

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-1-14>

УДК 637.134

С. В. Кюрчев, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0001-6512-8118

К. О. Самойчук, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-3423-3510

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: kyrylo.samoichuk@tsatu.edu.ua

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА МОЛОЧНИХ ВЕРШКІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СТРУМИННОГО ТА ПУЛЬСАЦІЙНОГО ГОМОГЕНІЗАТОРІВ

Анотація. З метою підвищення енергоефективності процесів виготовлення питних вершків потрібно вирішити питання значних енерговитрат на етапі гомогенізації. Для цього запропоновано застосування струминних і пульсаційних гомогенізаторів, що відзначаються високою енергоефективністю. Проте для їх впровадження на виробництві необхідним є коригування наявної технологічної схеми виготовлення питних вершків і проведення експериментальної оцінки її ефективності. Проектування технологічних схем виготовлення молочних вершків із використанням запропонованих гомогенізаторів повинно передбачати визначення оптимальних режимних і технологічних параметрів функціонування кожного типу гомогенізатора. Для розробки технології переробки молока із застосуванням цих двох видів гомогенізаторів важливо встановити взаємозв'язок між режимами роботи клапанних гомогенізаторів і ключовими параметрами нових пристроїв. Контроль якості отриманого молока здійснювався відповідно до основних показників, визначених чинними стандартами, і підтвердив повну відповідність продукції сучасним вимогам до харчових виробів.

Ключові слова: технологія, гомогенізація, технологічна схема, молочні вершки, пульсаційний гомогенізатор, струминний гомогенізатор.

Постановка проблеми. Однією з актуальних проблем молочної переробної галузі, зокрема у виробництві питного молока, є значні енергетичні витрати на одиницю готової продукції. Встановлено, що серед технологічних операцій у виробництві питного молока найбільш енерговитратними є процеси пастеризації (стерилізації) та гомогенізації [1, 2]. При цьому коефіцієнт подрібнення жирових кульок молока під час гомогенізації не перевищує 1 %, що свідчить про вкрай низьку ефективність диспергування молочного жиру в сучасних клапанних гомогенізаторах [3, 4].

Для розв'язання цієї проблеми розроблено два нові типи гомогенізаторів: струминний та пульсаційний [5, 6]. Принцип їхньої роботи детально описаний у дослідженнях [7–9]. Використання цих пристроїв замість клапанних гомогенізаторів дає змогу знизити собівартість виробництва широкого асортименту молочної продукції, підвищити її конкурентоспроможність, наростити обсяги виробництва та, відповідно, збільшити валовий національний продукт України [4, 5]. Застосування нових гомогенізаторів дає можливість скоротити енергоспоживання у виробництві питного молока на 20–40 %, зменшити собівартість готової продукції на 5–15 %, що сприятиме підвищенню конкурентоспроможності вітчизняної молочної промисловості та продовольчої безпеки країни [6, 7].

Для України зниження собівартості продукції має особливе значення в контексті міжнародних угод щодо відкриття азійського ринку для української молочної продукції. Ці переваги сприяють підвищенню відповідності українських продуктів міжнародним стандартам на 25–30 % [8, 9].



Для успішного впровадження розроблених енергоефективних струминних і пульсаційних гомогенізаторів потрібно створити відповідні технологічні схеми, що міститимуть визначення режимних параметрів роботи кожного типу пристрою. Це забезпечить їхню ефективну інтеграцію у наявні виробничі процеси молочної промисловості.

Аналіз останніх досліджень. Вершки питні – це концентрована жирова частина молока, що отримується шляхом сепарування. Залежно від масової частки жиру вершки можуть містити від 10 до 58 % жиру [10, 11].

У пастеризованих вершках, розфасованих у споживчу тару, не допускається наявність БГКП у 0,01 р. Стерилізовані вершки у споживчій тарі мають відповідати вимогам промислової стерильності [12].

Для виробництва питних вершків використовують незбиране молоко не нижче 1-го сорту відповідно до чинного стандарту на молоко-сировину, кислотністю не вище за 18 °Т. Вершки першого та другого сорту повинні мати кислотність 14 °Т за жирності 32–37 % для першого сорту та 17 °Т для другого сорту.

