

DOI : 10.33274/2079-4827-2020 -41-2-57-63  
УДК 006 (076.5)

*Цвіркун Л. О., канд. пед. наук<sup>1</sup>*  
*Омельченко О. В., канд. техн. наук<sup>1</sup>*  
*Цвіркун С. Л., канд. техн. наук<sup>2</sup>*  
*Гейер Г. В., д-р екон. наук, професор<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua

<sup>2</sup> Криворізький національний університет (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: tserg30@ukr.net

### МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ В КАМЕРАХ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ЯБЛУК

UDC 006 (076.5)

*Tsvirkun L. A., PhD in Pedagogical sciences<sup>1</sup>*  
*Omelchenko O. V., PhD in Technical sciences<sup>1</sup>*  
*Tsvirkun S. L., PhD in Technical sciences<sup>2</sup>*  
*Heiier H. V., Grand PhD in Economy sciences,  
Professor<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua

<sup>2</sup> Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: tserg30@ukr.net

### METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THERMAL MEASUREMENTS IN APPLE STORAGE CHAMBERS

**Мета.** Метою статті є дослідження метрологічних характеристик теплотехнічних вимірювань в камерах для зберігання яблук.

**Методи.** У роботі для вимірювання середньої температури у камерах для зберігання фруктів розглянуто метод трьох точок контролю.

**Результати.** Зазначено, що збільшення термінів зберігання і максимальне скорочення втрат плодів яблуні має велике практичне значення, оскільки вони становлять значну питому вагу в харчуванні населення. З-поміж основних причин є механічні пошкодження, особливо на останньому етапі зберігання, коли в результаті дозрівання відбувається розм'якшення м'якоти плодів, що призводить не лише до зниження їх міцності, а й впливає на подальше транспортування. При цьому вважають, що погіршення якісних показників обумовлено як природними, так і зовнішніми чинниками, які знижують споживчі властивості товару. Аналіз статистики показав, що, за даними експертів, у 2019 році Україна збільшила експорт свіжих яблук на 26,5 % порівняно з 2018 роком. Основними покупцями яблук є Білорусь, Ірак, Туреччина і Австрія, проте виробництво яблук в Україні в 2019 році скоротилося на 21 %, зокрема за рахунок падіння врожайності та умов зберігання. Констатовано, що основними контролюємими параметрами процесу зберігання є температура, відносна вологість повітря, повітрообмін, газовий склад і освітленість. Тому у фрукто-овочесховищі має підтримуватися відповідна температура та вологість повітря, контроль яких здійснюється за допомогою відповідних засобів вимірювання. Розглянуто метрологічні характеристики приладів для теплотехнічних вимірювань, які призначені для перетворення сигналів із вимірювальної інформації у форму, доступну для безпосереднього відтворення спостереження. Сконцентровано увагу на тому, що згідно зі стандартами під час вимірювання середньої температури використовується метод 3-х точок контролю, показність результатів яких залежить від інтервалів між контрольними точками, які можуть коригуватися у ході вимірювання. Запропоновано на основі аналізу метрологічних характеристик та конструктивних особливостей пристроїв, що застосовуються для теплотехнічних вимірювань в камерах для зберігання

Надійшла до редакції 14.09.2020 р.

© Л. О. Цвіркун, О. В. Омельченко,  
С. Л. Цвіркун, Г. В. Гейер, 2020

яблук, для вимірювання середньої температури використовувати як мінімум п'ять контрольних точок задля достовірності отриманих результатів, які безпосередньо впливають на процес зберігання яблук.

**Ключові слова:** метрологічні характеристики, теплотехнічні вимірювання, температура, похибка, метод трьох точок, зберігання яблук.

**Постановка проблеми.** Яблуна є найбільш поширеною плодовою культурою нашої країни. Плоди містять природні антиоксиданти, вітаміни, біологічно активні та мінеральні речовини. Збільшення термінів зберігання і максимальне скорочення втрат плодів яблуні має велике практичне значення, оскільки вони становлять значну питому вагу в харчуванні населення. Нині втрати фруктів при зберіганні досягають у середньому 35 %, а іноді й більше. З-поміж основних причин є механічні пошкодження, особливо на останньому етапі зберігання, коли в результаті дозрівання відбувається розм'якшення м'якості плодів, що призводить не лише до зниження їх міцності, а й впливає на подальше транспортування. Погіршення якісних показників обумовлено як природними, так і зовнішніми чинниками (температура, вологість повітря, повітрообмін в камерах для зберігання плодів), які знижують споживчі властивості товару. Тому ефективне збереження продукції плодівництва до нового врожаю без значних втрат її маси є однією з актуальних проблем сьогодення.

