

**DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-10**

УДК 637.134

С. В. Кюрчев, д.т.н.,

ORCID: 0000-0001-6512-8118

К. О. Самойчук, д.т.н.,

ORCID: 0000-0002-3423-3510

О. П. Ломейко, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-7407-545X

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: kurylo.samoichuk@tsatu.edu.ua, тел.: +380978805485

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПИТНОГО МОЛОКА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СТРУМИННОГО ТА ПУЛЬСАЦІЙНОГО ГОМОГЕНІЗАТОРІВ

Анотація. Для підвищення енергоефективності процесів виробництва питного молока необхідно вирішити проблему високих енерговитрат на процес гомогенізації. Для цього запропоновано впровадження енергоефективних струминних та пульсаційних гомогенізаторів. Але для їх використання підприємствами важливим етапом є коригування існуючої технологічної схеми виробництва молока та перевірка її ефективності експериментальним шляхом. Розробка технологічних схем виробництва питного молока із застосуванням розроблених гомогенізаторів повинна включати вибір режимних і технологічних параметрів роботи кожного типу гомогенізатора. Для того, щоб розробити технологію переробки молока з використанням цих двох гомогенізаторів, необхідно встановити взаємозв'язок між режимами роботи клапанних гомогенізаторів та основними параметрами нових гомогенізаторів. Перевірка якості виробленого молока здійснювалась за основними показниками, які передбачають діючі стандарти та показала повну відповідність виробленого харчового продукту сучасним вимогам.

Ключові слова: гомогенізація, питне молоко, струминний гомогенізатор, пульсаційний гомогенізатор, технологія, технологічна схема.

Постановка проблеми. Актуальною проблемою молочної переробної промисловості, зокрема виробництва питного молока є високі енергетичні витрати на одиницю готового продукту. Відомо, що серед технологічних операцій виробництва питного молока найбільш енергоємними є пастеризація (стерилізація) та гомогенізація [1, 2]. Причому технологічний коефіцієнт подрібнення жирових кульок молока, що відбувається при гомогенізації, є меншим за 1%, тобто свідчить про вкрай неефективне організацію диспергування молочного жиру в сучасних найбільш використовуваних клапанних гомогенізаторах [3, 4].

Для вирішення цієї проблеми розроблені два типи гомогенізаторів: струминний та пульсаційний [5, 6]. Принцип їх дії



докладно описаний в роботах [7 - 9]. Їх використання замість клапанних дозволить знизити собівартість виробництва широкого асортименту продукції, підвищити конкурентоспроможність продуктів, що виробляються в нашій країні, збільшити їх випуск і, в свою чергу, збільшити валовий національний продукт України в цілому [4, 5]. Результати роботи необхідні для зменшення енерговитрат виробництва питного молока на 20-40%, зниження собівартості готової продукції (на 5-15%) та підвищення конкурентоспроможності вітчизняної промисловості і продовольчої безпеки України [6, 7].

Для нашої країни зниження собівартості готової продукції є особливо важливим в контексті підписання міжнародних угод про відкриття азійського ринку для української продукції. Ці переваги підвищують відповідність нашої продукції міжнародним стандартам на 25-30% [8, 9].

Для впровадження розроблених ефективних струминних та пульсаційних гомогенізаторів необхідно розробити технологію та технологічні схеми з вказанням режимних параметрів для кожного типу гомогенізатора їх використання у виробництві для легкої їх імплементації в існуючі виробництва.

Аналіз останніх досліджень. Загально прийнята технологія виробництва питного молока виглядає таким чином (рис. 1) [10-12]. Молоко, що надходить на завод, зберігається у ємностях від 10 000 кг і більше. За температури 4 °С молоко може зберігатися до 24 год. Зберігання молока понад 24 год не рекомендується через те, що можуть змінитися його показники. Прийняте молоко проходить обробку, під час якої воно спочатку очищується від механічних домішок на фільтрах або в сепараторах-молокоочисниках, а потім охолоджується до 4 – 6 °С в охолоджувачах і насосами по трубах подається в ємкості для зберігання.

Питне молоко має відповідати вимогам ДСТУ 2661:2010, які затверджені і введені в дію наказом Держстандарту України № № 456 від 11 жовтня 2010 р.

При виробництві пастеризованого молока, згідно з ДСТУ 2661:2010, використовуються також наповнювачі, серед яких – какао і кава. Згідно зі стандартом, молоко з наповнювачами випускається із вмістом жиру 1,0 або 3,2 %.