Крім того, у виробництві питних вершків застосовують сухе незбиране молоко, знежирене сухе молоко, сухі вершки, несолене вершкове масло, вітаміни, вітамінні й полівітамінні премікси, пробіотичні речовини, мікро- та макроелементи, а також питну воду [13].

Для виробництва УВТ-оброблених і стерилізованих вершків використовується сухе незбиране молоко вищого сорту, з кислотністю у відновленому стані не більше ніж 18 °Т і термостійкістю не нижче 2-ї групи за алкогольною пробою [14].

Молоко незбиране для стерилізованих вершків та вершків УВТ-оброблених повинно містити не більше ніж 500 тис./см³ соматичних клітин. З метою збереження якості стерилізованих вершків допускається застосування солей-стабілізаторів у вигляді лимоннокислого або фосфорнокислого натрію та калію.

Для виготовлення продукції дозволяється використання сировини як вітчизняного, так і імпортного виробництва за умови відповідності стандартним вимогам якості та безпеки [15, 16].

Технологічний процес виробництва вершків має такі етапи: оцінка якості та приймання молока, очищення, охолодження, резервування, сепарування молока для отримання вершків, нормалізація за вмістом жиру, гомогенізація, пастеризація, охолодження, фасування та зберігання (рис. 1).

У сучасних технологічних лініях виробництва питних вершків найбільш розповсюдженими є клапанні гомогенізатори, для яких у класичних технологічних схемах зазначають режими гомогенізації. Дані для клапанних типів машин наведені в табл. 1 [17, 18].

Таким чином, із застосуванням клапанних гомогенізаторів у виробничих лініях вершків потрібно забезпечувати тиск до 17 МПа, що призводить до значних питомих енерговитрат – до 7 кВт·год/т. Це суттєво збільшує загальні енерговитрати на виробництво одиниці продукції, а отже, її собівартість [19, 20].

Для створення оновленої, скоригованої, технології виробництва питних вершків із застосуванням нових типів гомогенізаторів (струминного та пульсаційного) замість клапанного потрібно визначити послідовність технологічних процесів та їхні режимні параметри [21, 22]. Це сприятиме впровадженню більш ефективних гомогенізаторів у молочне виробництво, спрощенню їхньої інтеграції у наявні технологічні лінії підприємств.

Формулювання мети дослідження. Основною метою цієї статті є розробка нової технології виробництва питних вершків із застосуванням струминного та пульсаційного гомогенізаторів.