Одним з головних контролюємих параметрів процесу зберігання яблук є температура. Оптимальною температурою зберігання різних сортів яблук є діапазон від 0 до +4°C. Зниження температури зберігання плодів обмежується температурою (точкою) замерзання плодів, специфічною для кожного конкретного сорту яблук. Діапазон температури замерзання плодів знаходиться в межах 1,4–2,8 °C, а для більшості сортів оптимальна температура зберігання повинна бути на 0,5 °C і більше вище точки замерзання плодів [1]. Температура не піддається безпосередньому виміру, тому про стан теплової рівноваги і значення температури судять зі змін фізичних властивостей об'єкта [2]. Відповідно, для отримання яблук вищого гатунку важливим є не тільки температурні режими зберігання, а й стабільність їх підтримки, що вимагає дослідження метрологічних характеристик за допомогою теплотехнічних вимірювань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Яблука — невід'ємна частина українського експорту, бо за кордоном вони користуються величезним попитом і щороку завойовують нові ринки. Так, за даними експертів, у 2019 році Україна збільшила експорт свіжих яблук на 26,5 % (з 11,2 до 53,6 тис. тонн) порівняно з 2018 роком (рис. 1). Основними покупцями яблук є Білорусь (14,5 тис. тонн), Ірак (7,9 тис. тонн), Туреччина (7,9 тис. тонн) і Австрія (5,1 тис. тонн) [3]. Проте виробництво яблук в Україні в 2019 році скоротилося на 21 %, зокрема за рахунок падіння врожайності та умов зберігання.

У фрукто-овочесховищі має підтримуватися відповідна температура та вологість повітря, контроль яких здійснюється за допомогою відповідних засобів вимірювання. Для виконання теплотехнічних вимірювань в камерах для зберіганні овочів та фруктів застосовують рідинні скляні термометри, біметалічні термометри, манометричні термометри, термометри електричного опору, термістори, термоелектричні перетворювачі — термопари, які призначені для перетворення сигналів із вимірювальної інформації у форму, доступну для безпосереднього відтворення спостереження. Ці пристрої використовуються для безпосереднього зняття показань, дистанційного зняття показань, контролю показань.

Задля оцінки метрологічних характеристик у деяких випадках можна обійтися без здійснення вимірювань, скориставшись інформацією, наявною на самому засобі вимірювань або отриманою з нормативних та довідкових джерел, проте для більш повного дослідження метрологічних характеристик необхідно провести вимірювання фізичних величин [4]. Залежно від призначення вимірювальної пристрої бувають [5; 6; 7]: аналогові, у яких показання є безперервною функцією вимірювальної величини; цифрові — показання є візуальною формою цифрового коду; прямого перетворення (прямої дії) — здій-

