

# УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

DOI : 10.33274/2079-4827-2022-44-1-29-36

УДК 681.5:664.84'85(045)

*Омельченко О. В., канд. техн. наук<sup>1</sup>*

*Цвіркун Л. О., канд. пед. наук<sup>1</sup>*

*Лученчин М. С., здобувач ОС бакалавр<sup>1</sup>*

*Баландіна С. В., здобувач ОС бакалавр<sup>1</sup>*

---

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

## МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ АПАРАТУ З КОНСЕРВУВАННЯ ПЛОДОВООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ

УДК 681.5:664.84'85(045)

*Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences<sup>1</sup>*

*Tsvirkun L. A., PhD in Pedagogical sciences<sup>1</sup>*

*Luchenchin M. V., a graduate of a bachelor degree<sup>1</sup>*

*Balandina S. V., a graduate of a bachelor degree<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.

## MODEL OF THE AUTOMATED HEAT TREATMENT SYSTEM FOR THE DEVICE FOR CANNING FRUIT AND VEGETABLE RAW

**Мета.** Метою статті є удосконалення моделі автоматизованої системи теплової обробки для апарату з консервування плодовоовочевої сировини.

**Методи.** У роботі для удосконалення моделі автоматизованої системи теплової обробки для апарату з консервування плодовоовочевої сировини, що уможливило формування оптимальних значень впливів управління задля підвищення якості вихідного продукту з мінімальними енергетичними та економічними витратами застосовано статистичні методи, а також математичні методи, що описують зміни в текстурі оброблюємої сировини під час теплової обробки.

**Результати.** Зазначено, що овочі та фрукти є важливими компонентами для збалансованого та здорового харчування, забезпечують організм мінералами та харчовими волокнами. Речовини, що містяться в овочах, такі як флавоноїди, феноли та каротиноїди запобігають дефіциту вітамінів та знижують ризик розвитку різних видів раку, серцево-судинних захворювань, діабету. Однак овочі швидко псуються і потребують відповідного консервування, тобто технології для продовження терміну зберігання із збереженням поживних й сенсорних якостей. Задля збереження плодовоовочевої сировини необхідно призупинити розвиток мікроорганізмів за допомогою термічної обробки, яка сповільнює бактеріальну та ферментну активність. Вважається, що навіть м'який термічний процес має тенденцію спричиняти значну втрату кольору та зміни в текстурі, смаку та потенційно поживної цінності. Сконцентровано увагу на тому, що комбінація часу та температури, пов'язана з конкретним процесом пастеризації, значною мірою контролюватиме хімічні, біохімічні та мікробіологічні зміни, які відбуватимуться у харчовому продукті. Зміна співвідношення часу та температури може впливати як на бажані, так і на небажані реакції, що відбуваються під час пастеризації, наприклад, потемніння овочів. Аналіз дав змогу стверджувати, що серед зовнішніх чинників температура є найважливішим чинником для забезпечення якості у виробництві та подальшому зберіганні сировини. Сконцентровано увагу на тому, що ефективність виробництва може бути покращена за допомогою АСУТП та контролю показників якості

---

Надійшла до редакції 10.03.2022 р.

© О. В. Омельченко, Л. О. Цвіркун,  
М. С. Лученчин, С. В. Баландіна, 2022

вихідного продукту, що дозволить оцінити якість вихідного продукту масообмінного технологічного процесу без встановлення додаткових поточкових аналізаторів (фізичних датчиків), які вимагають постійного калібрування. Запропоновано удосконалену модель автоматизованої системи теплової обробки для апарату з консервування плодовоовочевої сировини, що уможливує формування оптимальних значень управляючих впливів задля підвищення якості вихідного продукту з мінімальними енергетичними та економічними витратами.

**Ключові слова:** тепла обробка, технологічні процеси, консервування, автоматизація, плодовоовочева сировина, пастеризація, стерилізація, бланшування.

