

Фізичні властивості овочів як основа прийняття рішення щодо їхньої технологічної переробки (на прикладі кабачків)

Physical Properties of Vegetables as a Basis for Making Decisions on Their Technological Processing (on the Example of Zucchini)

Тетяна Непочатих
Tetyana Nepochatykh

¹ *Kharkiv Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics*
8 Otakara Yarosha street, Kharkiv, 61103, Ukraine

DOI: [10.22178/pos.25-7](https://doi.org/10.22178/pos.25-7)

LCC Subject Category: [LB5-45](#)

Received 14.07.2017
Accepted 10.08.2017
Published online 16.08.2017

Corresponding Author:
alisova2608@gmail.com

© 2017 The Author. This article is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 License](#)



Анотація. Стаття присвячена вивченню фізичних властивостей (пористості, фізичної та істинної густини) кабачків різних сортів. Теоретично та практично перевірено тісний зв'язок між цими показниками. Рекомендовано, розглядаючи залежність істинної густини овочів від вологовмісту, враховувати співвідношення зв'язаної та вільної вологи в них, тому що їх густина за величиною відрізняється. Що особливо важливо для швидкості протікання процесу дифузії цукрового сиропу в сировину під час виробництва цукатів.

Ключові слова: кабачок; сорт; волога зв'язана та вільна; густина істинна та фізична; пористість.

Abstract. The article is devoted to the study of physical properties (porosity, physical and true density) of zucchinis of different kinds. Close relationship between these indicators were proven theoretically and practically. It is recommended, considering the dependence of the true density of vegetables on the moisture content, take into account the ratio of bound and free moisture in them, because their density is different in size. This is especially important for the rate of process of diffusion of sugar syrup into raw material during the production of candied fruits.

Keywords: zucchini; varietal; bound and free moisture; true and physical density; porosity.

ВСТУП

Аналіз літератури показав, що фізичні властивості овочів на цей час вивчені недосить повно. Але вони є визначальними для формування якості рослинної сировини та консервів з неї [1, 2, 3, 4, 5]. Рослинна сировина, що використовується для виробництва, наприклад, цукатів, становить собою капілярно-пористе тіло з різними формами зв'язку вологи, що накладає відповідний відбиток на строк їх приготування. Причиною цього є різні форми дифузії цукрового сиропу в рослинні тканини: молекулярна дифузія, що су-

проводжується об'ємним (молярним) переміщенням цукрового сиропу і вибіркова дифузія, що викликана осмотичними явищами. При цьому загальне переміщення цукрового сиропу лімітується швидкістю його дифузійного перенесення, який значно менше швидкості молекулярного руху сиропу під дією капілярних сил.

У зв'язку з цим постає завдання дослідження фізичних властивостей рослинної сировини з метою виявлення найбільш придатної для виробництва цукатів, тобто сировини, яка б мала максимальне значення коефіцієнта мо-

лекулярної дифузії й мінімальне вибіркової. Для цього не обов'язково вимірювати швидкість дифузії різних видів сировини, а достатньо визначити їхні фізико-механічні характеристики. З цією метою необхідно визначити фізичні характеристики різних сортів рослинної сировини: пористість, густину, клітинну проникність, структурно-механічні властивості та ін.

Овочі являють собою складні гетерогенні біологічні системи, фізичні та структурно-механічні властивості яких визначаються хімічним складом, видовими особливостями структури, а також такими фізичними параметрами як густина (фізична та істинна), твердість, пористість. З іншого боку овочі є капілярно-пористими за структурою і колоїдними за природою. Тому їм притаманна наявність міцел порівнянних з мікрокапілярами, у яких волога зв'язана адсорбційними й осмотичними силами, тобто волога, що знаходиться усередині плодів і овочів, має різну енергію зв'язку зі скелетом. Найпростішою фізичною моделлю овочів може служити гетерогенна система, що складається з трьох фазових складових: твердого скелету, рідини (соку), що заповнює порожнечі (міжклітинники), скелету і пароповітряної суміші, що заповнює вільний від вологи об'єм мікрокапілярів. Кожна з фракцій відрізняється індивідуальними фізико-хімічними й структурно-механічними властивостями, що залежать від природи речовини, температури і вмісту вологи. Тверда фаза чи скелет структури рослинної тканини складається з клітковини, вуглеводів, крохмалю, білків. Причому концентрація компонентів коливається в різних частинах овочів (корова і центральна паренхіми).