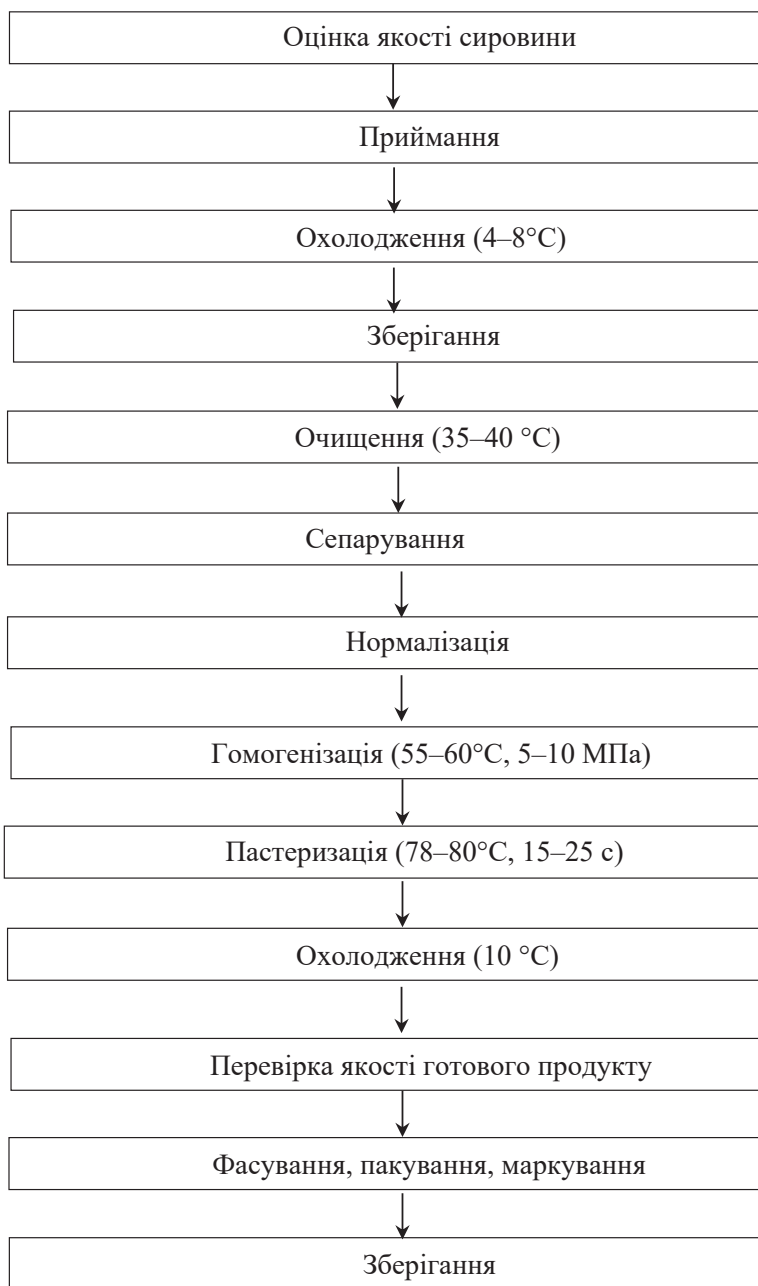


Рис. 1. Класична технологія виробництва питних вершків

Таблиця 1

Режими клапанної гомогенізації

Найменування продукту	Тиск, МПа	Температура, °C
1. Вершки пастеризовані з масовою часткою жиру Ж = (8, 10, 20, 35) %;	5,0...10,0	55...60
2. Вершки стерилізовані з масовою часткою жиру Ж > 10 %	11,0...17,0	135

Для реалізації поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

– визначити послідовність технологічних етапів виробництва питних вершків із використанням струминного та пульсаційного гомогенізаторів;

– встановити режимні параметри основних технологічних операцій у процесі виробництва питних вершків із застосуванням нових гомогенізаторів;

– виготовити експериментальні партії питного молока за розробленими технологічними схемами та провести оцінку відповідності їхньої якості чинним в Україні стандартам.

Основна частина. Технологічний процес виробництва питних вершків із використанням розроблених гомогенізаторів матиме такі етапи (рис. 2, 3): оцінку якості та приймання молока, очищення, охолодження, резервування, сепарування для отримання вершків, нормалізацію за вмістом жиру, гомогенізацію, пастеризацію, охолодження, фасування та зберігання.

Випробування якості питних вершків, виготовленого за розробленою технологією з використанням нових типів гомогенізаторів відбувалося відповідно до табл. 2.