**Постановка проблеми.** Овочі та фрукти є важливими компонентами для збалансованого та здорового харчування, забезпечують організм мінералами та харчовими волокнами. Речовини, що містяться в овочах, такі як флавоноїди, феноли та каротиноїди запобігають дефіциту вітамінів та знижують ризик розвитку різних видів раку, серцево-судинних захворювань, діабету. Однак овочі швидко псуються і потребують відповідного консервування, тобто технології для продовження терміну зберігання із збереженням поживних й сенсорних якостей. Задля збереження плодовоовочевої сировини необхідно призупинити розвиток мікроорганізмів за допомогою термічної обробки, яка сповільнює бактеріальну та ферментну активність. Проте навіть м'який термічний процес має тенденцію спричиняти значну втрату кольору та зміни текстури, смаку та потенційно поживної цінності.

Найпростішим і найефективнішим засобом зберігання значної частини овочів та фруктів є консервування за допомогою термічної обробки для отримання безпечного та смачного продукту. Термічна переробка консервованих харчових продуктів — застосування тепла при заданій температурі протягом певного часу. Основною метою термічного процесу є забезпечення високоякісної їжі шляхом знищення мікроорганізмів, що відбувається за певної залежності температури та часу витримки при такій температурі.

Термічна обробка передбачає нагрівання харчового продукту при температурах від 50 до 150 °С. Включає пастеризацію (65–85 °С), стерилізацію (110–121 °С), термічну попередню обробку (бланшування), що проводиться перед заморожуванням та консервуванням для знищення бактерій та ферментів [1, 3]. Пастеризація — найпоширеніший процес теплового впливу, яка полягає в нагріванні до певної температури та витримці при даній температурі певного часу [2, 10]. Від значення температури та часу витримки залежить термін зберігання плодовоовочевої сировини.

Відповідно, контроль показників якості вихідного продукту у процесі термічної обробки забезпечить можливість контролювати зміну текстури для покращення споживчої цінності, стабілізацію кольору, смакових якостей та збереження важливих поживних речовин та біологічно активних сполук.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Ефективність виробництва може бути покращена за допомогою АСУТП та контролю показників якості вихідного продукту. Для цього потрібна розробка більш точних математичних моделей для оцінки показників якості (ММОПК) вихідних продуктів для підсистеми АСУТП, що описують нелінійні процеси [8]. Для моделювання змін якості, що відбуваються у харчових продуктах під час термічної обробки часто використовуються прогностичні моделі. Використання статистичних методів для створення математичної моделі для оцінки показників якості вихідних змінних об'єкта з урахуванням поточних значень вхідних змінних, забезпечить можливість у реальному часу точно передбачати вихідні значення об'єкта, що моделюється за рахунок цього можливе помітне підвищення його ефективності.

Так, для наявних  $p$  вхідних змінних  $X_i$ ,  $i = 1, \dots, p$  виходу  $Y$ , модель буде описуватись функціональною залежністю

$$Y = F(X, B) + \varepsilon,$$

де  $X = (X_1, \dots, X_p)$  — вектор вхідних контрольованих технологічних змінних;  $B = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)$  — вектор коефіцієнтів;  $\varepsilon$  — похибка вимірювання вихідної змінної.

Відбір вхідних змінних, що впливають на значення кінцевого продукту та вибір структури адекватної моделі здійснюється на основі регресійного аналізу. Однак для нелінійних об'єктів часто виникають проблеми, пов'язані з вибором структури моделі. Нелінійність призводить до неоднозначності отримання оцінок невідомих параметрів моделі, коли одній і тій же вибірці експериментальних даних однаково добре відповідає не одна, а одразу безліч моделей  $F(X, B)$ . Відповідно, необхідна низка характеристик, що охоплюють сенсорні властивості (зовнішній вигляд, текстура, колір), поживні цінності, наявність або відсутність певних хімічних компонентів, функціональні властивості та дефекти.

На рис. 1 представлено моделювання термічних процесів та взаємозв'язок зовнішніх та внутрішніх чинників, які впливають на якість та безпеку пастеризованих харчових продуктів [6, 9]. Комбінація часу та температури, пов'язана з конкретним процесом теплової обробки, значною мірою контролюватиме хімічні, біохімічні та мікробіологічні зміни, які відбуватимуться у харчовому продукті. Зміна співвідношення часу та температури може впливати як на бажані, так і на небажані реакції, що відбуваються під час пастеризації, наприклад, потемніння овочів. Серед зовнішніх чинників температу-



**Рисунок 1** — Вплив зовнішніх та внутрішніх факторів на процес термічної обробки

ра є найважливішим чинником для забезпечення якості у виробництві та подальшому зберіганні сировини.

