1)$$

Або

$$\lambda_i = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cdot T^i, \quad (2)$$

де λ_i – коефіцієнт теплопровідності даного виду овочів, Вт/(м·К);
 a_i – емпіричні коефіцієнти, які залежать від виду овочів, їх структури, вмісту вологи та інших параметрів;
 T – поточна температура плода, К.

Завдяки дослідженню коефіцієнта теплопровідності плодоовочевої продукції в широких межах: від + 100°C до -195,75°C (в рідкому азоті), можна зробити висновок про наявність кількох зон теплової обробки, в яких існують локально-стабільні значення коефіцієнта теплопровідності, відповідних зонам технологічних вимог способів теплової і холодильної обробки для підготовки плодоовочевої продукції до тривалого зберігання. В залежності від цілей зберігання плодоовочевої продукції вибирають такі способи, як: стерилізація, пастеризація, тривала пастеризація, короткочасне зберігання в холодильних ка-

мерах, тривале холодильне зберігання, дуже тривале холодильне зберігання.

Перша зона (рис. 1) лежить в області плюсових температур, від температури кипіння $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (на рисунку частина зони не показана) при атмосферному тиску до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ і відзначається плавним зниженням коефіцієнта теплопровідності зі зниженням температури, що викликано зменшенням конвективної складової перенесення теплоти і наближенням до значень чистої теплопровідності твердих структур плода поблизу нуля. У цій зоні маємо справу не з коефіцієнтом теплопровідності, а з деякою еквівалентною величиною, яка враховує перенесення теплоти як теплопровідністю через скелетні структури, так і конвективний перенос теплоти капілярною і внутрішньоклітинною вологою.

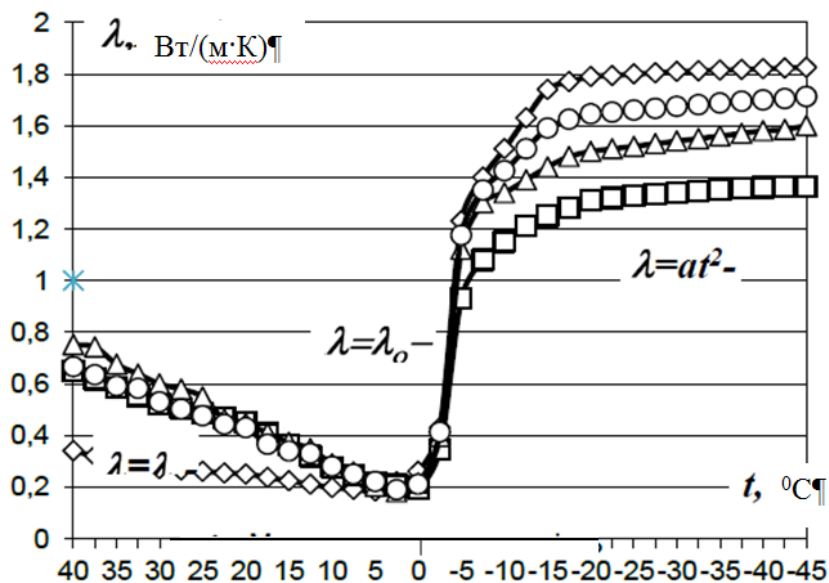


Рис. 1. Зони локально-стабільних значень коефіцієнта теплопровідності підготовки до зберігання плодоовочевої продукції на прикладі: кукурудзи молочної стиглості - \square , перцю солодкого - Δ , баклажанів - \circ і кабачків - \diamond

Друга зона: від нуля градусів до криоскопічної температури, яка для кожного плода має своє значення, але в середньому від мінус $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до мінус $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ і навіть - мінус $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ для часнику. У цій зоні ми маємо практично нульове значення коефіцієнта теплопровідності, тому, що майже уся кількість теплоти витрачається на здійснення фазового переходу. Температура при цьому залишається незмінною приблизно протягом двох з половиною годин при температурі в камері холодильника мінус $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Третя зона: від криоскопічної температури до $-15 \dots -20$ °C є перехідною і її не можна рекомендувати як температуру припинення заморожування, в ній відбувається різке збільшення коефіцієнта теплопровідності, що на перший погляд пов'язано з підвищенням теплопровідності замерзаючих структур плода. У той же час в клітинах залишається незамерзла волога.

Четверта зона від -20 °C до -45 °C є зоною виходу на пологий ділянку зміни коефіцієнта теплопровідності. У цій зоні закінчуються основні процеси кристалізації і структуризації замерзлого плода. Цю зону можна рекомендувати як зону припинення заморожування. При виході на пологі ділянку коефіцієнта теплопровідності в зону термодинамічної стійкості зниження температури можна припинити.

В таблиці 1 показано приклад відповідності зон теплової обробки зонам локально-стабільних значень коефіцієнта теплопровідності для кукурудзи молочної стиглості, перцю солодкого, баклажанів і кабачків.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів теплопровідності для кукурудзи молочної стиглості, солодкого перцю, баклажанів і кабачків у різних зонах теплової і холодильної обробки

Зони теплової і холодильної обробки	Температура, °C	Коефіцієнт теплопровідності (Вт/(м·К)):			
		Кукурудза	Перець	Баклажани	Кабачки
Стерилізація	+ 88 ... + 98	0,623	0,691	0,672	0,385
Пастеризація	+ 78 ... + 74	0,612	0,668	0,657	0,356
Тривала пастеризація	+63 ... + 65	0,591	0,651	0,643	0,263
Короткочасне зберігання в холодильних камерах	+ 2 .+ 8	0,241	0,274	0,248	0,216
Тривале холодильне зберігання -	30 . -45	1,385	1,585	1,673	1,805
Дуже тривале холодильне зберігання	-63-196	2,541	2,654	2,736	2,948



Висновки та перспективи. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показують, що значення коефіцієнтів теплопровідності як функції від температури дозволяють використовувати їх для контролю теплової і холодильної обробки плодоовочевої продукції в різних зонах на усьому інтервалі температур підготовки плодоовочевої продукції до довготривалого зберігання. Отримані аналітичні залежності та емпіричні коефіцієнти можуть бути використані для розрахунку технологічних ліній заморожування плодоовочевої продукції.

