

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-2-14>

УДК 631.234:635.64+578

Н. О. Паляничка, канд. техн. наук, доц.

ORCID: 0000-0001-8510-7146

В. Ф. Ялпачик, д-р. техн. наук, проф.

ORCID: 0000-0002-0349-2448

О. О. Ковальов, канд. техн. наук, ст. викл.

ORCID: 0000-0002-4974-5201

О. О. Червоткіна, асистент

ORCID: 0000-0002-6814-0566

О. П. Прокопенко, асистент

ORCID: 0009-0005-7304-923X

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

e-mail: nadiia.palianychnka@tsatu.edu.ua

## ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПЛОДІВ ПІД ЧАС ХОЛОДИЛЬНОГО ЗБЕРІГАННЯ

*Анотація.* У статті представлено результати дослідження найбільш ефективних технічних рішень та засобів контролю якості плодоовочевої продукції до охолодження та під час її зберігання, з урахуванням фізичних показників стану плодів. Установлено, що підвищення точності контролю можливе шляхом визначення вмісту соку за допомогою послідовного вимірювання тиску всередині плоду. Наведено конструктивні особливості та описано принцип роботи пристрою для визначення гідростатичного тиску в плодах. Додатково запропоновано метод контролю якості продукції, що базується на покроковому вимірюванні зміни електричного опору в плодах, занурених в електроліт. Порівняння отриманих результатів із даними традиційних методів підтвердило ефективність і доцільність використання розроблених технологічних рішень та приладів.

*Ключові слова:* плодоовочева продукція, зберігання, якість, пристрій, метод контролю, плоди, вимірювання.

*Постановка проблеми.* Тривале зберігання плодоовочевої продукції зі збереженням якості залишається однією з ключових проблем післязбиральної логістики та харчової промисловості. На півдні України сезон активного плодоношення триває орієнтовно три місяці й зазвичай завершується в середині жовтня, що зумовлює потребу в технологіях, здатних мінімізувати втрати під час міжсезонного постачання [1; 2]. Саме тому впровадження сучасних технологій, які забезпечують уповільнення мікробного псування, збереження структури тканин, оптимальний газовий режим і контроль температури, має стратегічне значення для зменшення втрат та продовження термінів реалізації плодоовочевої продукції. Додатково важливим чинником є також контроль якісних показників продукції протягом зберігання. Тож актуальним питанням залишається встановлення оптимальних методів та апаратів для визначення якості плодоовочевої продукції під час зберігання.

*Аналіз останніх досліджень.* Протягом останніх років науковці суттєво просунулися у вивченні фундаментальних та прикладних аспектів холодильного оброблення під час зберігання плодоовочевої продукції [3–8]. Наразі для контролю стану та визначення якісних характеристик фруктів і овочів застосовують різні прилади та методи оцінювання.

Прилад «Хориспект» застосовується для оцінювання якості плодів за кольором м'якоті. У його конструкцію входять: джерело світла, збирна лінза, пара інтерференційних світлофільтрів, світлова щілина, інтегрувальна сфера (кулі типу Ульбрихта), фотоелемент, пульт керування та блок живлення. Принцип роботи базується на тому, що модифікований світловий потік проходить крізь зразок і потрапляє на фотоелемент, а отримана вихідна напруга має кореляцію з показниками якості плодів. До недоліків такого обладнання належать обмежена точність та значна тривалість проведення вимірювань.



Для визначення електрофізичних характеристик фруктів і овочів використовують спеціальний вимірювальний пристрій, до складу якого входять: генератор, міст опору, мілівольтметр, омметр та вимірювальна комірка. Зразок розміщують у комірці, після чого за показниками приладів і розрахунковими формулами визначають питомий електричний опір, значення якого тісно пов'язане з фізіологічним станом продукту [3]. Основним недоліком обладнання є недостатня точність, оскільки під час вимірювань не враховують температурні зміни середовища та самого об'єкта аналізу.