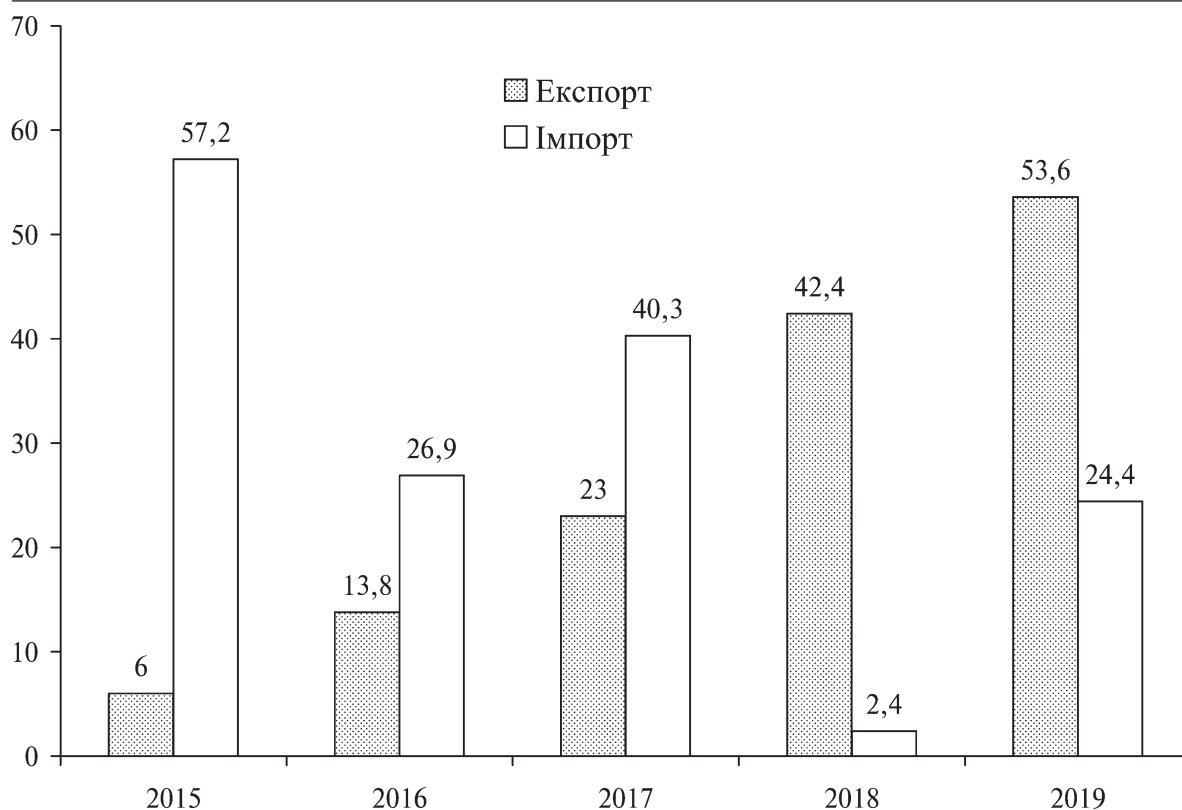


Рисунок 1 — Зовнішня торгівля свіжими яблуками

сніюється тільки в напрямку від входу до виходу; урівноважуючого (компенсаційного) перетворення — весь тракт прямого перетворення охоплений негативним зворотним зв'язком; змішаного перетворення — перед контуром зворотнього зв'язку є деяка ділянка прямого перетворення. Узагальнена структурна схема вимірювального пристрою наведена на рис. 2. Первинний вимірювальний перетворювач — датчик; на виході пристрою перетворення формується сигнал, параметри якого відповідають вхідним характеристикам відключеного пристрою.

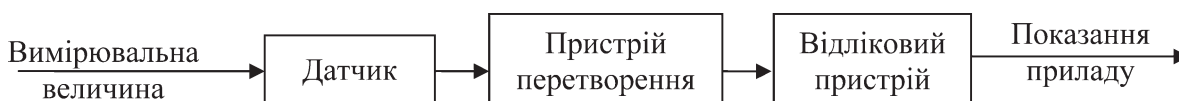


Рисунок 2 — Структурна схема вимірювального пристрою

Велика кількість величин легко перетворюється в силу, лінійне або кутове переміщення. До них відносяться: тиск, щільність, рівень, в'язкість, температура, частота обертання. Для вимірювання цих величин побудовані датчики з механічною компенсацією вимірюваної величини. Датчики складаються з первинного вимірювального перетворювача вимірюваної величини в силу і уніфікованого вимірювального перетворювача сили (або переміщення) для подальшого її перетворення в стандартний пневматичний або електричний сигнал.

**Мета статті** — дослідження метрологічних характеристик теплотехнічних вимірювань в камерах для зберігання яблук.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Основними контролюємими параметрами процесу зберігання є температура, відносна вологість повітря, повітрообмін, газовий склад і освітленість. Температура зберігання кожного виду плодоовочевої продукції має свої показники: наприклад, перець, спаржу або лимони не можна довго витримувати при температурах нижче рекомендованих через небезпеку холодних ушкоджень; у бананів і ананасів при температурі нижче 10°C, у зелених томатів — нижче 6°C, у цитрусових — нижче 3°C спостерігається «застигання», після чого вони втрачають здатність до дозрівання; особливістю персиків є зростання інтенсивності дихання при зниженні темпера-

тури до 2–4°C сильніше, ніж при 5°C. Тому фрукто-овочесховище, у якому застосовується спеціалізоване вентиляційне та холодильне обладнання, оснащене системами контролю параметрів зберігання. Практика показує, що процес зберігання найбільш ефективно організований в комплексах, утворених за секційним принципом, коли середовище зберігання являє собою сукупність секцій (камери, засіки), в кожній з яких технічно можливі швидке створення і довгострокова підтримка заданих параметрів [8]. Саме така система забезпечує маневреність, надійність, гарну адаптацію до специфічних умов експлуатації (сезонність), велику тривалість непереривчастої дії, велику різноманітність режимів і етапів технологічних процесів.