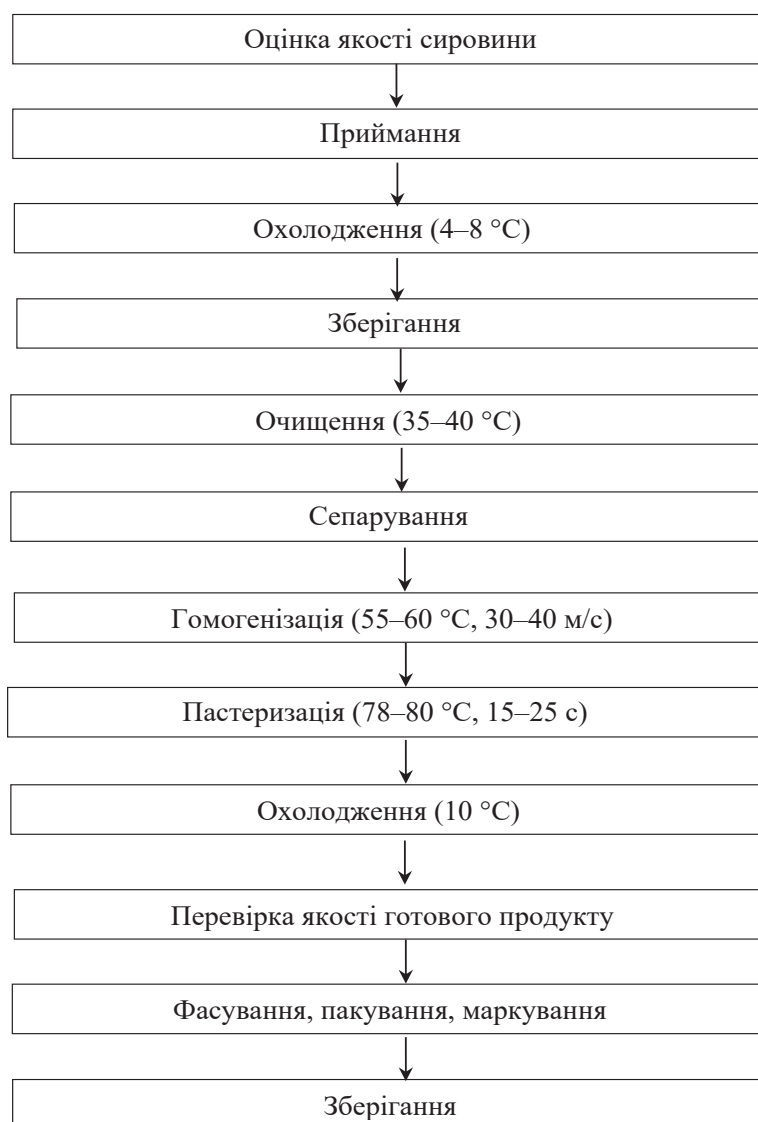


Рис. 2. Технологічні процеси виробництва питних вершків за використання струминного гомогенізатора

Питні вершки виготовлялися відповідно до опису та вимог, наведених вище. Сировиною для виготовлення продуктів було молоко коров'яче за ДСТУ 3662:2018 «Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови» жирністю не менше за 3,5 % [23, 24].

Таблиця 2

Показники випробування якості виготовлених питних вершків

Показник	Найменування стандарту
1. Зовнішній вигляд та консистенція	ДСТУ 7519:2014
2. Смак і запах	ДСТУ 7519:2014
3. Колір	ДСТУ 7519:2014
4. Масова частка загального жиру, %	ДСТУ ISO 2450:2007
5. Титрована кислотність, °Т	ГОСТ 3624
6. Густина, кг/м ³	ДСТУ 6082:2009
7. Кількість мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів (кМАФАнМ)	ДСТУ 7357:2013
8. Бактерії групи кишкових паличок (БГКП), колі форми	ДСТУ 7357:2013, ДСТУ IDF 73A:2003
9. Патогенні мікроорганізми, зокрема Salmonella	ДСТУ IDF 93A:2003
10. Staphylococcus aureus	ГОСТ 30347-97