У процесі теплової обробки продукт міститься в герметично закритій тарі та піддається обробці при відповідній температурі протягом певного часу, який є достатнім для знищення всіх організмів, що можуть негативно впливати на здоров'я споживача. Термічна обробка знищує більш стійкі організми, які можуть призвести до псування при нормальних умовах зберігання. Одним з технологічних обладнань для цієї операції є реторти — закриті посудини під тиском, які використовують пару із зовнішнього джерела, наприклад, парові котли або парогенератори (рис. 2). Реторти, що працюють із надлишковим тиском, включають парові/повітряні реторти, воду, розпилення води та занурення у воду [4, 9, 10]. Незалежно від того, який тип ретортної системи використовується на консервному підприємстві, обладнання має забезпечувати досягнення і підтримування рівномірної температурної обробки контейнера під час термічної обробки, а також час, коли реторта досягає робочої температури, має бути також відомим.

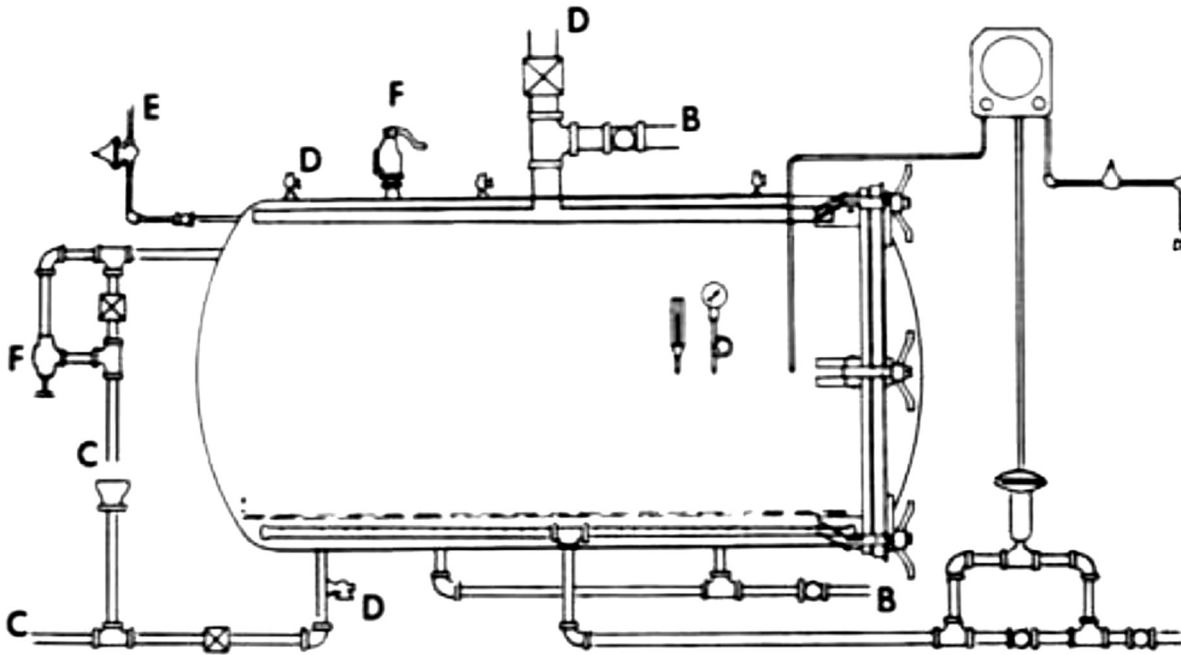


Рисунок 2 — Реторта: А — пара, В — вода, С — злив, D — вентиляційні отвори, Е — повітря, F — запобіжний клапан.