Встановлено, що коливання температури у сховищі на 1°C обумовлює зміну відносної вологості повітря на 5–6%. При підвищенні температури відносна вологість зменшується, у результаті чого підвищуються втрати маси продукції, зростає інтенсивність дихання і випаровування води, що сприяє розвитку мікроорганізмів. Загальною вимогою оптимального температурного режиму зберігання є також відсутність різких перепадів температури і відносної вологості повітря, бо навіть при незначному підвищенні температури на стінах, стелі сховища та на продукції може утворитися конденсат.

При зберіганні яблук важливо забезпечити циркуляцію повітря й підтримувати вологість від 90 до 95%. Тоді зберігання яблук в сховищах буде правильним і тривалим. Для всіх сортів яблук температура на період зберігання встановлюється постійною (наприклад, «Антонівка звичайна» — до +4°C; «Ренет Черненко» — до +1°C; «Айдаред» — до +3°C; «Джонатан» — до +4°C; «Пепин шафранний» — до 0°C) [9], табл. 1.

**Таблиця 1** — Температура і термін зберігання деяких сортів яблук

Сорт	Температура
Мелба	від –1 до +1
Слава переможцям	від –1 до 0
Штрейфлінг	від 0 до +1
Антонівка звичайна	від + 2 до +4
Мекинтогс	від –1 до +1
Коштеля	від 0 до +1
Кортланд	від +1 до +2
Пармен зимовий золотий	від +2 до +4
Кальвиль свіжий	від +1 до +2
Мантуанске	від –1 до +2
Бойкен	від 0 до +1

Під час виконання теплотехнічних вимірювань широко застосовують метод безпосередньої оцінки, метод порівняння з мірою і нульовий метод [10]. Проте точність вимірювання температури у теперішній час не можна назвати високою. У промислових термометрів її похибка зрідка буває нижче 0,5% від межі вимірювання. Разом з тим зниження цієї похибки надзвичайно актуально.

Так, математично розподіл інструментальної похибки за ознакою її залежності від значення вимірюваної величини можна навести таким чином:

$$y_H = a_{0H} + a_{1H} \cdot x \quad (1)$$

У загальному випадку вона не обов'язково проходить через 0, може бути виражена поліномом ступеня  $n$ :

$$y_p = a_{0p} + a_{1p} + \sum_2^n a_i \cdot x^i \quad (2)$$

Тоді абсолютна похибка на виході:""

$$\Delta y = y_p - y_H = a_{0p} - a_{0H} + (a_{1p} - a_{1H}) \cdot x + \sum_2^n a_i \cdot x^i \quad (3)$$

$$a_{0p} - a_{0н} = \Delta y_a; \quad (a_{1p} - a_{1н}) \cdot x = \Delta y_m; \quad \sum_2^n a_i \cdot x^i = \Delta y_n \text{ — відповідно}$$

адитивна, мультиплікативна і нелінійна складові похибки.

Якщо у процесі вимірювання виявлено закономірності відхилень градуовальної характеристики приладу від номінальної функції перетворення, методику коригують для отримання уточненого подання про викривлення. Наприклад, за відсутності точок перегину і тенденцій зміни відхилень точки можна розташовувати більш зрідка. Під час явно вираженої мультиплікативної похибки інтервали можуть бути порівняно великими, а при накладенні на неї періодичної складової інтервали необхідно зменшити до частки періоду [11]. Також градуовальну характеристику приладу досліджують на наявність гистерезисної складової похибки. Для цього кожен з величин послідовно вимірюють при зміні показань приладу в двох протилежних напрямках (з більшого на менше і з меншого на більше значення показань).

