

УДК 641.437.075.8

**РОЗРАХУНОК ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОВОЧІВ**

Ялпачик В.Ф., д.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619)42-13-06

**Анотація**– у роботі наведено алгоритм розрахунку значень ефективної теплопровідності всієї системи плодоовочевої сировини. У статті дано порівняння розрахункових та експериментальних даних з ефективною теплоємністю овочів.

**Ключові слова**–теплопровідність,теплова обробка, теплофізичні властивості.

*Постановка проблеми.* Концепція суттєвої необхідності розрахунку теплофізичних властивостей полягає в їх використанні в рамках крайових задач теплопровідності. Якщо при моделюванні процесів холодильної чи теплової обробки об'єктів харчової сировини взяти за основу диференціальне рівняння теплопровідності, то виникає необхідність у значеннях чотирьох теплофізичних величин, що загалом залежать від температури.

*Аналіз останніх досліджень.* Специфіка об'єктів харчової сировини полягає, перш за все, в протіканні фазового перетворення вода-лід або лід-вода, тобто вони є об'єктами з внутрішніми стоками чи джерелами теплоти, інтенсивність яких визначається динамікою фазового перетворення. У цьому плані необхідне моделювання процесів холодильної обробки та холодильного зберігання овочів.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Для вирішення завдання енерго- та ресурсозбереження необхідно знати теплофізичні властивості харчової сировини. Тому виникає потреба в моделюванні і розрахунках теплофізичних властивостей сировини.

*Основна частина.* З метою розробки цих методик проведений порівняльний аналіз визначення ізобарної питомої теплоємності, питомої ентальпії, густини та теплопровідності в діапазоні від мінус 40 до плюс 40 °С. Для цих розрахунків висунута концепція, що харчову сировину та продукти можна розглядати як гетерогенні ізотропні системи з ізольованими та взаємопроникаючими компонентами – суха частина, вода, лід, атмосферне повітря, тому розрахунки були проведені за адитивними формулами (за питомими об'ємами, масовими частками компонент  $W_i$ ), наприклад, для питомої теплоємності  $C$ :

$$C(T) = C_{\text{сух}}(T)W_{\text{сух}} + C_B(T)W_B + C_L(T)W_L. \quad (1)$$

З використанням довідкових даних з температурних залежностей питомої теплоємності компонентів сухої частини  $C_{\text{сух}}$  плодів, ягід та овочів розроблена методика розрахунку  $C_{\text{сух}}$  для всіх об'єктів даної роботи.

Для повного і послідовного розрахунку значень ефективної теплоємності, ентальпії, густини та коефіцієнта теплопровідності були отримані співвідношення для розрахунку масової частки вимороженої води  $\omega(T)$ .

Для густини  $\rho$  також використовувалась адитивна формула підсумовування питомих об'ємів ( $1/\rho$ ) компонент об'єкту досліджень - рідинної, у тому числі і переохолодженої води, льоду, „сухої“ частини, атмосферних газів:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{W_{\text{сух}}}{\rho_{\text{сух}}} + \frac{W_B}{\rho_B} + \frac{W_L}{\rho_L} + \frac{W_g}{\rho_g}. \quad (2)$$

На основі аналізу п'яти моделей теплопровідності розроблений алгоритм розрахунку значень ефективної теплопровідності (перколяції теплоти) всієї системи плодоовочевої сировини, який реалізовано на алгоритмічній мові Turbo Pascal.

$$\lambda(T) = \sum_{i=1}^5 \lambda_i \frac{K_i - L_i}{\lambda_i - L_i}. \quad (3)$$

де  $L_i$ , - ефективна теплопровідність  $i$ -го середовища;

$K_i$  - ефективна теплопровідність бінарних підсистем, що складаються з  $i$ -тої компоненти ( $\lambda_i, V_i$ ).