Ще одним технічним засобом для контролю якості плодоовочевої продукції є система, до складу якої входять конвеєрний механізм, фотодатчик, вимірювальний модуль зі схемою фіксації браку, газоаналізатор та маркувальний блок, оснащений датчиком швидкості руху продукції [4]. Основні недоліки цієї установки полягають у тому, що вона не забезпечує оцінювання якості всієї партії за репрезентативною вибіркою та не може ефективно застосовуватися в польових умовах.

Для оцінювання ступеня стиглості та якості кавунів застосовують ударний пристрій, робота якого базується на аналізі затухання звукової хвилі. Конструктивно він складається з пластикового циліндричного корпусу, соленоїда, п'єзоелектричного датчика та джерела живлення на 24 В. За отриманими осцилограмами виконують розклад у ряд Фур'є та визначають коефіцієнт затухання, значення якого має чіткий зв'язок зі зрілістю плода [5]. До недоліків такого обладнання належать значна тривалість вимірювань, складність обробки сигналів і, відповідно, відсутність можливості оперативного отримання результатів.

За даними різних авторів [6–8], хімічний склад персиків характеризується такими показниками: вуглеводи становлять близько 77 %, частка білків і клітковини – по 6,7 %, мінеральних речовин – приблизно 4,4 %. Кислотність соку перебуває в межах 3,2–5,0 %, вміст фруктози становить 3,9–4,4 %, глюкози – 4,2–6,9 %, сахарози – 4,8–10,7 %, загальна кислотність – 0,2–1,0 %, а кількість води сягає 80–87 %. Варто підкреслити, що серед плодоовочевої продукції, яку зберігають шляхом охолодження, персики відрізняються одним із найвищих рівнів вологи та вільних кислот, тоді як питома теплоємність сухої речовини є однією з найнижчих і становить 1397 Дж/(кг · К). Значна частка водорозчинних вітамінів, зокрема вітаміну С (5–10 мг %), ускладнює забезпечення стабільної харчової та біоенергетичної цінності під час зберігання.

На відміну від коренеплодів, бульбоплодів і зерняткових фруктів, повноцінна технологія тривалого зберігання персиків досі не сформована. Найдоступнішим і найбільш екологічно безпечним способом, описаним у наукових джерелах, є зберігання в модифікованому газовому середовищі. Проте навіть цей метод дає змогу уповільнювати псування плодів лише протягом приблизно двох місяців [6].

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* Метою цієї роботи є дослідження та визначення найбільш ефективних технологічних рішень і приладів для контролювання якості плодоовочевої продукції до охолодження та в процесі зберігання. Для досягнення поставленої мети необхідно реалізувати комплекс взаємопов'язаних завдань, серед яких:

- установа теплових та електрофізичних параметрів плодів;
- визначення строків дозрівання, добір і сортування плодів, придатних до тривалого зберігання, з використанням об'єктивних методів контролю та спеціалізованого обладнання;
- добір оптимальних режимів зберігання на основі отриманих характеристик та проведеного попереднього сортування;
- удосконалення контролю якості плодоовочевої продукції шляхом визначення вмісту соку за результатами послідовного вимірювання тиску всередині плода з використанням трубки температурної десорбції та напівпровідникового детектора, а також подальшої математичної обробки даних, що дає змогу підвищити точність оцінювання фізіологічного стану продукції під час зберігання.

*Основна частина.* Для оцінювання стану плодоовочевої продукції під час зберігання визначають уміст соку, здійснюючи послідовні вимірювання тиску всередині плода за допомогою трубки температурної десорбції та напівпровідникового детектора, після чого отримані дані проходять математичну обробку [9].

Досліджуваний плід фіксують і стискають за допомогою порожнистого еластичного елемента, всередині якого використовується повітря або азот високого ступеня очистки. Цей елемент може змінювати свій об'єм шляхом нагнітання або випускання газу. Повітряний насос подає газ у стискальний елемент, а датчик тиску фіксує отримані значення. Аналого-цифровий перетворювач переводить результати вимірювань у цифровий формат і формує сигнал тиску. Пристрій керування виконано у вигляді контролера, який розраховує поточне значення тиску в еластичній оболонці та подає керівний сигнал на систему стравлювання газу.