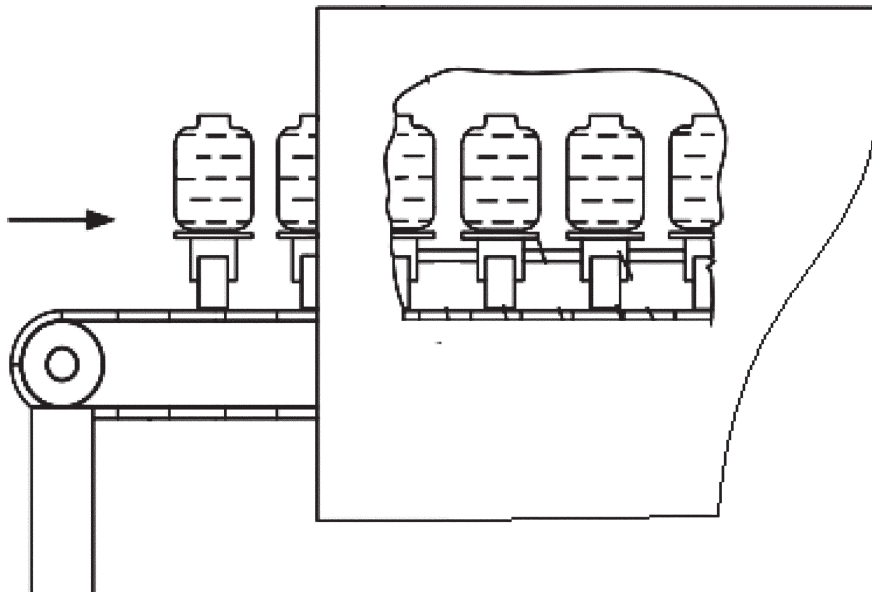


Рисунок 3 — Апарат для нагрівання плодовоовочевої сировини

Для вимірювання температури в корпусі реторти вмонтований термометр, який розміщують подалі від ємностей і теплоносія. Датчики температури або термопари розташовані між контейнерами по всьому завантаженню реторти та постійно контролюються під час термічної обробки, щоб переконатися, що прилад для індикації температури або скляний ртутний термометр для реторти є репрезентативними для температури всередині реторти.

**Мета статті** — удосконалення моделі автоматизованої системи теплової обробки для апарату з консервування плодовоовочевої сировини.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Застосування тепла до свіжих овочів може призвести до серйозного погіршення якості, включаючи зміну кольору та текстури, втрату поживних речовин. Тектурні зміни, що відбуваються у харчових продуктах під час термічної обробки призводять для розм'якшення тканин із-за фізичних та хімічних змін.

Так, Різві та Тонг запропонували математичну модель, що описує зміни в текстурі оброблюваної сировини під час термічної обробки [5]. Індекс текстури  $f$  виражений як ступінь зміни текстури в будь-який час  $t$  та виражається наступним чином

$$f = \ln \frac{(TP - TP_t)}{(TP_0 - TP_\infty)}, \quad (1)$$

де  $TP_0$  — вихідна властивість текстури в нульовий час;  $TP_t$  — властивість текстури в даний момент часу  $t$ ;  $TP_\infty$  — властивість текстури ненульової рівноваги після тривалого нагрівання.

Левеншпіль запропонував математичну модель, яка описує зміни в текстурі оброблюваної сировини під час термічної обробки для кінетики реакції 1-го порядку ( $1-f$ ) побудованої проти часу ( $t$ ) та вважав її лінійною, а константу швидкості ( $k$ ) негативною величиною нахилу [7]. Рівняння має наступний вигляд

$$\ln(1-f) = \ln \frac{(TP - TP_t)}{(TP_0 - TP_\infty)} = -kt. \quad (2)$$

Для прогнозування індексу текстури як функцію часу нагріву ( $t$ ) при постійній температурі залежність має вигляд

$$TP_t = TP_\infty - TP_\infty \cdot \exp(-k \cdot t). \quad (3)$$

Зміни в текстурі оброблюваної сировини під час термічної обробки різних овочів значно різняться.