Густина овочів залежить від їх хімічного складу, пористої структури і вологості. З літератури відомо, що чим більше газів міститься в продукті, тим менше його фізична густина. Виміру густини овочів дотепер приділялося мало уваги, у той же час ця властивість є істотно важливим елементом для оцінки їхньої якості. Це важливо для овочів, що направляються на технічну переробку. Тому що, чим вище густина, тим вище вихід крохмалю з картоплі, пюре з томатів, тим краще вони зберігаються, чим менше в них повітря, тим надійніше вони поведуться, як консервовані продукти, і нарешті, чим менше густина

овочів, тим більше швидкість дифузії цукрового сиропу і менший час варіння цукатів.

Також звісно, що під час зберігання овочі в'януть, унаслідок чого зростає пористість і зменшується густина. Тому густина змінюється не лише від виду овочу, але й у межах різних сортів одного овочу. В літературі показано, що фізична густина різних овочів за однієї й тієї ж масової частки сухих речовин може розрізнятися, а за різної її частки може бути однаковою, і пов'язано це з неоднаковою кількістю внутрішньоклітинних газів (пористістю) [1, 5, 6].

Істинна густина (густина моноліту) – це густина продукту, у якому відсутні газові включення і вільна волога (пористість дорівнює нулю). Істинна густина визначається як відношення маси продукту до його об'єму (за винятком об'єму пор) при температурі T . Істинна густина овочів залежить від густини компонентів хімічного складу, який, у свою чергу, залежить також від умов вирощування [4, 7]. Масова частка жирів у продуктах невелика [8], тому їхня густина практично не впливає на густину моноліту. Густина білків і особливо вуглеводів (їхня частка в овочах найбільша), навпаки, істотно впливає на істинну густину.

Вважається, що істинна густина підкоряється закону адитивності, тобто що волога і суха речовина в плодах і овочах – нейтральні продукти, хоча, суворо кажучи, це не зовсім так; при утворенні деяких форм зв'язку вологи існує контракція системи (об'єм змінюється) [9].

Деякі результати вказують на те, що істинна густина залежить від вологи, що впроваджується в моноліт, тобто в рослинну тканину овочів. Так, істинна густина сухої речовини моркви дорівнює 1610 кг/м^3 [10], 1534 кг/м^3 [1] чи 1530 кг/м^3 [2]. Істинна густина сухої речовини буряка за $T=288... 298 \text{ K}$ дорівнює 1600 кг/м^3 [3], бурячних вичавків, залежно від вологості (від 0 до 0,833) має такі значення $1350...1040 \text{ кг/м}^3$ [10].

У той же час до залежності істинної густини від вологості овочів і плодів, необхідно підходити обережно. Справа в тому, що тут спостерігається деяке протиріччя; з одного боку істинна густина – це густина моноліту, тобто це густина кістяка продукту без обліку його капілярно-пористої структури, а з іншого ця

густина, якимось чином, залежить від вологи, що знаходиться в мікрокапілярах. У скелеті продукту волога може бути присутня лише у вигляді вологи гідратації, що не видаляється механічним шляхом чи сушінням у тепловій шафі, тому що входить у структуру молекул кристалогідратів. Тому не можна розглядати істинну густину залежно від тієї ж вологи, що знаходиться в мікрокапілярах – осмотичної, адсорбційної чи об'ємної.

