

УДК 66.084.8

Ультразвукові технології у виробництві молочних продуктів

Луговський О.Ф.¹, докт. техн. наук; Берник І.М.², докт. техн. наук; Гришко І.А.¹, канд. техн. наук; Желяскова Т.М.¹, канд. техн. наук; Желясков В.П.¹

1 - КПІ ім. Ігоря Сікорського, пр. Берестейський, 37, Київ, 03056, Україна;

2 – Вінницький національний аграрний університет України, вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21000, Україна.

***Анотація.** У даній роботі були розглянуті основні методи первинної обробки молочної сировини, а також проведений порівняльний аналіз цих методів. Була обґрунтована перспектива використання ультразвуку для пастеризації молока за допомогою нетермічних методів, і описано механізм цієї процедури. Також були розглянуті конструктивні особливості та складові частини устаткування для нетермічної обробки молока. У роботі було досліджено вплив різних інтенсивностей ультразвуку та часу дії на органолептичні властивості та поживні якості молочних продуктів. Також був описаний експериментальний метод холодної пастеризації молока з використанням установки з ультразвуковим кавітатором. Наведено приклади використання ультразвуку в поєднанні з термообробкою та проведено порівняльний аналіз різних матриць.*

***Ключові слова:** ультразвук; ультразвукова обробка; кавітація; інактивація; пастеризація; термічна обробка; термозвук; високоінтенсивний ультразвук.*

Вступ. Молоко та молочні продукти залишаються важливим компонентом у харчуванні людей всього світу і їх споживають у достатньо великих кількостях. У деяких країнах зі слаборозвиненою економікою та сільських громадах «сире» молоко все ще споживається, хоча це пов'язано з ризиками для здоров'я. Зараз температурні методи є найбільш ефективними для подовження термінів зберігання молока і знищення патогенної мікрофлори та інактивації ферментів. Проте, високі температурні режими при термічній обробці можуть призводити до втрати біологічно активних компонентів та зниження біологічної цінності продукту. Тому пошуки альтернативних технологій, які б забезпечували якість, безпеку та біологічну цінність молока і уникали несприятливих наслідків термічної обробки, є актуальними. [1, 2].

Постановка проблеми. Молоко містить компоненти, які легко засвоюються організмом і корисні для нашого здоров'я. Крім того, колір молока є важливим для його сприйняття споживачами. Білий колір молока залежить від наявності жирових кульок і міцел казеїну, які розсіюють світло. Проте під час високотемпературної обробки це розсіювання світла може вплинути негативно на якість молока. [2].

Існують способи обробки харчових продуктів, які не вимагають високих температур. Наприклад, можна використовувати високий гідростатичний тиск, імпульсні електричні поля, обробку ультразвуком або ультрафіолетом.

Нові дослідження [3, 4] показують, що ультразвукова обробка може бути заміною традиційної пастеризації, яка базується на використанні тепла. Цей метод може забезпечити більш ефективну знищення мікробів та зменшити негативний вплив на якість харчових продуктів.

Ультразвукова пастеризація - це спосіб обробки без використання високої температури, який допомагає знищити бактерії і ферменти, що псують харчові продукти. Цей метод може бути використаний для пастеризації різних рідких продуктів, таких як молоко, соки та інші напої. Ультразвукова обробка перевершує традиційні методи, оскільки не впливає на поживні властивості та фізичні характеристики продукту. Використання ультразвуку в поєднанні з тиском та підвищеною температурою може покращити якість продукту, зберігаючи його корисні властивості.

Механізм ультразвукової пастеризації. Ультразвук високої інтенсивності створює мікробульбашки газу, які ростуть і сплескуються, що призводить до локальних гарячих точок

та підвищеного тиску.[4, 9, 10]. Ці умови можуть створювати температури до 1000 °С та тиск до 1000 МПа. Колапс бульбашок призводить до випромінювання ударних хвиль, які можуть пошкодити бактеріальні клітини та їх структурні компоненти.[9,10,11]. Один з основних ефектів ультразвукової кавітаційної обробки полягає в зміні властивостей рідини. В результаті механічної дії ультразвуку змінюється в'язкість рідини, що може сприяти зниженню опору руху твердих частинок в рідині та підвищенню їх переміщення. [9, 10, 12].