Для практичної реалізації запропонованого методу створено пристрій для визначення гідростатичного тиску в плодах [9]. Вимірювання гідростатичного тиску здійснюється за допомогою спеціально сконструйованого приладу, що містить сталеву трубку 5 з отворами 6 по всій довжині та діаметру, плоску гумову трубку 1 із застіркою на липучці, ручний повітряний насос 2 та манометр 3 (рис. 1).

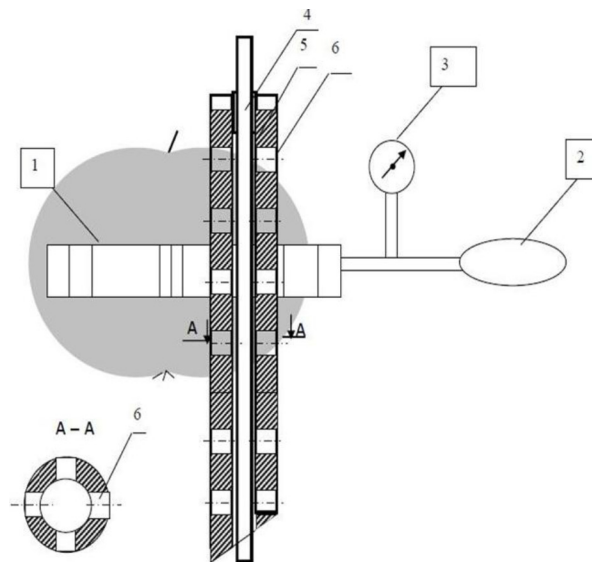


Рис. 1. Пристрій для вимірювання тиску з метою контролю якості плодоовочевої продукції:

1 – плоска гумова трубка; 2 – ручний насос для подачі повітря; 3 – манометр; 4 – шомпол; 5 – сталевая трубка з системою отворів; 6 – отвір

Процедура вимірювання тиску здійснюється так: сталеву трубку проколюють плід так, щоб її верхній та нижній кінці виходили за межі фрукту. Після цього канал трубки очищають за допомогою спеціального шомпола 4 й очікують, доки витікання соку повністю припиниться.

Після припинення виділення соку плід обгортають плоскою гумовою трубкою 1, яку фіксують на поверхні за допомогою липучки. Далі за допомогою насоса 2 поступово підвищують тиск, який передається на плід. У момент появи першої краплі соку з отвору манометр 3 фіксує значення тиску. Це показання відповідає гідростатичному тиску всередині плода. Експериментальні випробування проводили для баклажанів, кабачків, томатів, яблук та персиків.

Додатково запропоновано метод контролю якості плодоовочевої продукції, який передбачає поетапне вимірювання зміни електричного опору в діапазоні частот змінного струму від 1 до 100 кГц у плоді, зануреному в електроліт. Після цього обчислюють математичне очікування електричного опору та визначають фізіологічний стан плоду за відхиленням отриманого



поточного значення від розрахункового. Вимірювання функції зміни опору проводять у вертикальній та горизонтальній площинах, а оцінювання стану плоду здійснюють за величиною відхилення від математичного очікування в обох осях [10].

Досліджуваний плід фіксують за допомогою прищіпок уздовж вертикальної осі (для зерняткових культур – уздовж напрямку насінневої камери) та занурюють в електропровідний розчин між двома стаціонарно встановленими електродами. Під час повороту плоду на  $360^\circ$  реєструють зміну електричного опору, після чого визначають математичне очікування опору і оцінюють стан плоду за величиною відхилення поточного значення. Після завершення першого вимірювання плід закріплюють у положенні, перпендикулярному попередній осі, та проводять повторний експеримент.