Структура плодів і овочів у цілому така, що тверда маса пронизана системою мікропор (міжклітинників) заповнених повітрям, їхні розміри коливаються від декількох ангстрем до тисяч ($1\text{Å}=10^{-10}\text{ м}$). Об'єм порожнеч (кількість повітря) у плодах і овочах неоднаковий, але коливається в невеликих інтервалах і залежить від кількості вологи в них. Так пористість моркви коливається від 2 до 10 %. Тому при однаковому вмісті масової частки вологи (наприклад, 0,885) фізична густина моркви сортів Консервна і Шантене різна. Вона відповідно складає 1032 кг/м^3 і 1026 кг/м^3 [10, 11]. Цікавими в цьому плані є результати про вплив температури на пористість. У процесі обжарки температурне поле коренеплодів регулюється, а істинна густина сухої речовини складає $1450\text{... }1570\text{ кг/м}^3$, фізична густина – $350\text{... }560\text{ кг/м}^3$, а пористість досягає значень 69... 76 % [5], тобто різко зростає (приблизно в 6 чи 7 разів). З цим ефектом необхідно рахуватися, наприклад, під час виробництва цукатів, де цей ефект зростання пористості за підвищення температури овочів є позитивним, і сприяє більш швидкому їхньому приготуванню, тому що коефіцієнт молярної дифузії набагато більше виборчої, що виникає за рахунок осмосу.

У процесі зберігання овочів вільні пори в результаті сорбції можуть частково заповнюватися вологою і пористість їх зменшується. І, навпаки, під час зберігання в приміщенні, де відносна вологість повітря невелика, можливі процеси десорбції, після чого пористість плодів і овочів буде зростати. Це вказує на те, що пористість не є постійним параметром овочів чи плодів, а залежить від передісторії зразка (умов у яких він до цього знаходився). Крім того, експериментально встановлено, що в процесі сорбції об'єм мікропор росте за рахунок розсунення існуючих і утворення нових мікропор під впливом розклинюючого тиску сорбата. При цьому виникає ефект набрякан-

ня зразка, що супроводжується збільшенням його об'єму.

Таким чином, літературні дані свідчать про те, що фізична густина овочів менше густини скелету, унаслідок наявності в них порожнеч (міжклітинників), заповнених сорбованою вологою і вологим повітрям. Тому густина залежить від видових особливостей овочів (наявності мікрокапілярів) і їхнього вологовмісту (наявності вологи в мікрокапілярах). Пористість залежить від роду овочів, їхніх видових відмінностей, сортових особливостей, району вирощування і визначається в кожному конкретному випадку експериментально.

Якщо прийняти нашу концепцію, що істинна густина не залежить від вологості овочів і плодів, то при збільшенні вологості фізична густина зростає; заміна повітря в порах водою веде до збільшення густини овочів. Тому в цьому випадку пористість буде зменшуватися, тобто при сорбції вологи пористість зменшується під час зберігання овочів, а при десорбції, навпаки, зростає.

Далі вирішено перевірити вище сказане на прикладі досліджень фізичних властивостей (фізичної, істинної густини та пористості) кабачків різних сортів. Кабачок, як об'єкт дослідження, обрано з позиції дешевої тобто місцевої сировини.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При плануванні експериментів зроблено уточнення поняття істинної густини овочів. Запропоновано відрізнити істинну густину без вологи і ефективну густину ρ_{ef} , коли волога присутня в кабачках у тій чи іншій формі. Вологу, яка завжди присутня в сировині, тем більш, як у нашому випадку понад 85... 90 %, можна визначити як хімічну складову. Тому в поняття істинної густини входять не лише речовини, що утворюють сухий скелет овочу, але і воду в тій чи іншій формі.