Технічна реалізація. Можна говорити про ультразвукову кавітаційну обробку молока за допомогою спеціальних ультразвукових установок, які використовуються для створення високочастотних звукових хвиль, що викликають кавітаційні явища в рідині. Такі установки зазвичай складаються з наступних компонентів:

- ультразвуковий генератор;
- перетворювач;
- кавітаційна камера;
- система контролю температури.

Обладнання, використовуване в молочній промисловості, повинно відповідати вимогам функціональності дії та безпечності виробництва молочних харчових продуктів.

Дослід. У пристрої для ультразвукової обробки рідини (Рис.1) була трубчаста конструкція з кавітаційним пристроєм, що був закріплений на зовнішній поверхні трубки. У системі вібраційного приводу використовувався акустичний трансформатор коливальної швидкості, який забезпечував поздовжні коливання. [8].



Рис. 1. Мобільний пристрій для холодної пастеризації та гомогенізації молока

Товщина трубчастої кавітаційної камери вздовж осі обрана меншою, ніж половина довжини хвилі поздовжньо-згинальних коливань в стінці камери. Частота резонансу ультразвукових вібраційних приводів відповідає власній частоті радіальної моди коливань кілець [8].

Дослідження підтвердило, що використання ультразвукової кавітації дозволило зменшити кількість хвороботворних бактерій в молоці на 98,4%. Це доводить ефективність використання цього методу для пастеризації молока.[8].

Аналіз досліджень. Багато науковців з різних країн провели дослідження, щоб вивчити, як ультразвук впливає на системи харчової промисловості. Їхні результати були опубліковані в наукових статтях.

Досліди показали, що розмір часток залежить від параметрів ультразвукової обробки, таких як частота, енергія та тривалість. [13].

Недавні дослідження показали, що застосування ультразвуку разом з термічною обробкою може зменшити кількість бактерій у молоці. [13-16]. Термозвук виявився більш ефективним, ніж ультразвук сам по собі, у покращенні якості та безпеки молока. [13].

Високоінтенсивний ультразвук може також поліпшити виробництво кисломолочних продуктів та збільшити їх поживність, а також знизити вміст лактози. [14]. Ультразвук також здатний скоротити час дозрівання сиру [15] через вивільнення внутрішньоклітинних ферментів, прискорення руйнування білкової структури, покращення текстурних та органолептичних властивостей та поживних характеристик сиру [17].

На рис. 2 представлено результати експерименту з ультразвуковою обробкою 500 мл молока впродовж 10 хв за різних температур [4]. Найкращий результат було досягнуто за температури 55-70°C, що виявилось з найбільшим відсотком утворення жирових кульок з розміром меншим за 2 мкм.