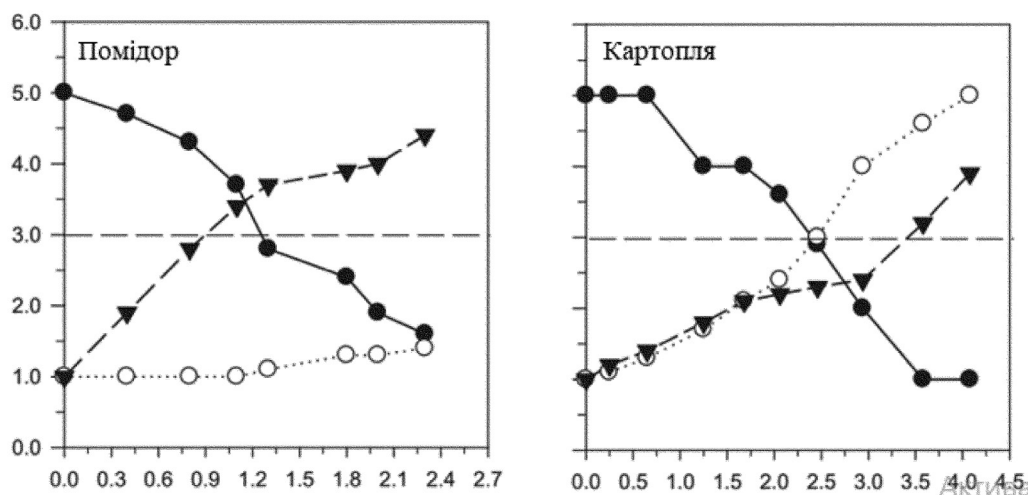
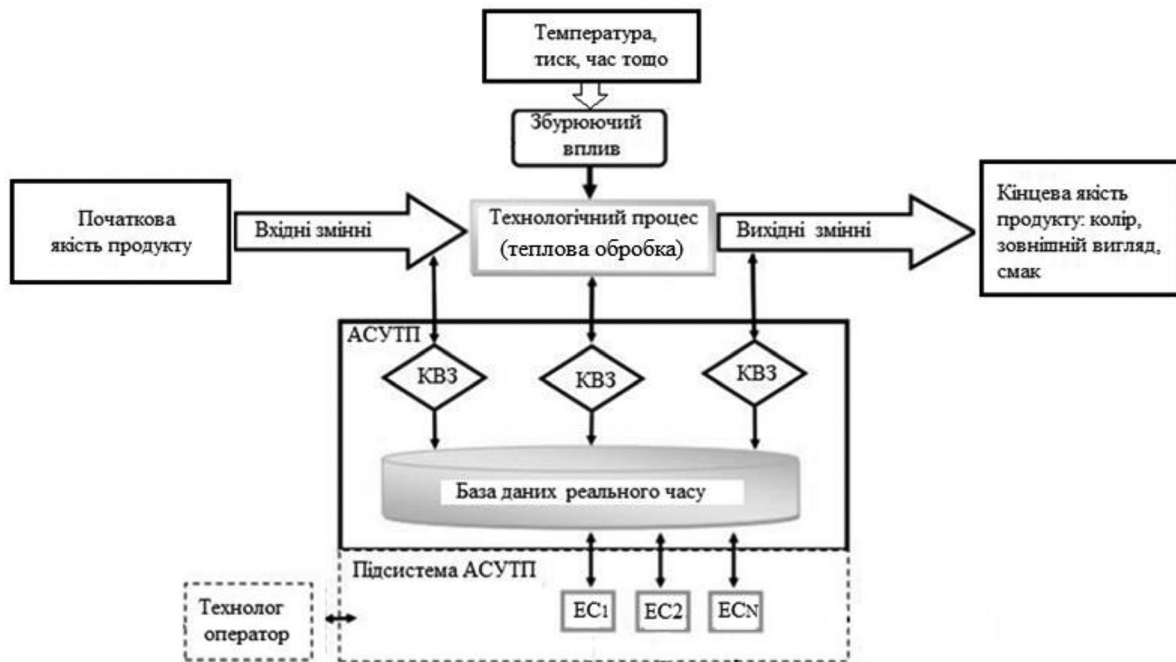


Рисунок 4 — Зміни текстури оброблюваної сировини під час термічної обробки:

--- — межа прийнятності; ● — зовнішній вигляд; ○ — зморщування;  
▼ — зміни кольору.

У зв'язку з постійним підвищенням вимог до якості вихідного продукту (колір, зовнішній вигляд, аромат, смак) підприємства харчової промисловості змушені безперервно підвищувати економічну ефективність виробництва та якість продукції, що випускається. Ефективність виробництва може бути покращена за допомогою систем АСУТП та контролю показників якості вихідного продукту. Для цього потрібна розробка більш точних математичних моделей для оцінки показників якості вихідних продуктів для підсистеми АСУТП, що описують нелінійні процеси та дає змогу оцінити якість вихідного продукту масообмінного технологічного процесу без встановлення додаткових потокових аналізаторів (фізичних датчиків), які вимагають постійного калібрування.