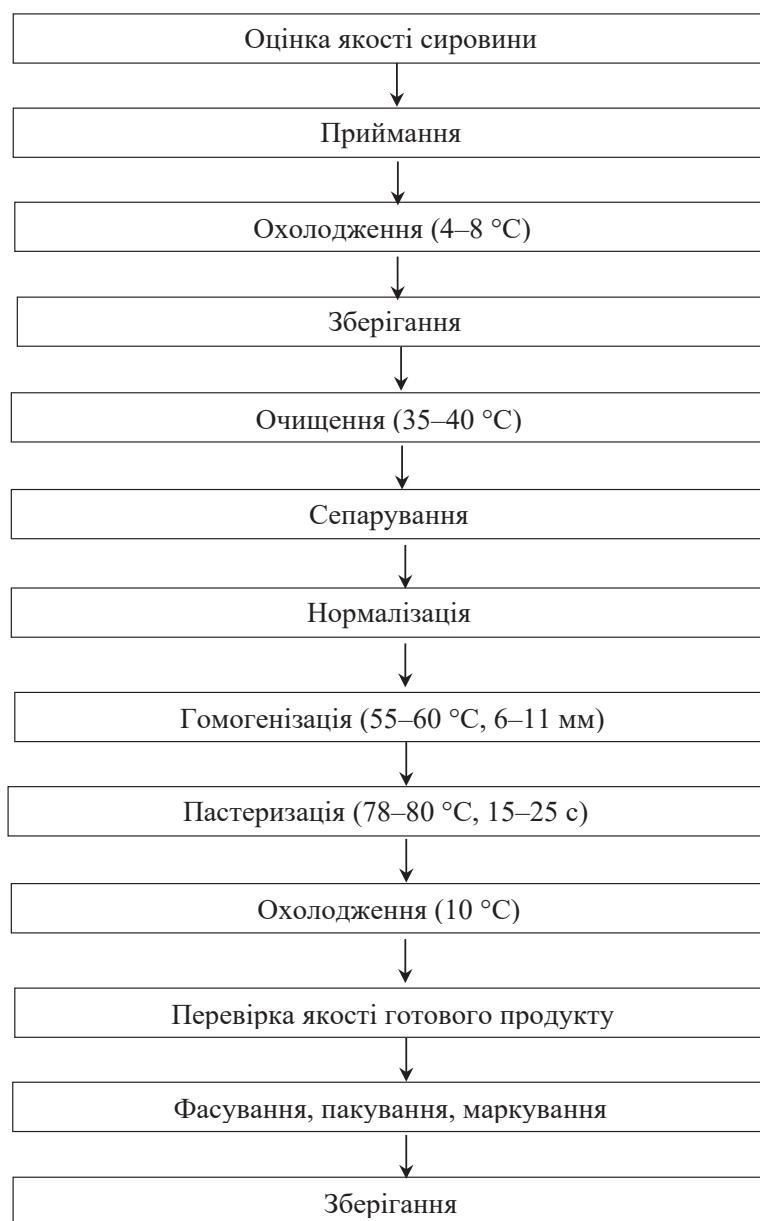


Рис. 3. Технологічні процеси виробництва питних вершків за використання пульсаційного гомогенізатора

З молока-сировини було виготовлено по 9 зразків питного молока в трьох партіях (табл. 3).

Таблиця 3

Характеристика виробленого питного молока

Найменування	1-ша партія	2-га партія	3-тя партія	Усього
Об'єм молока, л	50	50	50	150
Об'єм виготовленого продукту, л	17,5	17,5	17,5	
Кількість зразків	3	3	3	9
Об'єм одного зразка, л	5,5	5,5	5,5	
Об'єм переданого продукту, л	16,5	16,5	16,5	49,5
Об'єм аналізованого продукту, л	16,5	16,5	16,5	49,5

За результатами аналізів, проведених у відділі аналітичних досліджень та якості харчової продукції Інституту продовольчих ресурсів НААН України, встановлено, що за органолептичними показниками: зовнішнім виглядом і консистенцією, смаком, запахом і кольором – виготовлене питне молоко повністю відповідає нормам.

За фізико-хімічними та мікробіологічними показниками – результати зведені в табл. 4.

Таблиця 4

Фізико-хімічні та мікробіологічні показники виготовленого питного молока

Показник	Значення за зразками								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Жир, %	9,95	10,03	9,97	10,05	10,12	10,17	9,95	9,9	10,01
Кислотність, °	19	19	19	19	19	19	18	18	19
Густина, кг/м ³	1015	1015	1014	1014	1014	1013	1015	1014	1015
Мезофільні мікроорганізми (кМАФАнМ)	2·10 ³	2·10 ³	2·10 ³	1·10 ³	1·10 ³	1·10 ³	2·10 ³	2·10 ³	2·10 ³

Ось перефразований текст зі збереженням обсягу:

Бактерії та мікроорганізми, вміст яких не допускається чинними стандартами, у виготовлених партіях продукту виявлені не були.

Окрему увагу приділено стабільності жирності вершків, нормалізація яких здійснювалася за допомогою струминного гомогенізатора. Відхилення цього показника не перевищували межі +0,17–0,1 %, що свідчить про високу точність процесу нормалізації.

Таким чином, отримані питні вершки повністю відповідають чинним нормам і стандартам та можуть бути рекомендовані для впровадження у виробництво.

Висновки. Проведено аналіз застосування гомогенізації в сучасних технологічних схемах виробництва питних вершків ті розглянуто режими традиційної клапанної гомогенізації. Описано класичну технологію виготовлення питних вершків, на основі якої розроблено дві нові технології виробництва питного молока із використанням струминного та пульсаційного гомогенізаторів замість клапанного з урахуванням оптимальних режимів гомогенізації.

Було виготовлено партії молочної продукції із застосуванням розроблених гомогенізаторів. Випробування якості цих партій проведено у відділі аналітичних досліджень та оцінки якості харчових продуктів Інституту продовольчих ресурсів НААН України. Результати досліджень показали, що всі показники якості отриманого продукту із використанням новітніх гомогенізаторів повністю відповідають чинним стандартам.