Таку густину назвемо ефективною. Наведена нижче формула (1) для ρ_{ef} отримана нами з формули перемішування з урахуванням різних форм зв'язку вологи в рослинній сировині:

$$\rho_{ef} = \frac{1}{\frac{(1-W)}{\rho_c} + \frac{W_3}{\rho_3} + \frac{W_6}{\rho_6}} = \frac{\rho_c \times \rho_3 \times \rho_6}{\rho_6 \times \rho_3 (1-W) + \rho_c \times \rho_6 \times W_3 + \rho_c \times \rho_3 \times W_6}, \quad (1)$$

де ρ_c – густина сухої сировини (істинна густина рі без вологи і пустощів), кг/м³;

ρ_3 – густина зв'язаної вологи, кг/м³;

ρ_6 – густина вільної вологи, 1000 кг/м³;

W – вміст загальної вологи;

W_3 – вміст зв'язаної вологи;

W_6 – вміст вільної вологи.

Експериментально істинну густина сухої речовини (ρ_i) кабачків визначали пікнометричним методом, побудованим на заповненні мікрокапілярів зразка індиферентною рідиною (гасом), але вдосконаленим нами для даного випадку [1, 2]. Для визначення рі зразки висушували до сталої маси за температури 100 °С, роздрібнювали і вміщали в пікнометричну колбу до позначки. Потім колбу заповнювали індиферентною рідиною таким чином, щоб вона заповнювала всі порожнечі між частинами сировини. Спочатку зважували зразок на аналітичних терезах в повітрі, потім пікнометр, заповнений зразком і гасом, рівень якого в пікнометрі в обох випадках має бути однаковим. Величину ρ_c визначали за (2):

$$\rho_i = \frac{m_0 \rho_2}{m_1 + m_0 - m_2}, \quad (2)$$

де m_0 – маса зразка в повітрі, кг;

m_1 – маса пікнометра з гасом, кг;

m_2 – маса пікнометра з гасом та зразком, кг;

ρ_2 – густина гасу, кг/м³ (0,8111).

Фізичну густина (ρ_{ef}) кабачків визначали шляхом гідростатичного зважування в гасі (у воді кабачок плаває), методом витискання, а також використовували розчини солі з відомим

вмістом густини, рицинову олію, машинну олію тощо. Методику визначення фізичної густини гідростатичним зважуванням наведено в праці [1], яка за низкою показників не зовсім підходить до нашого випадку. Тому виведення формули гідростатичного зважування для визначення фізичної густини гідростатичним зважуванням нижче наведено повністю.

Пристрій для гідростатичного зважування – це аналітичні терези АДВ-2М (границя зважування – до 200 г, точність – 0,001 г). На лівій чашці терезів влаштований гачок, на якому закріплено сітчастий циліндр на металевому дроті, циліндр занурюють в посудину з гасом, який обрано як індиферентну рідину, оскільки його густина менше густини кабачка.

Для визначення ρ_f методом гідростатичного зважування за допомогою шаблону з середини кабачка вирізали зразки в формі кубиків з ребром 15 мм. Після зважування в повітрі на аналітичних терезах (маса m_0) зразки покривали непроникною для гасу плівкою парафіну, це здійснювали зануренням зразка в розплавлений при температурі 80±5 °С парафін. Плівка парафіну на зразках мала товщину 1 мм. Парафіновані зразки зважували на аналітичних терезах у повітрі (m_n), а потім на гідростатичних терезах (m_z).

Формулу для розрахунку фізичної густини при гідростатичному зважуванні з використанням парафінування отримали наступним способом. На зразок сировини в рідині діє сила $m_z g$ рівна вазі зразка в повітрі – $m_3 g$, вазі парафіну в повітрі – $m_n g$ і відштовхувальній силі Архімеда – $m_p g$. Остання спрямована у протилежний бік по відношенню до попередніх двох (3):

$$\begin{aligned} m_z g &= m_3 g + m_n g - m_p g = \\ &= \rho_f V_3 g - \rho_n V_3 g - \rho_p (V_3 + V_n) g, \end{aligned} \quad (3)$$

де V_3 – об'єм зразка;

V_n – об'єм парафіну, густина парафіну (0,93 г/см³);

ρ_p – густина рідини (гасу), (0,811 г/см³);

g – прискорення вільного падіння;

ρ_ϕ – фізична густина зразка.