Запропоновано удосконалену модель автоматизованої системи теплової обробки для апарату з консервування плодовоовочевої сировини, що уможливорює формування оптимальних значень управляючих впливів задля підвищення якості вихідного продукту з мінімальними енергетичними та економічними витратами.



**Рисунок 5** — Модель автоматизованої системи теплової обробки для апарату з консервування плодовоовочевої сировини:

АСУТП — автоматизованої системи управління технологічним процесом (теплова обробка плодовоовочевої сировини); КВЗ — контрольно-вимірювальні засоби; ЕС — експертний сигнал.

**Висновки.** Зазначено, що комбінація часу та температури, пов'язана з конкретним процесом термічної обробки плодовоовочевої сировини, значною мірою контролюватиме хімічні, біохімічні та мікробіологічні зміни, які відбуватимуться у харчовому продукті. Зміна співвідношення часу та температури може впливати як на бажані, так і на небажані реакції, що відбуваються під час пастеризації, наприклад, небажане потемніння овочів. Серед зовнішніх чинників температура є найважливішим чинником для забезпечення якості у виробництві та подальшому зберіганні овочів та фруктів.

Констатовано, що ефективність виробництва може бути покращена за допомогою АСУТП та контролю показників якості вихідного продукту, що дозволить оцінити якість вихідного продукту масообмінного технологічного процесу без встановлення додаткових потокових аналізаторів (фізичних датчиків), які вимагають постійного калібрування. Запропоновано удосконалену модель автоматизованої системи теплової обробки для апарату з консервування плодовоовочевої сировини, що уможливило формування оптимальних значень управляючих впливів задля підвищення якості вихідного продукту з мінімальними енергетичними та економічними витратами.

#### Список літератури

1. Predicting the quality of pasteurized vegetables using kinetic models: a review. URL: <https://www.hindawi.com/journals/ijfs/2013/271271>.
2. Sterilization in food industry. URL. [http://wiki.zero-emissions.at/index.php?title=Sterilization\\_in\\_food\\_industry](http://wiki.zero-emissions.at/index.php?title=Sterilization_in_food_industry).
3. Jing Peng, Juming Tang. Thermal pasteurization of vegetables: critical. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2015. Vol. 10. P. 430–440.
4. Ibrahim M., Ismail Alaa Fahmy, Ahmed Azab. Optimizing the sterilization process of canned food using temperature distribution studies. *Journal of agriculture and veterinary science*. 2013. Vol. 6. P 26–33.
5. Rizvi A. F and Tong C. H. Fractional conversion for determining texture degradation kinetics of vegetables. *Journal of food science*. 2018. Vol. 62. P. 1–7.

6. Maesmans G., Hendrickx M., Weng Z. Endpoint definition, determination and evaluation of thermal processes in food preservation. *Belgian journal of food chemistry and biotechnology*. 2019. Vol. 45. P. 179–192.
7. Levenspiel O. Chemical reaction engineering. New York: USA. 2016. 450 p.
8. Бойко І. В., Петрик М.Р. Математичне моделювання в науково-технічних дослідженнях. Тернопіль: ТНТУ, 2017. 110 с.
9. Гладушняк О. К. Технологічне обладнання консервних заводів. Херсон: Грінь. 2015. 470 с.
10. Гончаренко Г. М. Технологічне обладнання консервних та овочепереробних виробництв: довідник. К. : Центр навч. літ., 2007. 200 с.