У рамках отриманих положень, допущень та розрахункових формул розроблені розрахункові процедури на алгоритмічній мові Turbo Pascal, які при заданих вхідних даних щодо вологовмісту  $W_{in}$ , температури початку кристалізації води  $T_{kp}$ , масової концентрації атмосферних газів, протеїну, жиру, вуглеводів, клітковини та золи розраховують значення густини, питомої ефективної теплоємності, питомої ентальпії, ефективної теплопровідності, масової частки вимороженої води при кожній заданій температурі плодоовочевого об'єкту в діапазоні від мінус 40 до плюс 40 °С. Ці процедури дозволяють проводити розрахунки для всіх досліджуваних плодів та овочів на єдиній інформаційній основі щодо властивостей компонентів.

Як приклад, наведені результати розрахунку теплофізичних характеристик для моркви, які подані на рис.1.

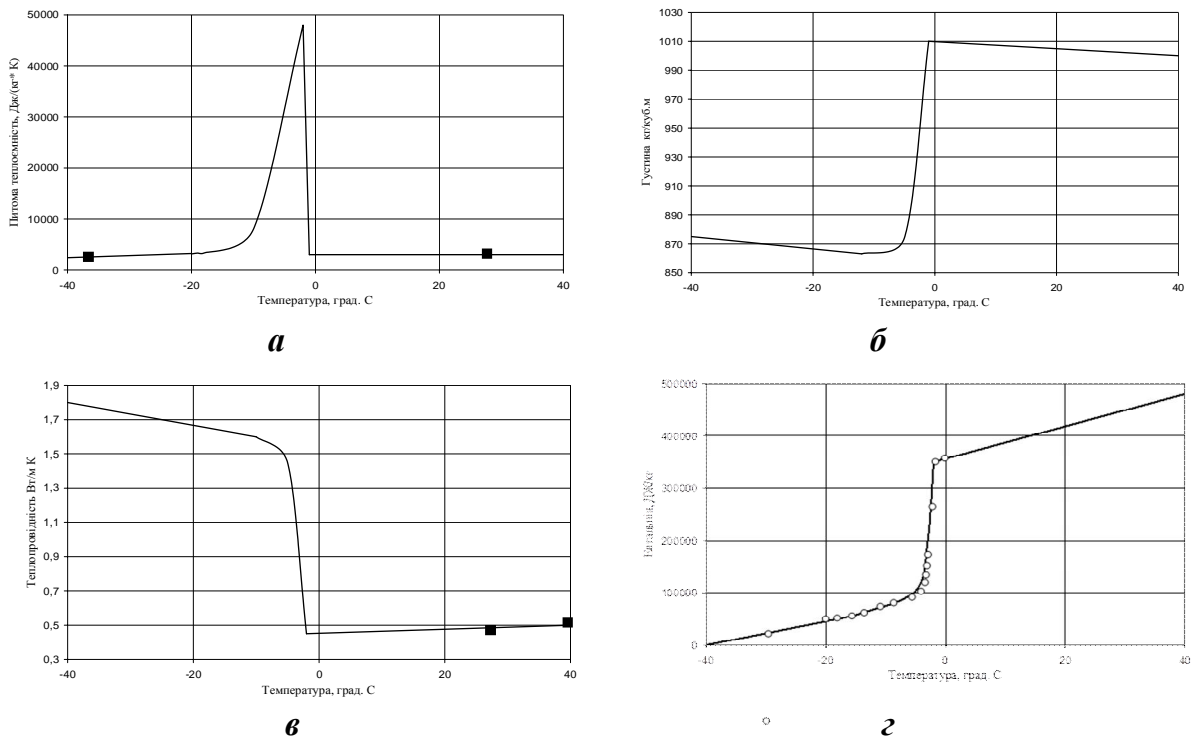


Рис. 1. Температурна залежність теплофізичних властивостей моркви: а -  $C_p(T)$ , б -  $\rho(T)$ , в -  $\lambda(T)$ , г -  $I(T)$ .

Порівняння розрахункових та експериментальних даних (табл.1) показують, що відхилення лежить у межах 1,4...1,9 %.