З формули (3) маємо формулу розрахунку об'єму зразка (4):

$$V_3 = \frac{m_2 - V_n(\rho_n - \rho_p)}{\rho_\phi - \rho_p}. \quad (4)$$

Фізична густина дорівнює $\rho_{ef} = \frac{m_3}{V_3}$, тоді,

підставляючи сюди V_3 з (3), отримуємо (5):

$$\rho_\phi = \frac{m_3 \rho_p}{m_3 m_2 + V_n(\rho_n - \rho_p)}. \quad (5)$$

Ще фізичну густина визначали за давно відомою методикою за витисканням [12], як відношення маси продукту до його дійсного (фізичного) об'єму за температури T (6):

$$\rho_\phi = \frac{m}{V_{c.p.} + V_g + V_v} = \frac{m}{V_o}, \quad (6)$$

де m – маса продукту;

$V_{c.p.}$ – об'єм моноліту сухої речовини;

V_g – об'єм газів;

V_v – об'єм вологи;

V_o – загальний об'єм продукту.

Вимірювання ρ_i та ρ_ϕ дає змогу розрахувати пористість сировини (7):

$$P = 1 - \frac{\rho_\phi}{\rho_i}. \quad (7)$$

Для співвідношення отриманих значень за пористістю в кабачках кількість повітря визначали методом зворотного холодильника [7], який засновано на вимірі об'єму цілого

зразка (V_u) і подрібненого зразка (V_{op}). Віддалення газів з овочів ведеться шляхом відгонки за допомогою зворотного холодильника. Розрахунок ведеться за (8):

$$V = V_u - V_{op}. \quad (8)$$

Вміст загальної, вільної та зв'язаної вологи плодів і овочів визначали за відомими методиками [13, 14, 15].

Дані за вмістом загальної, вільної та зв'язаної вологи кабачка різних сортів наведено на рисунку.

З даних рисунку видно, що серед обраних сортів кабачка найбільшими значеннями вмісту вільної вологи характеризується Гайдамака, далі йдуть сорти Акробат, Престиж та Аспірант. Сприятливим для виробництва цукатів слід вважати сорт кабачка Чаклун, тому що він має значну кількість зв'язаної вологи, тому просочування цукровим сиропом буде відбуватися повільним процесом вибіркової дифузії [16].

Ці значення також використовували при розрахунках ρ_{ef} за (1). При цих розрахунках також було використано значення $\rho_s = 1400$ кг/м³, яке отримано з літературних даних [17, 18].

Фізичну густина сировини визначали описаним вище методом. Пористість сировини визначали за уточненою формулою замість формули (7).

Значення ρ_{ef} розраховували за (1). Відзначимо, що пористість є непрямим показником присутності повітря в овочах. Тому було порівняно результати розрахунків величини P з прямими вимірюваннями кількості повітря методом зворотного холодильника, описаним у праці [7].

Результати вимірювань і розрахунків наведено в таблиці.

З даних таблиці видно, що істинна густина кабачків даних зразків лежить у межах 1180... 1550 кг/м³, фізична – 930... 1010 кг/м³, пористість – 9,73... 13,15 %. Істинна густина обраних кабачків з вологою лежить у межах 1050... 1140 кг/м³.