Список використаних джерел

1. Rayner M., Dejmek P. Engineering Aspects of Emulsification and Homogenization in the Food Industry; CRC Press, Taylor & Francis Group 322. 2015. ISBN 9781466580435. DOI: 10.1201/b18436.
2. Håkansson A., Fuchs L., Innings F., Revstedt J., Trägårdh C., Bergenstahl B. Velocity measurements of turbulent two-phase flow in a high-pressure homogenizer model. *Chem. Eng. Commun.* 2013. Vol. 200. P. 93–114. <https://doi.org/10.1080/00986445.2012.691921>.
3. Yong A., Islam M., Hasan N. The Effect of pH and High-Pressure Homogenization on Droplet Size. *Sigma J. Eng. Nat. Sci.* 2017. Vol. 35. P. 1–22. <https://doi.org/10.26776/IJEMM.02.04.2017.05>.
4. Wang X., Wang Y., Li F., Li L., Ge X., Zhang S., Qiu T. Scale-up of microreactor: Effects of hydrodynamic diameter on liquid–liquid flow and mass transfer. *Chem. Eng. Sci.* 2020, Vol. 226. P. 115838. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115838>.
5. Liao Y., Lucas D.A. Literature review of theoretical models for drop and bubble breakup in turbulent dispersions. *Chem. Eng. Sci.* 2009. Vol. 64. P. 3389–3406. DOI: 10.1016/J.CES.2009.04.026.
6. Postelmans A., Aernouts B., Jordens J., Van Gerven T., Saeys W. Milk homogenization monitoring: Fat globule size estimation from scattering spectra of milk. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2020. Vol. 60. P. 102311. DOI: 10.1016/j.ifset.2020.102311.
7. Valencia-Flores D., Hernández-Herrero M., Guamis B., Ferragut V. Comparing the Effects of Ultra-High-Pressure Homogenization and Conventional Thermal Treatments on the Microbiological, Phys, and Chem Quality of Almond Beverages. *J. Food Sci.* 2013, Vol. 78. P. 199–205. <https://doi.org/10.1111/17503841.12029>.
8. Ковальов О. О., Самойчук К. О., Фучаджи Н. О. Методологія дослідження параметрів струминних гомогенізаторів молока. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2013. Вип. 13. Т. 1. С. 15. DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-15.
9. Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ломейко О. П. Розробка технології виробництва питного молока із застосуванням струминного та пульсаційного гомогенізаторів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. Том 14, № 2. С. 10. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-2-10>.
10. Самойчук К. О., Ковальов О. О. Розробка лабораторного зразка струминного гомогенізатору з роздільною подачею вершків. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : зб. наук. праць*. Мелітополь : ТДАТУ, 2011. Вип. 11. Т. 6. С. 77–83.
11. Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ялпачик В. Ф. Розробка експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора молока. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання / ТДАТУ*; гол. ред. д-р техн. наук, проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. Вип. 23, т. 1.
12. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Івженко А. О., Левченко Л. В. Аналіз конструкцій гомогенізаторів молочної промисловості. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : зб. наук. праць*. Мелітополь : ТДАТУ, 2016. Вип. 16. Т. 1. С. 9–15.
13. Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ломейко О. П. Визначення параметрів струминного та пульсаційного гомогенізаторів молока при їх промисловому застосуванні. *Праці ТДАТУ*. 2024. Вип. 24. Т. 1. С. 53–62. DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-1-3.
14. Самойчук К. О., Ковальов О. О. Експериментальні дослідження струминного гомогенізатора з роздільним подаванням жирової фази. *Обладнання та технології харчових виробництв : зб. наук. праць. Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського*. Донецьк : ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського, 2012. Вип. 28. С. 42–46.
15. Samoichuk K., Yalpachyk V., Kholobtseva I., Dmytrevskiy D., Chervonyi V. Design Improvement of the Rotary-Pulsation Device by Resonance Phenomena. In: Ivanov V., Pavlenko I., Edl M., Machado J., Xu J. (eds.). *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. DSMIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2024. P. 74–83.
16. Самойчук К. О., Бойко В. С., Олексієнко В. О., Петриченко С. В., Тарасенко В. Г., Паляничка Н. О., Верхоланцева В. О., Ковальов О. О., Задосна Н. О. Основи розрахунку та конструювання обладнання переробних і харчових виробництв : підручник. Київ : ПроФКнига, 2020. 428 с.
17. Самойчук К. О., Ковальов О. О., Султанова В. О. Якість та енергетична ефективність процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : зб. наук. праць*. Мелітополь : ТДАТУ, 2015. Вип. 15. Т. 1. С. 240–248.
18. Wang X., Wang Y., Li F., Li L., Ge X., Zhang S., Qiu T. Scale-up of microreactor: Effects of hydrodynamic diameter on liquid–liquid flow and mass transfer. *Chem. Eng. Sci.* 2020. Vol. 226. P. 115838. DOI: 10.1016/j.ces.2020.115838.