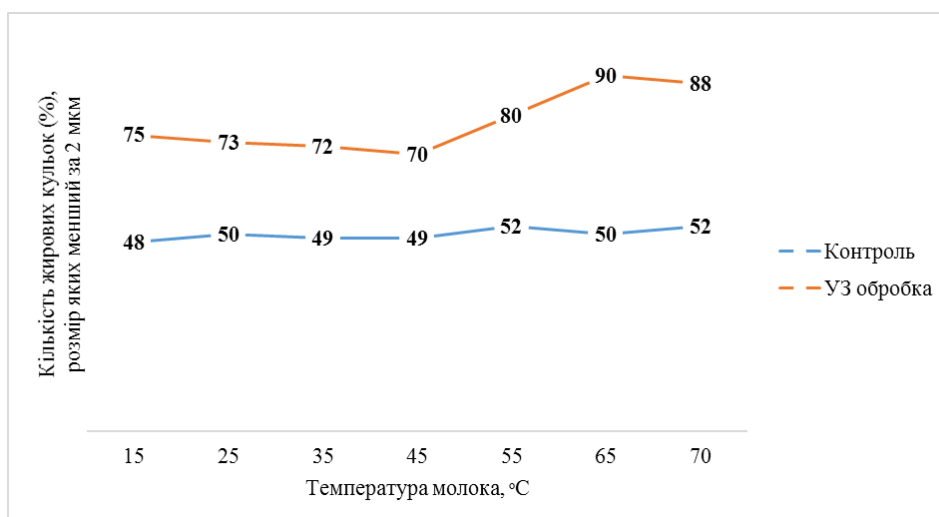


Рис. 2. Експериментальні дані УЗ обробки молока

Під час ультразвукової обробки молока вітамін С зберігається майже без змін [4], а пастеризація паром або інфрачервоним випромінюванням знижує його концентрацію. При кип'ятінні вітамін С повністю руйнується. Ультразвукова обробка не тільки зберігає корисні властивості молока, але й стерилізує його [4].

Висновки. Ультразвукова технологія використовується у харчовій промисловості для збереження, обробки та вилучення продуктів харчування. Це економічно та ефективно, зменшує втрати і забруднення продуктів. Пастеризація є ефективним методом збереження свіжості молока та інших рідких продуктів. Ультразвукова обробка в поєднанні з пастеризацією може знизити кількість мікробів у продуктах, зберігаючи при цьому їх якість. Однак, потрібна подальша оцінка впливу ультразвукової обробки на мікроорганізми, які спричиняють псування продуктів.

Список літератури

1. Daniela Bermúdez-Aguirre, Maria G. Corradini, Raymond Mawson, Gustavo V. Barbosa-Cánovas, Modeling the inactivation of *Listeria innocua* in raw whole milk treated under thermo-sonication, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Volume 10, Issue 2, Pages 172-178, 2009. ISSN 1466-8564, <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.11.005>.
2. Берник І. М., Новгородська Н. В., Соломон А. М., Овсієнко С. М., Бондар М. М. Інноваційні технології харчових виробництв: монографія. Вінниця: Видавець ФОП Кушнір Ю. В., 2022. 300 с. <http://repository.vsau.org/getfile.php/32594.pdf>.
3. Cameron, M., McMaster, L.D. & Britz, T.J. Impact of ultrasound on dairy spoilage microbes and milk components. *Dairy Sci. Technol.* 89, 83–98, 2009. <https://doi.org/10.1051/dst/2008037>.
4. Луговський О. Ф., Мовчанюк А. В., Берник І. М., Шульга А. В., Гришко І. А. Апаратне забезпечення ультразвукових кавітаційних технологій: монографія. Вінниця: ФОП Кушнір Ю.В., 2021. 216 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/44220>