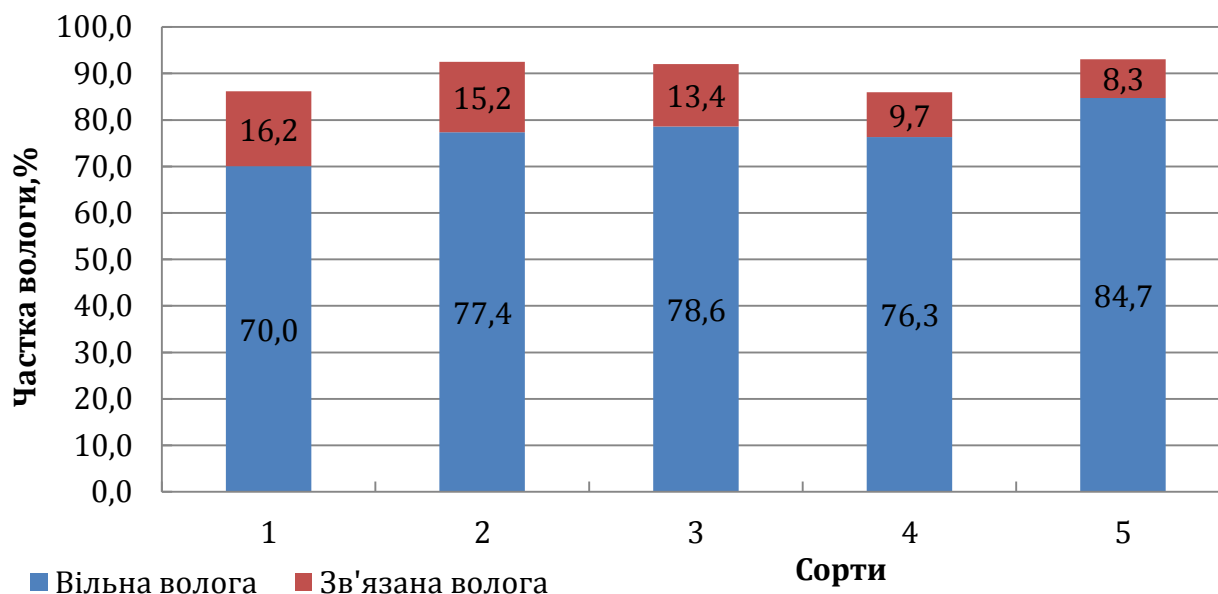


Рисунок - Вологовміст кабачків різних сортів
(1 – Чаклун, 2 – Аспірант; 3 - Престиж, 4 – Акробат, 5 – Гайдамака).

Таблиця – Густина та пористість кабачків різних сортів

Сорт кабачків	Істинна густина сухої речовини (порошку), $\text{кг}/\text{м}^3 \cdot 10^{-3}$	Фізична густина, $\text{кг}/\text{м}^3 \cdot 10^{-3}$	Істинна густина з вологою, $\text{кг}/\text{м}^3 \cdot 10^{-3}$	Пористість (методом зворотного холодильнику), %	Пористість (розраховано за (7)), %
Чаклун	$1,35 \pm 0,15$	$1,01 \pm 0,12$	$1,14 \pm 0,13$	$9,73 \pm 0,20$	$7,25 \pm 0,10$
Аспірант	$1,18 \pm 0,14$	$0,96 \pm 0,10$	$1,06 \pm 0,12$	$11,03 \pm 0,25$	$9,30 \pm 0,11$
Престиж	$1,35 \pm 0,15$	$0,95 \pm 0,10$	$1,06 \pm 0,12$	$12,45 \pm 0,325$	$10,80 \pm 0,12$
Акробат	$1,47 \pm 0,16$	$0,96 \pm 0,11$	$1,08 \pm 0,11$	$12,11 \pm 0,30$	$10,95 \pm 0,12$
Гайдамака	$1,55 \pm 0,16$	$0,93 \pm 0,10$	$1,05 \pm 0,12$	$13,15 \pm 0,35$	$11,50 \pm 0,13$

ВИСНОВКИ

Підводячи підсумок аналізу досліджень фізичних властивостей кабачків різних сортів необхідно відзначити, що пористість, фізична та істинна густина тісно пов'язані між собою. Рекомендовано, розглядаючи залежність істинної густини овочів від вологовмісту, враховувати співвідношення зв'язаної та вільної

вологи в них, тому що густина вільної і зв'язаної води за величиною відрізняються. Що дуже важливо для швидкості протікання процесу дифузії цукрового сиропу в сировину під час виробництва цукатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