Отже, вимірювання зміни електричного опору у двох взаємно перпендикулярних площинах дає змогу виявляти ділянки пошкодження тканин, розташовані поблизу або безпосередньо на осях обертання, а також визначати нерівномірність розподілу крохмалю. Цей показник тісно корелює з фізіологічним станом плодів, оскільки в процесі дозрівання нагромадження крохмалю відбувається у двох напрямках: вертикально – від плодоніжки до насінневої камери, та горизонтально – від периферійних паренхімних тканин під шкіркою до центру. Тканини з високим умістом крохмалю мають більший питомий електричний опір, тому під час дозрівання спостерігаються зміни електричного опору залежно від напрямку прикладеного електричного поля. У пошкоджених ділянках уміст крохмалю знижений, відповідно й електричний опір менший порівняно зі здоровими тканинами. Поворот плоду або бульби відносно стаціонарно розташованих електродів забезпечує точне позиціонування у взаємоперпендикулярних осях та підвищує достовірність оцінювання їх стану.

Для зерняткових культур встановлено такі критерії оцінювання: якщо відхилення поточного значення електричного опору від математичного очікування хоча б за однією з осей перевищує 2 %, плід класифікують як пошкоджений. Фрукти вважають такими, що досягли знімальної стиглості, коли для перпендикулярної осі кожне з відхилень опору перебуває в межах 5–7 %.

Для овочевої продукції критерієм оцінювання є таке правило: якщо відхилення поточного значення електричного опору від математичного очікування за однією або обома осями перевищує 2 %, бульбу вважають пошкодженою.

Для практичного впровадження запропонованого методу створено сканувальний пристрій для контролю якості плодової та овочевої продукції. Конструктивно він містить генератор, міст опору, омметр і вимірювальну комірку. Остання виконана у вигляді ємності, заповненої електролітом зі стаціонарно встановленими в ньому електродами та закривається кришкою. Дно, кришка та бічні стінки комірки оснащені пазами, у яких розміщено прищіпки у двох взаємно перпендикулярних площинах. Пристрій обладнано електроприводом і мікропроцесорним блоком з дисплеєм для реєстрації результатів [9].

Технічна ідея та принцип дії запропонованої конструкції пояснюються на рис. 2, де наведено схему пристрою контролю якості плодовоовочевої продукції та будову вимірювальної комірки.

Система контролю якості плодової та овочевої продукції містить такі основні вузли: генератор 1, міст опору 2, вимірювальну комірку 3, омметр 4, мікропроцесорний блок 5 та електропривод 6. Генератор 1 електрично з'єднано з мостом опору 2, до якого підключено вимірювальну комірку 3. Вона, своєю чергою, зв'язана з омметром 4, від якого електричні сигнали передаються на мікропроцесор 5. Також до вимірювальної комірки 3 під'єднано електропривод 6.

Вимірювальна комірка виконана у вигляді ємності 7 з кришкою 8. Усередині електроліту розташовано два електроди 9. Конструкція оснащена спеціальними прищіпками 10, які встановлюються в пази 11, що дає змогу обертати плід 12 у двох взаємно перпендикулярних площинах.