5. Som Nath Khanal, Sanjeev Anand, Kasiviswanathan Muthukumarappan, Megan Huegli, Inactivation of thermotolerant aerobic sporeformers in milk by ultrasonication, *Food Control*, Volume 37, Pages 232-239, 2014, ISSN 0956-7135, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.09.022>
6. Balasubramanian Ganesan, Silvana Martini, Jonathan Solorio, Marie K. Walsh, "Determining the Effects of High Intensity Ultrasound on the Reduction of Microbes in Milk and Orange Juice Using Response Surface Methodology", *International Journal of Food Science*, vol. 2015, Article ID 350719, 7 pages, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/350719>
7. Z. M. Baboli, L. Williams, and G. Chen, "Rapid Pasteurization of Apple Juice Using a New Ultrasonic Reactor," *Foods*, vol. 9, no. 6, p. 801, Jun. 2020, <https://doi.org/10.3390/foods9060801>
8. Пат. 92987 Україна, МПК (2009): C02F 1/36 (2006.01), C02F 1/48, B 01D 19/00, A61L 2/02/ Пристрій для кавітаційної обробки рідини / О.Ф. Луговський, І.А. Гришко, А.В. Мовчанюк; заявник і патентовласник Луговський О.Ф., Гришко І.А., Мовчанюк А.В.- № а200909283; заявл. 09,09,2009, опубл. 27.12.2010, Бюл. №24.
9. Дж. Чандрапала, К. Олівер, С. Кентіш і М. Ашоккумар, «Ультразвук у харчовій промисловості — забезпечення якості харчових продуктів і безпека харчових продуктів», *Тенденції в харчовій науці та технології*, том. 26, вип. 2012. – С. 88–98.
10. Дж. Чандрапала, К. Олівер, С. Кентіш і М. Ашоккумар, «Ультразвук у харчовій промисловості», *Ультразвук Sonochemistry*, том. 19, № 5, стор. 975–983, 2012.
11. Луговський О. Ф., Гришко І. А., Зілінський А. І., Шульга А. В., Мовчанюк А. В., Берник І. М. Ультразвукові кавітаційні технології. Знезараження та фільтрування: монографія. Вінниця: Видавець ФОП Кушнір Ю.В., 2022. 268 с.
12. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/47461/1/Ultrazvukovi_kavitatsiini_tekhnologii_Znezarazhennia_filtrovanni_a.pdf
13. Луговський О. Ф., Шульга А. В., Берник І. М., Гришко І. А., Мовчанюк А. В., Зілінський А. І. Ультразвукові технологічні процеси. Розпилення та екстрагування: монографія. Вінниця: Видавець ФОП Кушнір Ю.В., 2022. 288 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47459>
14. Д. Бермудес-Агірре, М. Г. Коррадіні, Р. Моусон і Г. В. Барбоза-Кановас, «Моделювання інактивації *Listeria innocua* у сирому цільному молоці, обробленому термозвуковою обробкою», *Інноваційна наука про харчові продукти та нові технології*, том . 10, № 2, стор. 172–178, 2009
15. D. Bermudez-Aguirre, R. Mawson, K. Versteeg і GV Barbosa-Canovas, «Composition properties, physicochemical characteristics and shelf life of whole milk after thermal and thermo-sonication treatments», *Journal of Food Quality*, vol. 32, no. 3, p. 283–302, 2009, <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2009.00250.x>
16. Л. М. Крижак, «Ультразвукові технології у харчовій промисловості», *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Вип. 12, Т. 1, 16 с., 2022. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2022-1-19>
17. О. С. Яремчук, Н. В. Новгородська, «Використання ультразвуку у виробництві ферментованих кисломолочних продуктів», *Вібрації в техніці та технологіях*. № 4 (103), С. 90–98, 2021. <http://socrates.vsau.edu.ua/repository/getfile.php/30629.pdf>
18. В. П. Хорольський, Ю.М. Коренець, А. В. Артановський, О.О. Островчук «Ультразвуковые технологии в системе интеллектуального управления производством сыра», *Обладнання та технології харчових виробництв*, 1(38). с. 67-78, 2019. ISSN 2079-4827
19. V. Akdeniz & A.S. Akalin «New approach for yoghurt and ice cream production: High-intensity ultrasound», *Trends in Food Science & Technology*, vol.86, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.046>.

Ultrasonic technologies in the production of dairy products

Luhovskyi Oleksandr, Bernyk Iryna, Gryshko Inor, Zheliaskova Tetiana, Zheliaskov Viacheslav

Abstract. This work discusses the main methods of primary processing of milk raw materials and provides a comparative analysis of these methods. The prospect of using ultrasound for milk pasteurization using non-thermal methods is justified, and the mechanism of this procedure is described. The structural features and components of equipment for non-thermal processing of milk are also considered. The impact of different ultrasound intensities and exposure times on the sensory properties and nutritional qualities of milk products is investigated. An experimental method of cold pasteurization of milk using an ultrasonic cavitation setup is described. Examples of ultrasound combined with heat treatment are provided, and a comparative analysis of different matrices is conducted.

Keywords: ultrasound; ultrasound processing; cavitation; inactivation; pasteurization; thermal processing; thermosonication; high-intensity ultrasound.