- Ginzburg, A. S., & Gromov, M. A. (1987). *Teplofizicheskie harakteristiki kartofelja, ovoshhej i plodov* [Thermophysical characteristics of potatoes, vegetables and fruits]. Moscow: Agropromizdat (in Russian)
[Гинзбург, А. С., & Громов, М. А. (1987). *Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плодов*. Москва: Агропромиздат].
- Kuprin, D. A., & Kovalenko, O. V. (1982). *Teplofizicheskie harakteristiki kartofelja, morkovi, repchatogo luka* [Thermophysical characteristics of potatoes, carrots, onions]. In N. A. Golovkin (Ed.), *Issledovanie teplo- i massoobmena pri holodil'noj obrabotke i hranenii pishhevih produktov*

- (pp. 35–38). Leningrad: Leningradskij tehnologicheskij institut (in Russian)
[Куприн, Д. А., & Коваленко, О. В. (1982). Теплофизические характеристики картофеля, моркови, репчатого лука. В Н. А. Головкин (Ред.), *Исследование тепло- и массообмена при холодильной обработке и хранении пищевых продуктов* (с. 35–38). Ленинград: Ленинградский технологический институт].
3. Zagorujko, V. A., Golikov, A. A., & Slyn'ko, A. G. (1995). *Termodinamika i teplofizika vlazhnyh materialov* [Thermodynamics and Thermal Physics of Wet Materials]. Kiev: Naukova dumka (in Russian)
[Загоруйко, В. А., Голиков, А. А., & Слынько, А. Г. (1995). *Термодинамика и теплофизика влажных материалов*. Киев: Наукова думка].
 4. Rodikov, S. A. (2002). Nekotorye osobennosti izmerenija tvjordosti i plotnosti jablok pri sozrevanii [Some features of measuring the hardness and density of apples during maturation]. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyryja*, 11, 59–60 (in Russian)
[Родиков, С. А. (2002). Некоторые особенности измерения твёрдости и плотности яблок при созревании. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 11, 59–60].
 5. Berenshtejn, I. B., & Ciprush, R. Ja. (1988). *Zagotovki, transportirovanie i hranenie plodov* [Billets, transportation and storage of fruits]. Moscow: Agropromizdat (in Russian)
[Беренштейн, И. Б., & Ципруш, Р. Я. (1988). *Заготовки, транспортирование и хранение плодов*. Москва: Агропромиздат].
 6. Bjerton, U. G. (1985). *Fiziologija sozrevanija i hranenija prodovol'stvennyh kul'tur* [Physiology of ripening and storage of food crops]. Moscow: Agropromizdat (in Russian)
[Бэртон, У. Г. (1985). *Физиология созревания и хранения продовольственных культур*. Москва: Агропромиздат].
 7. Thoa, N. V. (1984). Opređenje kolichestva vozduha v plodah i ovoshhah [Determination of the amount of air in fruits and vegetables]. *Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija*, 3, 113–114 (in Russian)
[Тхоа, Н. В. (1984). Определение количества воздуха в плодах и овощах. *Известия вузов. Пищевая технология*, 3, 113–114].
 8. Skurihin, I. M., & Volgarev, M. N. (Ed.). (1987). *Himicheskij sostav pishhevyh produktov* [Chemical composition of food products] (2nd ed., Vol. 2). Moscow: Agropromizdat (in Russian)
[Скурихин, И. М., & Волгарев, М. Н. (Ред.). (1987). *Химический состав пищевых продуктов* (2-е изд., Кн. 2). Москва: Агропромиздат].
 9. Zagorujko, V. A., & Laksiri, A. (1998). Issledovanie vnutrennego teplo- i massoperenosa v zerne i zernovoj nasypi zernobobovyh kul'tur [Investigation of internal heat and mass transfer in grain and grain embankment of leguminous crops]. *Pridniprovs'kij naukovij visnik*, 90, 4–11 (in Russian)
[Загоруйко, В. А., & Лаксире, А. (1998). Исследование внутреннего тепло- и массопереноса в зерне и зерновой насыпи зернобобовых культур. *Придніпровський науковий вісник*, 90, 4–11].
 10. Volkov, M. A. (1982). *Teplo- i massoobmennye processy pri hranenii pishhevyh produktov* [Heat and mass transfer processes in food storage]. Moscow: Legkaja i pishhevaja promyshlennost' (in Russian)
[Волков, М. А. (1982). *Тепло- и массообменные процессы при хранении пищевых продуктов*. Москва: Легкая и пищевая промышленность].
 11. Radovol'skij, G. V. (1985). Teplofizicheskie i reologicheskie harakteristiki pishhevyh poroshkov iz rastitel'nogo syr'ja [Thermophysical and rheological characteristics of food powders from plant raw materials]. In A. A. Dolinskij (Ed.), *Konvektivnyj teploobmen i gidrodinamika* (pp. 108–113). Kiev: Naukova dumka (in Russian)
[Радовольский, Г. В. (1985). Теплофизические и реологические характеристики пищевых порошков из растительного сырья. В А. А. Долинский (Ред.), *Конвективный теплообмен и гидродинамика* (с. 108–113). Киев: Наукова думка].