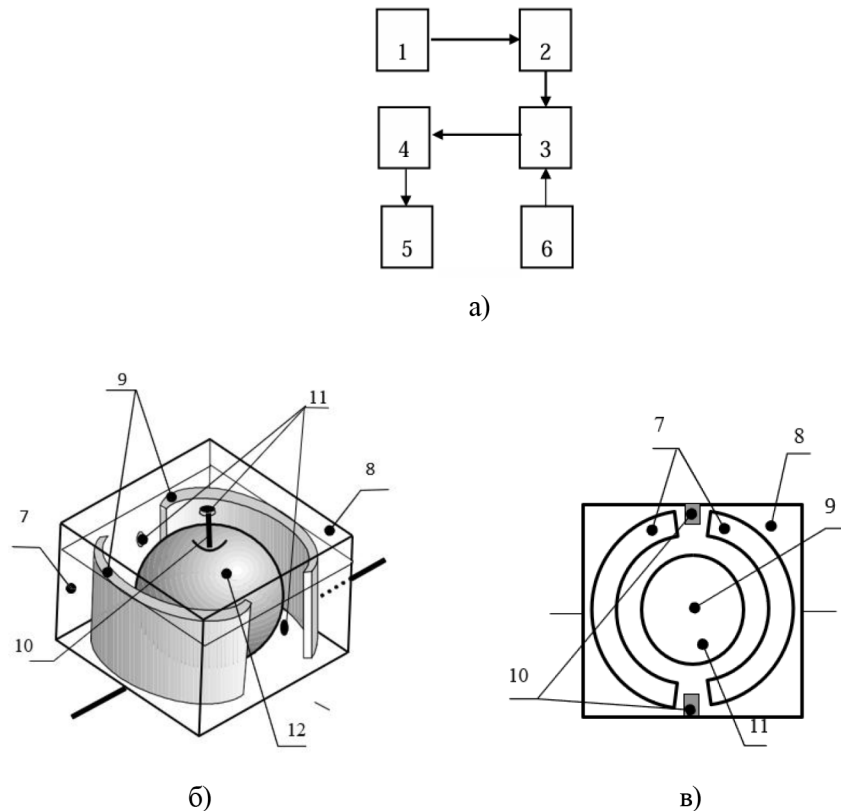


Рис. 2. Пристрій для контролю якості плодоовочевої продукції:

а) електрична схема підключення: 1 – генератор; 2 – міст опору; 3 – вимірювальний осередок; 4 – омметр; 5 – мікропроцесорний блок; 6 – електропривод; б) аксонометричне зображення вимірювальної комірки з яблуком; в) вигляд зверху: 7 – ємність; 8 – кришка; 9 – електроди; 10 – прищіпка; 11 – пази; 12 – плід

Технологічна послідовність роботи пристрою для експрес-оцінювання придатності плодової та овочевої продукції до заморожування полягає в такому. Генератор 1 та вимірювальну комірку 3 під'єднують до моста опору 2 за допомогою електричних дротів. Далі вимірювальну комірку 3 електрично з'єднують з омметром 4, після чого у комірку, використовуючи прищіпки 10 та пази 11, розташовані на кришці 8 та дні ємності 7, фіксують плід 12. Після увімкнення генератора 1 чекають установлення сталого значення опору на омметрі 4, після чого активують електропривод 6 і виконують вимірювання під час обертання плоду навколо його вертикальної осі. Отримані дані проходять математичну обробку, а результати відображаються на дисплеї мікропроцесора 5. Далі, використовуючи пази 11 та прищіпки 10 на стінках комірки 4, плід 12 закріплюють у положенні, перпендикулярному попередній осі, після чого генератор 1 та електропривод 6 знову вмикають і виконують повторне вимірювання.

Отримані результати порівнюють із табличними даними, сформованими на основі попередніх експериментів. Під час цих випробувань проводили паралельний контроль якості плодоовочевої продукції: традиційними методами та за допомогою запропонованого пристрою. У процесі перевірки встановлено, що результати оцінювання якості плодоовочевої продукції, отримані за допомогою запропонованих пристроїв, повністю збігаються з даними, отриманими традиційними методами. Це підтверджує доцільність й ефективність використання розроблених технічних засобів та методик для контролю якості плодоовочевої продукції під час холодильного зберігання.

**Висновки.** Проблема тривалого зберігання плодів й овочів залишається актуальною через їх високу чутливість до механічних впливів та температурних коливань, а також через особли-

вості хімічного складу, дихальних процесів і фізико-механічних характеристик, що ускладнюють збереження товарних властивостей та харчової цінності. Запропоновано метод визначення якості плодів за показником умісту соку, що передбачає послідовне вимірювання тиску всередині плоду з використанням трубки температурної десорбції та напівпровідникового детектора. Розроблено конструкцію відповідного пристрою та експериментально підтверджено його працездатність на зразках баклажанів, кабачків, томатів, яблук і персиків. Додатково запропоновано метод оцінювання якості плодів та овочів шляхом поетапного вимірювання електричного опору в плодах, занурених в електроліт. Експериментальні дослідження, проведені на яблуках, підтвердили чутливість методу до змін фізіологічного стану продукції. Порівняння результатів, отриманих за допомогою нових пристроїв, із даними традиційних методів контролю показало їх повну узгодженість, що свідчить про достовірність та точність запропонованих технологічних рішень. У подальшому планується проведення випробувань у виробничих умовах для визначення практичної ефективності та доцільності впровадження розроблених пристроїв на підприємствах, що спеціалізуються на холодильному зберіганні плодоовочевої продукції.