Під час приймання молока його пропускають крізь фільтр, а потім – через насос, повітровідкремлювач та лічильник у резервуар проміжного зберігання [13, 14]. За потреби молоко охолоджують на пластинчастих охолоджувачах. Насосом його спрямовують у резервуар для нормалізації за вмістом жиру.

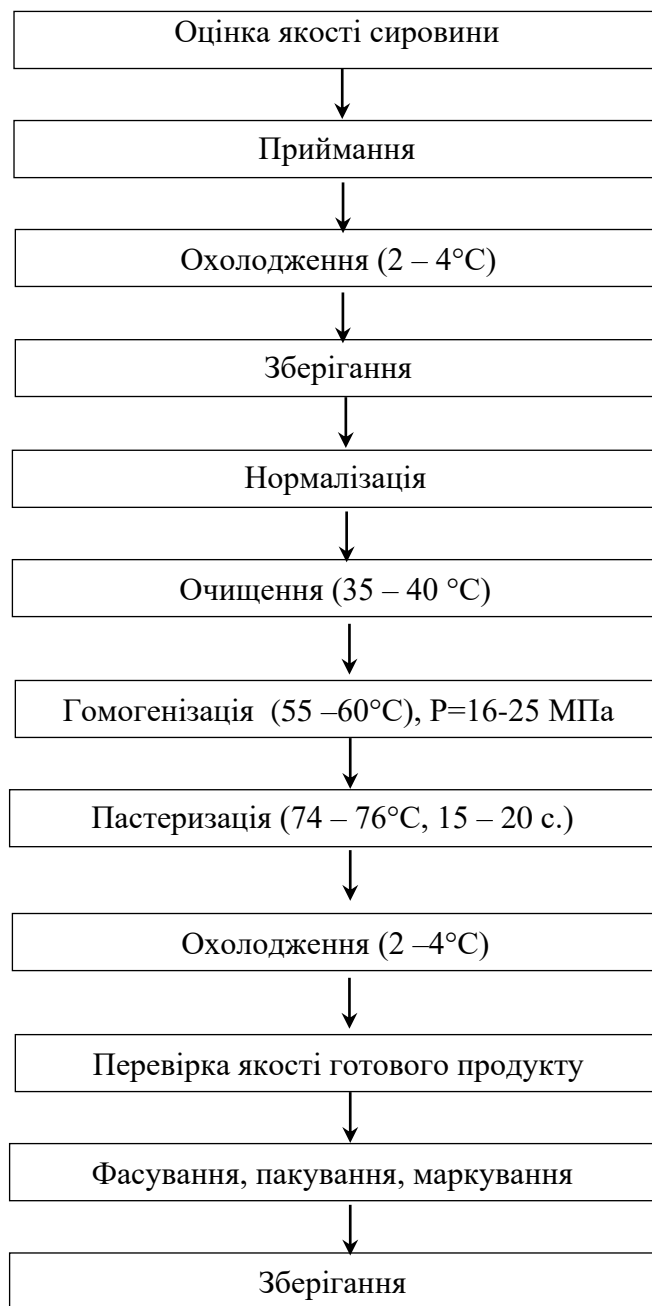


Рис. 1. Класична технологія виробництва питного молока

Нормалізована суміш через насос потрапляє у вирівнювальний бак потім – у пластинчастий теплообмінник, де пастеризується за температури 74 – 76 °С, витримується протягом 15 – 20 с або 85 °С без витримування, або 65 °С з витримування 30 хв і охолоджується до 6 °С та спрямовується на розливання фасування [15, 16].

Найбільш розповсюдженим на виробництві є клапанний тип гомогенізаторів для яких в класичних технологічних схемах приводять режими гомогенізації для типових технологічних схем виробництва харчової (в т.ч. молочної) продукції. Ці дані наведені в таблиці 1 [2, 17, 18].



Таблиця 1

Найменування продукту	Тиск, МПа	Температура, °С
1. Молоко пастеризоване з масовою часткою жиру 3,5...6,0%;		
- вітамінізоване відновлене білкове;	12,5...15,0	62...63
- вітамінізоване відновлене білкове з наповнювачами;	12,5...15,0	62...63
Молоко «Шкільне»;	10,0...15,0	-
Молоко пастеризоване зі зниженою жирністю, солодом та смаковими добавками;	16,0...18,0	45...55
2. Молоко стерилізоване;	7,5...12,5	-
3. Молоко питне	20,0...25,0	70,0
1 ступінь,	20,0...25,0	65,0
2 ступінь	3,0...5,0	-

Таким чином, при використанні клапанних гомогенізаторів в лініях виробництва питного молока необхідно створювати тиск до 15-25 МПа, при якому питомі енерговитрати цього процесу сягають дуже високих значень – до 8 кВт·год/т та суттєво підвищують сумарні енерговитрати на виробництво одиниці готового продукту й, як наслідок, його собівартість [19, 20].