12. Ginzburg, A. S., Gromov, M. A., & Krasovskaja, G. I. (1980). *Teplofizicheskie harakteristiki pishhevyh produktov* [Thermophysical characteristics of food products]. Moscow: Pishhevaja promyshlennost' (in Russian)
[Гинзбург, А. С., Громов, М. А., & Красовская, Г. И. (1980). *Теплофизические характеристики пищевых продуктов*. Москва: Пищевая промышленность].
13. Ukrainian Agency for Standardization. (2015). *Produkty pererobliannia fruktiv ta ovochiv. Metody vyznachannia sukhykh rečovyn abo volohy* [Fruit and Vegetable Processing. Methods for determining dry matter or moisture] (DSTU 7804:2015). Kyiv: UkrNDNTs (in Ukrainian)
[Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості. (2015). *Продукти переробляння фруктів та овочів. Методи визначання сухих речовин або вологи* (ДСТУ 7804:2015). Київ: УкрНДНЦ].
14. Ukrainian Agency for Standardization. (2015). *Produkty pereroblennja fruktiv ta ovochiv. Refraktometrichnij metod vyznachannja vmistu rozchinnih suhих rečovyn* [Fruit and vegetable processing products. Refractometric method for determining the content of soluble solids] (DSTU 8402:2015). Kyiv: UkrNDNTs (in Ukrainian)
[Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості. (2015). *Продукти перероблення фруктів та овочів. Рефрактометричний метод визначання вмісту розчинних сухих речовин* (ДСТУ 8402:2015). Київ: УкрНДНЦ].
15. Gabril'janc, M. A. (Ed.). (1984). *Metodicheskie ukazanija dlja vypolnenija laboratornyh robot po kursu "Tovarovedenie pishhevyh produktov"* [Methodical instructions for performing laboratory work on the course "Commodity science of food products"]. Moscow: n. d. (in Russian)
[Габрильянц, М. А. (Ред.). (1984). *Методические указания для выполнения лабораторных работ по курсу «Товароведение пищевых продуктов»*. Москва: n. d.].
16. The State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy. (2010). *Tsukaty. Tekhnichni umovy* [Candied. Specifications] (DSTU 6075:2009). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy (in Ukrainian)
[Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики. (2010). *Цукати. Технічні умови* (ДСТУ 6075:2009). Київ: Держспоживстандарт України].
17. Lykov, A. V. (1968). *Teorija sushki* [Theory of drying]. Moscow: Jenergija (in Russian)
[Лыков, А. В. (1968). *Теория сушки*. Москва: Энергия].
18. Pogozhih, N. I. (1997). *Osnovy tehnologii i teorii sushki pishhevyh materialov smeshannym teplopodvodom* [Fundamentals of technology and theory of drying food materials mixed heat supply]. Kharkov: n. d. (in Russian)
[Погожих, Н. И. (1997). *Основы технологии и теории сушки пищевых материалов смешанным теплоподводом*. Харьков: n. d.].