### References

1. *Prohnozuvannya yakosti pasteryzovanykh ovochiv za dopomohoyu kinetychnykh modeley: ohlyad* [Predicting the quality of pasteurized vegetables using kinetic models]. Access mode: <https://www.hindawi.com/journals/ijfs/2013/271271>.
2. *Sterylyzatsiya v kharchoviy promyslovosti* [Sterilization in food industry]. Access mode: [http://wiki.zero-emissions.at/index.php?title=Sterilization\\_in\\_food\\_industry](http://wiki.zero-emissions.at/index.php?title=Sterilization_in_food_industry).
3. Jing, Peng, Juming, Tang (2015). *Termichna pasteryzatsiya ovochiv: krytychno* [Thermal pasteurization of vegetables: critical]. *Krytychni ohlyady v haluzi kharchovoyi nauky ta kharchuvannya* [Critical reviews in food science and nutrition], vol. 10, P. 430–440.
4. Ibrahim, M., Ismail, Alaa Fahmy, Ahmed, Azab (2013). *Optyimizatsiya protsesu sterylyzatsiyi konserviv za dopomohoyu doslidzhen' rozpodilu temperatury* [Optimizing the sterilization process of canned food using temperature distribution studies]. *Zhurnal sil's'koho hospodarstva ta veterynariyi* [Journal of agriculture and veterinary science], vol. 6, pp. 26–33.
5. Rizvi, A. F and Tong, C. H. (2018). *Drobove peretvorenniya dlya vyznachennya kinetyky dehradatsiyi tekstury ovochiv* [Fractional conversion for determining texture degradation kinetics of vegetables]. *Zhurnal kharchovoyi nauky* [Journal of food science], vol. 62, pp. 1–7.
6. Maesmans, G., Hendrickx, M., Weng, Z. (2019). *Vyznachennya kintsevoyi tochky, vyznachennya ta otsinka teplovykh protsesiv u konservuvanni kharchovykh produktiv* [Endpoint definition, determination and evaluation of thermal processes in food preservation]. *Bel'hiys'ky zhurnal kharchovoyi khimiyi ta biotekhnolohiyi* [Belgian journal of food chemistry and biotechnology], vol. 45, pp. 179–192.
7. Levenspiel, O. (2016). *Inzheneriya khimichnykh reaktsiy* [Chemical reaction engineering]. New York: USA. 450 p.
8. Boyko, I. V., Petrik, M. R. (2017). *Matematychni modelyuvannya v naukovo-tekhnichnykh doslidzhennyakh* [Mathematical modeling in scientific and technical research]. Ternopil: TNTU, 110 p.
9. Gladushnyak, O. K. (2015). *Tekhnolohichne obladnannya konservnykh zavodiv* [ Technological equipment of canneries]. Kherson, Green Publ., 470 p.
10. Honcharenko, H. M. (2007). *Tekhnolohichne obladnannya konservnykh ta ovochepererobnykh vyrobnystv* [Technological equipment for canning and vegetable processing industries]. Kyiv, Learning center lit., 200 pp.

**Objective.** The purpose of the article is to improve the model of an automated heat treatment system for canned fruit and vegetable raw materials.

**Methods.** In order to improve the model of an automated heat treatment system for a device for preserving fruit and vegetable raw materials, which allows the formation of optimal values of control actions to improve the quality of the initial product with minimal energy and economic costs, statistical methods are used, as well as mathematical methods that describe changes in the texture of the processed raw materials during heat treatment.

**Results.** It is noted that vegetables and fruits are important components for a balanced and healthy diet, they supply the body with minerals and dietary fiber. Substances contained in vegetables, such as flavonoids, phenols and carotenoids, prevent vitamin deficiencies and reduce the risk of developing

*various types of cancer, cardiovascular disease, and diabetes. However, vegetables spoil quickly and need appropriate canning, that is, technology to extend the shelf life while maintaining nutritional and sensory qualities. To preserve fruit and vegetable raw materials, it is necessary to stop the development of microorganisms with the help of heat treatment, which slows down bacterial and enzymatic activity. It is believed that even a mild thermal process tends to cause significant color loss and changes in texture, flavor and potential nutritional value. The focus is that the combination of time and temperature associated with a particular pasteurization process will largely control the chemical, biochemical and microbiological changes that will occur in the food product. Changing the relationship between time and temperature can affect both desirable and undesirable reactions that occur during pasteurization, such as browning of vegetables. The analysis allowed us to assert that among external factors, temperature is the most important factor in ensuring quality in the production and subsequent storage of raw materials. Attention is focused on the fact that production efficiency can be improved with the help of (PCS) and control of the quality indicators of the initial product, which will allow assessing the quality of the initial product of the mass transfer process without installing additional flow analyzers (physical sensors) that require constant calibration. An improved model of an automated heat treatment system for an apparatus for preserving fruit and vegetable raw materials is proposed, which allows the formation of optimal values of control actions to improve the quality of the original product with minimal energy and economic costs.*

**Key words:** *heat treatment, technological processes, canning, automation, fruit and vegetable raw materials, pasteurization, sterilization, blanching.*