Для розробки нової – скоригованої технології виробництва питного молока з використанням нових типів гомогенізаторів (струминного і пульсаційного) замість клапанного необхідно встановити послідовність виконання технологічних операцій та їх режимні параметри. Це дасть змогу підприємствам-виробникам молочної продукції купувати більш ефективні гомогенізатори та швидко інтегрувати їх у існуючі технологічні лінії.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Мета даної статті – розробки нової технології виробництва питного молока з використанням струминного і пульсаційного гомогенізаторів.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

–встановити послідовність технологічних операцій з виробництва питного молока з використанням струминного і пульсаційного гомогенізаторів;

–встановити режимні параметри технологічних операцій з виробництва питного молока з використанням струминного і пульсаційного гомогенізаторів;

–виготовити партії питного молока з використанням розроблених технологічних схем та перевірити відповідність його якості існуючим в Україні стандартам.



Основна частина. Виробництво питного молока з використанням розроблених гомогенізаторів буде включати такі операції (рис. 2, 3). Під час приймання молока його пропускають крізь фільтр, а потім – через насос, повітровідокремлювач та лічильник у резервуар проміжного зберігання. За потреби молоко охолоджують на пластинчастих охолоджувачах. Насосом його спрямовують у резервуар для нормалізації за вмістом жиру або одразу в струминний гомогенізатор, де відбувається нормалізація. Нормалізована суміш через насос потрапляє у вирівнювальний бак потім – у пластинчастий теплообмінник, де пастеризується за температури 74 – 76°C, витримується протягом 15 – 20 с або 85 °C без витримування, або 65°C з витримування 30 хв і охолоджується до 6 °C та спрямовується на розливання фасування.

Випробування якості питного молока, виготовленого за розробленою технологією з використанням нових типів гомогенізаторів відбувалось у відповідності з таблицею 2.

Таблиця 2

Показники випробування якості виготовленого питного молока

Найменування показника	Стандарт контролю якості
1. Зовнішній вигляд та консистенція	ДСТУ 2661:2010
2. Смак і запах	ДСТУ 2661:2010
3. Колір	ДСТУ 2661:2010
4. Масова частка загального жиру, %	ДСТУ ISO 1211:2002 (ISO 1211:1999, IDT)
5. Масова частка загального білка, %	ДСТУ ISO 8968:2005-2
6. Титрована кислотність, °T	ГОСТ 3624
7. Густина, кг/м ³	ДСТУ 6082:2009
8. Кількість мезофільних аеробних та факультативно- анаеробних мікроорганізмів (кМАФАнМ)	ДСТУ 7357:2013
9. Бактерії групи кишкових паличок (БГКП), колі форми	ДСТУ 7357:2013, ГОСТ 30518-97
10. Патогенні мікроорганізми, зокрема Salmonella	ДСТУ IDF 93A:2003
11. Staphylococcus aureus	ГОСТ 30347-97