Згідно зі стандартами під час вимірювання середньої температури використовується метод 3-х точок контролю. Кількість контрольних точок температури повітря у вільному просторі корисного об'єму камери повинно бути не менше трьох. Перша і друга контрольні точки повинні бути розташовані в зонах, які мають мінімальне («холодна» точка) і максимальне («тепла» точка) значення температури. Третя контрольна точка повинна бути розташована в середині центрального або бічного (у камері шириною до 12 м) проходу на висоті 1,5–1,6 м від рівня підлоги [9; 12]. Значення повинні розподілятися на весь діапазон вимірювань приладу, причому число і розташування контрольних точок визначають залежно від конструктивних особливостей приладу.

Як відомо, в одну товарну партію завантажують яблука одного сорту. Допускається завантаження різних сортів у разі однакових умов та відсутності можливого впливу на процес зберігання. Показність результатів залежить від інтервалів між контрольними точками, які можуть коригуватися у ході вимірювання. Розташування «теплої» і «холодної» точок здійснюють у вільному просторі корисного об'єму камери.

На основі аналізу метрологічних характеристик та конструктивних особливостей пристроїв, що застосовуються для теплотехнічних вимірювань в камерах для зберігання яблук, вважаємо доцільним для вимірювання середньої температури використовувати, як мінімум п'ять контрольних точок (три основні та дві дотичні) задля достовірності отриманих результатів, які безпосередньо впливають на процес зберігання яблук.

**Висновки.** Отже, основними контрольованими параметрами процесу зберігання є температура, відносна вологість повітря, повітрообмін, газовий склад і освітленість. Тому у фрукто-овочесховищі має підтримуватися відповідна температура та вологість повітря, контроль яких здійснюється за допомогою відповідних засобів вимірювання. Для виконання теплотехнічних вимірювань в камерах для зберігання овочів та фруктів застосовують рідинні скляні термометри, біметалічні термометри, манометричні термометри, термометри електричного опору, термістори, термоелектричні перетворювачі — термопари, які призначені для перетворення сигналів із вимірювальної інформації у форму, доступну для безпосереднього відтворення спостереження.

Запропоновано на основі аналізу метрологічних характеристик та конструктивних особливостей пристроїв, що застосовуються для теплотехнічних вимірювань в камерах для зберігання яблук, для вимірювання середньої температури використовувати як мінімум п'ять контрольних точок задля достовірності отриманих результатів, які безпосередньо впливають на процес зберігання яблук.

### Список літератури

1. ДСТУ 7075: 2009. Яблука свіжі для промислового перероблення. Загальні технічні умови. К. : Держспоживстандарт України, 2010.
2. Арестов О. П. Теплотехнічні виміри. Д. : Вид-во ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, 2008. 176 с.

3. Україна побила 5-річний рекорд з експорту яблук. URL : <https://agronews.ua/news/171502>.
4. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text>.
5. Головченко О. М., Співак О. Ю., Грумінська Л. В. Теплотехнічні вимірювання та метрологія. Вінниця : ВНТУ, 2006. 91 с.
6. Нубарян С. М. Контрольно-измерительные приборы в теплотехнических измерениях. Харьков : ХНАГХ, 2006. 283 с.
7. Мазин В. Д. Метрология и теплотехнические измерения. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 77 с.
8. Неменушчая Л. А., Степанищева Н. М., Соломатин Д. М. Современные технологии хранения и переработки плодо-овощной продукции. М. : ФГНУ, 2009. 172 с.
9. ДСТУ ISO 8682:2006 Яблука. Зберігання в регульованому газовому середовищі. URL : [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=84810](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=84810).
10. Клименко Л. П., Пізінцалі Л. В., Александровська Н. І. Метрологія, стандартизація та управління якістю. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011, 126 с.
11. Метрологические характеристики средств измерений. URL : <https://support17.com/metr-labs>.
12. ДСТУ 8133:2015. Яблука свіжі середніх та пізніх термінів достигання. Технічні умови. URL : [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=81228](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=81228).