Список використаних джерел

1. Оптимізація технології заморожування плодоовочевої продукції: монографія / В. Ф. Ялпачик та ін. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2018. 198 с.
2. Дідур В. А., Стручаєв М. І. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві : навч. посібник / за ред. В. А. Дідура. Київ: Аграрна освіта, 2008. 233 с.
3. Ялпачик В. Ф., Стручаєв М. І., Тарасенко В. Г. Експериментальне визначення коефіцієнта теплопровідності при заморожуванні. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2017. Вип. 17, т. 1: Технічні науки. С. 113-118.
4. Стручаєв Н. И. Определение количества теплоты при замораживании и размораживании. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2015. Вип. 165, т. 2. С.130-131.
5. Спосіб контролю якості плодоовочевої продукції: пат. 64569А Україна: МПК G01N33/02 (2006.01). № 2003 065955; заявл. 26.06.2003; опубл. 16.02.2004, Бюл. № 2.
6. Скануючий пристрій для контролю якості плодової та овочевої продукції: пат. 68041А Україна: МПК G01N33/02 (2006.01). № 2003 098145; заявл. 01.09.2003; опубл. 15.07.2004, Бюл. № 7.
7. Пристрій визначення тиску для контролю якості плодоовочевої продукції: пат. 41466 Україна: МПК (2009): G01N 7/00. № u200814326; заявл. 12.12.2008; опубл. 25.05.2009. Бюл. № 10.
8. Пристрій експрес-оцінки якості замороженої плодової та овочевої продукції: пат. 86725 Україна: МПК G01N33/02 (2006.01). № u201308240; заявл. 01.07.2013; опубл. 10.01.2014. Бюл. № 1.
9. Спосіб контролю якості плодоовочевої продукції: пат. 95793 Україна: МПК (2011.01): G01N7/00. № a200810600; заявл. 22.08.2008; опубл. 12.09.2011. Бюл. № 17.



10. Пристрій для вимірювання бічного тиску: пат. 122060 Україна, МПК G01B 5/30 (2006.01). № у 2017 06640; заявл. 27.06.2017; опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.

11. Вимірювальний осередок для пристрою визначення коефіцієнта теплопровідності сільгосппродукції: пат. 122065 Україна, МПК G01N 33/02 (2006.01). № у 2017 06656; заявл. 27.06.2017; опубл. 26.12.2017. Бюл. № 24.

12. *Ялпачик В., Стручаев Н., Тарасенко В.* Обоснование толщины подмороженного слоя кусочков кабачков и тыквы в процессе подготовки к длительному хранению в замороженном виде. *MOTOROL*. Lublin, 2008. Т. 10 А. С. 187-190.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ - КРИТЕРИЙ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ

Стручаев Н.И., Постол Ю.А.

Аннотація – работа посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям возможности использования значений коэффициентов теплопроводности в зависимости от температуры для контроля тепловой и холодильной обработки плодоовощной продукции в различных зонах подготовки плодоовощной продукции к долговременному хранению. Проведенные нами исследования в интервале температур: от + 100°С до -195,75°С (в жидком азоте), показали, что изменение коэффициента теплопроводности различных плодов и овощей от температуры имеют сходный характер и описывается предложенной нами формулой.

Полученные аналитические зависимости и эмпирические коэффициенты могут быть использованы для расчета технологических линий замораживания плодоовощной продукции.

Ключевые слова: коэффициент теплопроводности, тепловая и холодильная обработка, плодоовощная продукция.



THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS AND PARAMETERS - CRITERION OF QUALITY CONTROL OF FROZEN PRODUCTION

Struchaiev N., Postol Y.

Summary

The work is devoted to theoretical and experimental studies of the possibility of using the values of thermal conductivity coefficients depending on temperature to control the heat and refrigeration processing of fruits and vegetables in various zones over the entire temperature range of preparation of fruits and vegetables for long-term storage. In the implementation of technological processes associated with the use of heat and refrigeration processing, the determination of thermophysical characteristics and parameters, such as temperature, pressure, and thermal conductivity, takes an important place. The task is to investigate the correspondence of locally stable values of thermophysical characteristics and parameters of fruits and vegetables at positive and negative temperatures to various types of heat and refrigeration processing to prepare fruits and vegetables for long-term storage.

Our studies have shown that the change in the thermal conductivity of various fruits and vegetables from temperature is similar in nature, for them the dependence of the thermal conductivity on temperature is described by our formula.

Thanks to our study of the coefficient of heat conductivity of fruit and vegetable products in a wide range: from + 100°C to minus 195.75°C (in liquid nitrogen), we can conclude that there are several heat treatment zones in which there are locally stable values of heat conductivity coefficients, corresponding to the technological requirements zones of the methods of heat and refrigeration processing for the preparation of fruit and vegetable products for long-term storage.

An example of the correspondence of heat treatment zones to zones of locally stable values of the coefficient of thermal conductivity for dairy maize, sweet pepper, eggplant and zucchini is given. The obtained analytical dependences and empirical coefficients can be used to calculate technological lines for freezing fruit and vegetable products.

Keywords: coefficient of thermal conductivity, heat and ho-bedding processing, fruit and vegetable production.