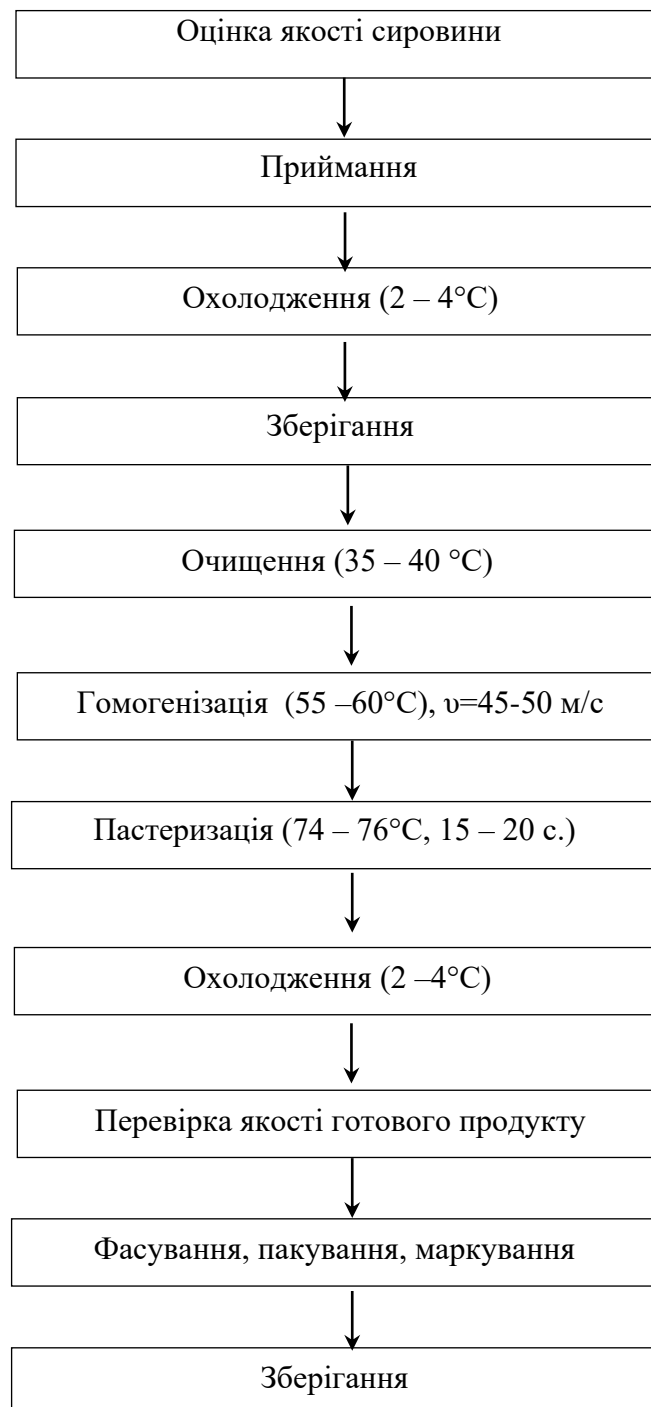


Рис. 2. Технологічні процеси виробництва питного молока при використанні струминного гомогенізатора.