Таблиця 1 – Теплоємність моркви

T, °C	$W_{in}$	$T_{кр}, °C$	$C_p, Дж/(кг \cdot K)$		Відхилення, %
			експеримент	розрахунок	
65	0,878	- 1,40	3810	3883,8	1,94

Аналогічні дані отримані для винограду, а також для гарбузів, баклажанів, кабачків, кукурудзи молочної стиглості і солодкого перцю (табл. 2).

Таблиця 2 – Порівняння розрахункових та експериментальних даних з ефективною теплоємністю овочів

Назва овочів	T, °C	$W_{in}$	$T_{кр}, °C$	$C_p, Дж/(кг \cdot K)$		Відхилення, %
				експерим. дані	розрахунок	
1	2	3	4	5	6	7
Гарбуз	- 40,0	0,916	- 0,80	1810	1925,5	- 6,38
	25,0	0,916	- 0,80	3970	3968,0	0,05

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7
Кабачки літніх сортів	- 40,0	0,942	- 0,50	1740	1896,8	- 9,01
	25,0	0,942	- 0,50	4070	4034,8	0,87
	40,0	0,949	- 0,50	4040	4050,2	- 0,25
	23,0	0,944	- 0,50	3951	4040,3	- 2,26
Кабачки зимових сортів	26,0	0,877	- 0,80	3580	3868,3	- 8,05
	- 40,0	0,878	- 0,80	1870	1907,5	- 2,01
	25,0	0,878	- 0,80	3890	3870,5	0,50
	35,0	0,820	- 0,80	3768	3721,3	1,24
	30,0	0,818	- 0,80	3601	3717,3	- 3,23
	20,15	0,795	- 0,80	3620	3658,7	- 1,07
Баклажани	25,0	0,9203	- 0,80	4020	3983,2	0,91
	- 40,0	0,9200	- 0,80	2010	1931,6	3,90
Перець солодкий	25,0	0,9219	- 0,70	4010	3988,0	0,55
	- 40,0	0,930	- 0,70	1840	1922,9	- 4,50
Кукурудза молочної стиглості	25,0	0,760	- 0,60	3620	3582,7	1,03
	- 40,0	0,740	- 0,60	1760	1838,4	- 4,46

*Висновки.* Аналіз даних у таблиці 2 свідчить, що розроблена методика дозволяє розраховувати теплофізичні властивості овочів з похибкою 8...10% у всьому інтервалі температур від мінус 40 до плюс 40 °С.

#### Література:

1. Алямовский И. Г. Теплофизические характеристики пищевых продуктов при замораживании / И. Г. Алямовский // Холодильная техника. – 1968. – № 5. – С. 35–36.
2. Головкин Н. А. Холодильная технология пищевых продуктов / Н. А. Головкин, Г. Б. Чижов. – М.: Изд. торг. лит., 1963. – 240 с.
3. Латышев В.П. Изобарная удельная теплоемкость, энтальпия и доля вымороженной воды пищевых продуктов / В.П. Латышев [и др.]. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 92 с.
4. Гинзбург А. С. Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плодов / А.С. Гинзбург, М.А. Громов.– М.: Агропромиздат, 1987. – 272 с.
5. Фикиин А. Хладилни технологични процеси и съоръжения / А. Фикиин. – София: Техника, 1980. – 511 с.

## РАСЧЕТ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОВОЩЕЙ

Ялпачик В.Ф.

*Аннотация* – в работе приведен алгоритм расчета значений эффективной теплопроводности всей системы плодоовощного сырья. В статье дано сравнение расчетных и экспериментальных данных по эффективной теплоемкости овощей.

## CALCULATION OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF VEGETABLES

V. Yalparchyk

### *Summary*

A paper presents an efficient algorithm for calculating values of the effective thermal conductivity of the whole system of raw fruits and vegetables. The article compares calculated and experimental data of the effective heat capacity of fruits.