#### Список використаних джерел

1. Duan Y., Wang L., Sun D. Postharvest precooling of fruit and vegetables: A review. *Journal of Food Engineering*. 2020. Vol. 100. P. 278–291.
2. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О. Ефект зберігання ягід після застосування холоду. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання*. 2022. Вип. 13. Том 1.
3. Tang S., Li H., Zhao X. Effect of different postharvest pre-cooling treatments on quality of horticultural crops. *Food Science and Technology*, 2024.
4. Li T., Chen W., Huang P. Impact of on-site cold storage on post-harvest losses in fruit supply chains. *International Journal of Refrigeration*. 2025. 146420.
5. UC Davis Postharvest Technology Center. Stonefruit: Internal Breakdown (Chilling Injury). University of California, 2023.
6. Albornoz K., Ramirez M., Pérez D. Dissecting postharvest chilling injury through biotechnology. *Postharvest Biology and Technology*, 2022.
7. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О. Дослідження холоду при зберіганні ягід Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання. ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. Вип. 23, Т. 2. С. 46–53.
8. Ivanova I., Serdiuk M., Malkina V., Tonkha O., Tsyz O., Shkinder-Barmina A., Verkholantseva V., Palianychka N., Mushtruk M., Rozbytska T. Factorial analysis of taste quality and technological properties of cherry fruits depending on weather factors. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. Slovakia, 2022. Vol. 16. P. 341–355.
9. Ялпачик В. Ф. Нові методи контролю якості плодів при зберіганні холодом. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2013. Вип.13. Том 7. С. 3–10.
10. Ялпачик В. Ф. Теплофізичні характеристики гарбузів, кабачків, кукурудзи молочної спілості, солодкого перцю та їх прогнозування. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2014. Вип.14. Том 2. С. 55–60.

Стаття надійшла до редакції 28.10.2025

Стаття прийнята 12.11.2025

Статтю опубліковано 22.12.2025





**N. Palianychka, V. Yalpachyk, A. Kovalov, O. Chervotkina, O. Prokopenko**  
**Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University**

## **INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR FRUIT QUALITY CONTROL DURING REFRIGERATED STORAGE**

### *Summary*

The article presents a study of the most effective technological solutions and devices for controlling the quality of fruit and vegetable products before cooling and during storage depending on physical indicators. The problem of long-term storage of fruits and vegetables remains relevant due to their high sensitivity to mechanical influences and temperature fluctuations, as well as due to the peculiarities of the chemical composition, respiratory processes and physical and mechanical characteristics that complicate the preservation of marketable properties and nutritional value. Based on the analysis, it was established that the efficiency of post-harvest storage of fruit and vegetable products can be increased by using modern methods of controlling its physiological state at all stages of storage. A method for determining fruit quality by the juice content indicator is proposed, which involves sequential measurement of pressure inside the fruit using a temperature desorption tube and a semiconductor detector. The design of the corresponding device was developed and its performance was experimentally confirmed on samples of eggplants, zucchini, tomatoes, apples and peaches. Additionally, a method for assessing the quality of fruits and vegetables by step-by-step measurement of electrical resistance in fruits immersed in electrolyte was proposed. Experimental studies conducted on apples confirmed the sensitivity of the method to changes in the physiological state of the product. Comparison of the results obtained using new devices with data from traditional control methods showed their full consistency, which indicates the reliability and accuracy of the proposed technological solutions. It was established that new methods allow reducing the time of quality control due to increased automation of the process and minimization of manual operations.

**Keywords:** fruit and vegetable products, storage, quality, device, control method, fruits, measurements.