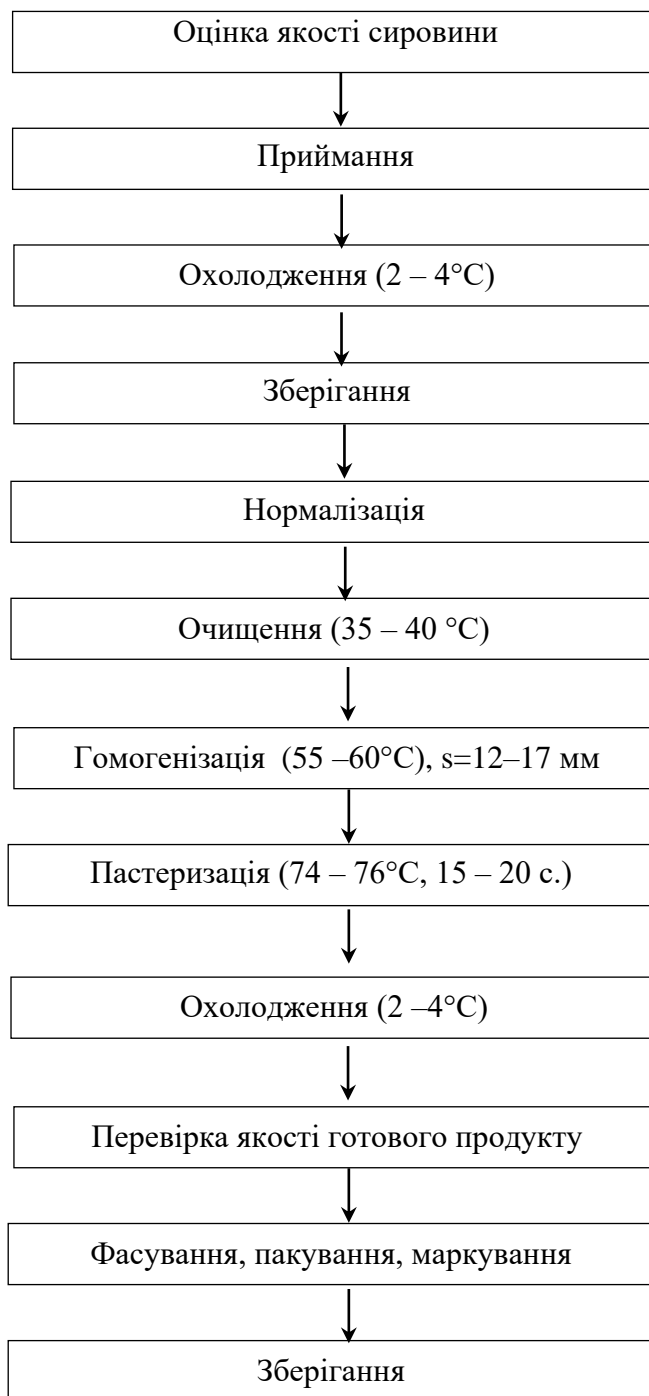


Рис. 3. Технологічні процеси виробництва питного молока при використанні пульсаційного гомогенізатора.

Молочні продукти - молоко питне виготовлялось у відповідності до опису та вимог, наведених вище. Сировиною для виготовлення продуктів було молоко коров'яче за ДСТУ ДСТУ 3662:2018 «Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови» жирністю не менше 3,5% [22, 23].

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



Таблиця 3

Характеристика виробленого питного молока

Найменування	1 партія	2 партія	3 партія	Всього
Об'єм молока, л	18	18	19	55
Об'єм виготовленого продукту, л	18	19	18	55
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

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

За фізико-хімічними та мікробіологічними показниками - результати зведені в таблицю 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, %	3,48	3,50	3,52	3,55	3,50	3,47	3,45	3,47	3,43
Білок, %	3,20	3,22	3,19	3,23	3,19	3,20	3,03	3,1	3,07
Кислотність, °Т	16	16	17	16	16	17	18	18	18
Густина, кг/м ³	1028	1027	1027	1027	1027	1028	1028	1028	1028
Мезофільні мікроорганізми (кМАФАнМ)	5·10 ²	5·10 ²	5·10 ²	5·10 ²	1·10 ³	1·10 ³	7·10 ²	7·10 ²	7·10 ²

Бактерії та мікроорганізми, вміст яких не дозволяється діючими стандартами в виготовлених партіях продукту – не виявлені [24, 25].

Окремо слід виділити коливання жирності молока за якою проводилась нормалізація в струминному гомогенізаторі. Це значення не перевищувало +0,05 -0,07%. Тобто точність нормалізації висока.



Таким чином виготовлене питне молоко повністю відповідають діючим нормам і стандартам та може бути рекомендоване для виробництва.

Висновки. Проаналізовано використання гомогенізації в сучасних технологічних схемах виробництва молочних продуктів та режими класичної – клапанної гомогенізації. Описана класична технологія виробництва питного молока та на її основі розроблені дві технології виробництва питного молока з використанням струминного та пульсаційного гомогенізатора замість клапанного з урахуванням режимів гомогенізації.

Виготовлено партії молочної продукції з використанням розроблених гомогенізаторів. Проведені випробування якості виготовлених партій молока у відділі аналітичних досліджень та якості харчової продукції Інституту продовольчих ресурсів НААН України. Встановлено, що показники якості виготовленої продукції з використанням нових типів гомогенізаторів повністю відповідають існуючим стандартам якості.

Список використаних джерел

1. Rayner M., Dejmek P. Engineering Aspects of Emulsification and Homogenization in the Food Industry. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015. 322 p. <https://doi.org/10.1201/b18436>.

2. Нужин Е. В., Гладушняк А. К. Гомогенизация и гомогенизаторы: монографія. Одесса: Печатный дом, 2007. 264 с.

3. Ковальов О. О., Самойчук К. О., Фучаджи Н. О. Методологія дослідження параметрів струминних гомогенізаторів молока. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2023. Вип. 13, т. 1. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-1-15>.

4. Протитечійно-струминна гомогенізація молока: монографія / Г. В. Дейниченко, К. О. Самойчук, С. В. Кюрчев та ін. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2017. 188 с.

5. Самойчук К. О., Ковальов О. О. Розробка лабораторного зразка струминного гомогенізатору з роздільною подачею вершків. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2011. Вип. 11, т. 6. С. 77–83.

6. Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ялпачик В. Ф. Розробка експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора молока. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання*. 2023. Вип. 23, т. 1.

7. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Івженко А. О., Левченко Л. В. Аналіз конструкцій гомогенізаторів молочної промисловості. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2016. Вип. 16, т. 1. С. 9–15.



8. Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ломейко О. П. Визначення параметрів струминного та пульсаційного гомогенізаторів молока при їх промислового застосуванні. *Праці ТДАТУ*. 2024. Вип. 24, т. 1. С. 53-62. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-3>.

9. Самойчук К. О., Ковальов О. О. Експериментальні дослідження струминного гомогенізатора з роздільним подаванням жирової фази. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2012. Вип. 28. С. 42–46.

10. Samoichuk K., Yalpachyk V., Kholobtseva I., Dmytrevskyi 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*. 2024. P. 74–83.

11. Основи розрахунку та конструювання обладнання переробних і харчових виробництв: підручник / К. О. Самойчук, В. С. Бойко, В. О. Олексієнко та ін. Київ: ПрофКнига, 2020. 428 с.

12. 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*. 2015. Вип.15, т. 1. С. 240–248.

13. 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., e115838. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115838>.

14. J. Morales A., Watts J. McConville, Mechanical particle-size reduction techniques. *AAPS Adv. Pharm. Sci.* 2016. Vol. 22. P. 165–213. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42609-9_4.

15. Ялпачик В.Ф., Загорко Н.П., Паляничка Н.О., Буденко С.Ф., Самойчук К.О., Кюрчев С.В., Верхованцева В.О., Олексієнко В.О., Циб В.Г. Технологічне обладнання для переробки продукції тваринництва: лабораторний практикум / В. Ф. Ялпачик, Н. П. Загорко, Н. О. Паляничка та ін. Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. 274 с.

16. Dhankhar P. Homogenization fundamentals. *IOSR J. Eng.* 2014. Vol. 4. P. 1–8. <https://doi.org/10.9790/3021-04540108>.

17. Huppertz T. Homogenization of Milk Other Types of Homogenizer (High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification). *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>.

18. Acharyaa S., Mishrab V., Patelc J. Enhancing the mixing process of two miscible fluids: A review. *AIP Conference Proceedings*. 2021. Vol. 2341. e030025. <https://doi.org/10.1063/5.0051818>.



19. 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>.

20. Håkansson A., Fuchs L., Innings F., Revstedt J., Trägårdh C., Bergenståhl 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>.

21. 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>.

22. 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. e115838. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115838>.

23. 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. <https://doi.org/10.1016/J.CES.2009.04.026>.

24. 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. e102311. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102311>.

25. 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/10.1111/1750_3841.12029.

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 28.09.2024 р.

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

DEVELOPMENT OF DRINKING MILK PRODUCTION TECHNOLOGY USING STREAM AND PULSATION HOMOGENIZERS

Summary

To increase the energy efficiency of drinking milk production processes, it is necessary to solve the problem of high energy consumption for the homogenization process. For this purpose, the introduction of energy-efficient stream and pulsating



homogenizers is proposed. But for their use by enterprises, an important step is to adjust the existing technological scheme of milk production and check its effectiveness experimentally. The purpose of this article is to develop a new technology for the production of drinking milk using jet and pulsating homogenizers.

To achieve the goal, the article establishes the sequence of technological operations for the production of drinking milk using jet and pulsation homogenizers. Regime parameters of technological operations for the production of drinking milk using jet and pulsating homogenizers have been established. The list of technological operations of new technological schemes for the production of drinking milk include: evaluation of the quality of raw materials, reception of milk, its cooling, storage, cleaning, homogenization, pasteurization, cooling, inspection of the quality of the finished product, packaging, packaging and labeling and storage. Batches of drinking milk were produced using the developed technological schemes and checked for compliance of its quality with existing standards in Ukraine. Batches of dairy products were produced using the developed homogenizers. As a result of the analyzes carried out in the department of analytical research and quality of food products of the Institute of Food Resources of the National Academy of Sciences of Ukraine, it was established that according to organoleptic indicators: appearance and consistency, taste, smell and color, the produced drinking milk fully meets the standards. Bacteria and microorganisms, the content of which is not allowed by the current standards in the manufactured batches of the product, were not detected. Separately, it is necessary to highlight the fluctuations of the fat content of milk, according to which normalization was carried out in the jet homogenizer. This value did not exceed +0.05 -0.07%. That is, the accuracy of normalization is high. Drinking milk produced in this way fully complies with current norms and standards and can be recommended for production.

Key words: homogenization, drinking milk, stream homogenizer, pulsation homogenizer, technology, technological scheme.