#### References

1. DSTU 7075: 2009 (2010). *Yabluka svizhi dlya promyslovoho pereroblyannya. Zahalni tekhnichni umovy* [Apples are fresh for industrial processing. General technical conditions]. Kyiv, State consumer standard of Ukraine.
2. Arestov, O. P. (2008). *Teplotekhnichni vymiry* [Thermal measurements]. Dnipro, DNURT named after acad. V. Lazaryan, 176 p.
3. Agronews (2020). *Ukrayina pobyla 5-richnyy rekord z eksportu yabluk*. [Ukraine broke a 5-year record for apple exports]. Available at : <https://agronews.ua/news/171502>.
4. The Verkhovna Rada of Ukraine (2015). The Law of Ukraine “ On Metrology and Metrological Activity”. Available at : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text>.
5. Holovchenko, O. M., Spivak, O. Yu., Hruminska L. V. (2006). *Teplotekhnichni vymiryuvannya ta metrolohiya* [Thermotechnical measurements and metrology]. Vinnytsia, VNTU, 91 p.
6. Nubaryan, S. M. (2006). *Kontrol'no-izmeritel'nyye pribory v teplotekhnicheskikh izmereniyakh* [Control and measuring devices in heat engineering measurements]. Kharkiv, KHNAGKh Publ., 283 p.
7. Mazin, V. D. (2010). *Metrologiya i teplotekhnicheskkiye izmereniya* [Metrology and heat engineering measurements]. St. Petersburg, Publishing house of Polytechnic. Univ., 77 p.
8. Nemenushchaya, L. A., Stepanishcheva, N. M., Solomatin, D. M. (2009). *Sovremennyye tekhnologii khraneniya i pererabotki plodo-ovoshchnoy produktsii* [Modern technologies for storage and processing of fruit and vegetable products]. Moscow, FGNU Publ., 172 p.
9. DSTU ISO 8682: 2006 (2007). *Yabluka. Zberihannya v rehulovanomu hazovomu seredovishchi* [Apples. Storage in a controlled gaseous medium]. Available at : [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=84810](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=84810).
10. Klimenko, L. P., Pizintsali, L. V., Aleksandrovskaya, N. I. (2011). *Metrolohiya, standartyzatsiya ta upravlinnya yakisty* [Metrology, standardization and quality management]. Mykolaiv, BSSU Publishing House named after Petro Mohyla, 126 p.
11. Polytechnic Belarusian National Technical University. *Metrologicheskkiye kharakteristiki sredstv izmereniy* [Metrological characteristics of measuring instruments]. Available at : <https://support17.com/metr-labs>.
12. DSTU 8133:2015 (2015). *Yabluka svizhi serednikh ta piznikh terminiv dostyhannya. Tekhnichni umovy* [Fresh apples of medium and late ripening. Specifications]. Available at : [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=81228](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=81228).

**Objective.** *The aim of the article is to study the metrological characteristics of thermal measurements in apple storage chambers.*

**Methods.** *The method of three control points is considered in the work for measuring the average temperature in fruit storage chambers.*

**Results.** *It is noted that an increase in the shelf life and a maximum reduction in the loss of apple fruits is of great practical importance, since they constitute a significant share in the nutrition of the population. Among the main reasons are mechanical damage, especially at the last stage of storage, when, as a result of ripening, the pulp of the fruit softens, which not only leads to a decrease in their strength, but also affects further transportation. At the same time, it is believed that the deterioration in quality indicators is due to both natural and external factors that reduce the consumer properties of the product. Analysis of statistics showed that, according to experts, in 2019 Ukraine increased the export of fresh apples by 26.5 % compared to 2018. The main buyers of apples are Belarus, Iraq, Turkey and Austria. However, in Ukraine in 2019 apple production decreased by 21 % due to a drop in yield and storage conditions. It was stated that the main controlled parameters of the storage process are temperature, relative humidity, air exchange, gas composition and illumination. Therefore, in the fruit and vegetable storehouse, the appropriate temperature and humidity of the air must be maintained, the control of which is carried out using appropriate measuring instruments. The metrological characteristics of devices for thermotechnical measurements are considered, intended for converting signals from measuring information into a form accessible for direct reproduction of observation. Attention is focused on the fact that according to the standards, when measuring the average temperature, the method of 3 control points is used; the representativeness of the results of which depends on the intervals between control points, which can be corrected during the measurement. Based on the analysis of metrological characteristics and design features of devices used for heat engineering measurements in chambers for storing apples, it is proposed to use at least five points to measure the average temperature for the reliability of the results obtained, which directly affect the storage process of apples.*

**Key words:** *metrological characteristics, thermal measurements, temperature, error, three-point method, apple storage.*