19. Morales J., Watts A., McConville J. Mechanical particle-size reduction techniques. *AAPS Adv. Pharm. Sci.* 2016. Vol. 22. P. 165–213. DOI: 10.1007/978-3-319-42609-9_4.
20. Ялпачик В. Ф., Загорко Н. П., Паляничка Н. О., Буденко С. Ф., Самойчук К. О., Кюрчев С. В., Верховланцева В. О., Олексієнко В. О., Циб В. Г. Технологічне обладнання для переробки продукції тваринництва : лабораторний практикум. Мелітополь : Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. 274 с.
21. Acharyaa S., Mishrab V., Patelc J. Enhancing the mixing process of two miscible fluids: A review. *AIP Conference Proceedings*. 2021. Vol. 2341. P. 030025. <https://doi.org/10.1063/5.0051818>.
22. Ciron C., Gee V., Kelly A., Auty M. Comparison of the effects of high-pressure microfluidization and conventional homogenization of milk on particle size, water retention and texture of non-fat and low-fat yoghurts. *Int. Dairy J.* 2010. Vol. 20. P. 314–320. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.11.018>.
23. Dhankhar P. Homogenization fundamentals. *IOSR J. Eng.* 2014. Vol. 4. P. 1–8. <https://doi.org/10.9790/3021-04540108>.
24. Huppertz T. Homogenization of Milk Other Types of Homogenizer (High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification). In *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 2nd ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2011. P. 761–764. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00226-0>.

Дослідження виконано в рамках науково-технічної роботи «Розроблення технології переробки молочних продуктів з використанням нових типів гомогенізаторів», яка фінансувалась МОН за договором № ДЗ/132 – 2022.

Стаття надійшла до редакції 26.03.2025 р.

S. Kiurchev, K. Samoichuk
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

DEVELOPMENT OF DRINKING CREAM PRODUCTION TECHNOLOGY USING STREAM AND PULSATION HOMOGENIZERS

Summary

To increase the energy efficiency of production processes for the production of drinking cream, it is necessary to solve the issue of significant energy costs for homogenization. For this purpose, the use of energy-saving stream and pulsation homogenizers is proposed. However, before their implementation at enterprises, it is important to adjust the existing technological scheme for the production of cream and experimentally confirm its effectiveness. The main task of this work is to develop an updated technology for the production of drinking cream using stream and pulsation homogenizers. To achieve this goal, the work defines the procedure for performing technological operations in the production of drinking cream using the proposed homogenizers, and also establishes the corresponding operating parameters of these processes. The main stages of the technological scheme for the production of drinking cream include: quality control of raw materials, milk reception, cooling, storage, cleaning, homogenization, pasteurization, further cooling, control of finished products, packaging, labeling and storage. Batches of drinking cream were manufactured in accordance with the developed technological schemes and checked for compliance of their characteristics with current state standards. Dairy products were produced using the latest homogenizers.

According to the results of research conducted in the Department of Analytical Control and Quality Assessment of Food Products of the Institute of Food Resources of the National Academy of Sciences of Ukraine, it had been established that the organoleptic characteristics, such as appearance, consistency, taste, smell and color, of the obtained drinking cream fully comply with regulatory requirements. The tests did not reveal bacteria and microorganisms, the presence of which is not allowed by current standards. Special attention was paid to the stability of milk fat content, the normalization of which was carried out using a stream homogenizer. Deviations of this indicator did not exceed ± 0.17 – 0.1% , which indicates high accuracy of normalization. Thus, drinking cream obtained using this technology fully comply with current regulatory requirements and can be recommended for industrial production.

Keywords: technology, homogenization, technological scheme, dairy cream, pulsation homogenizer, stream homogenizer.