



DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-2-25-32

УДК 637.134

С. В. Кюрчев¹, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0001-6512-8118

К. О. Самойчук¹, д-р техн. наук

ORCID 0000-0002-3423-3510

В. Ф. Ялпачик¹, д-р техн. наук

ORCID 0000-0002-0349-2448

О. О. Ковальов¹, канд. техн. наук

ORCID 0000-0002-4974-5201

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*e-mail: oleksandr_kovalov@tsatu.edu.ua, тел. +380963205531

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ УДОСКОНАЛЕНОГО СПОСОБУ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ І НОРМАЛІЗАЦІЇ МОЛОКА

Анотація. В статті проведено аналіз пристроїв, які використовуються для реалізації способу роздільної подачі вершків. Результати аналізу свідчать, що розглянутий пристрій, в якому реалізується спосіб та спосіб гомогенізації та нормалізації молока, обраний в якості прототипу запропонованого способу мають низькі значення енергетичних витрат, але не забезпечують необхідну якість гомогенізації. Для підвищення якості диспергування запропоновано зустрічний спосіб подачі вершків з формуванням кільцевого потоку, що буде забезпечувати рівномірний вплив потоку знежиреного молока на центральну та периферійну частину струменю вершків. Підвищення якості нормалізації досягається за рахунок використання насосів-дозаторів знежиреного молока та вершків, при цьому перший з них регулює інтенсивність впливу потоку знежиреного молока на струмінь вершків, а другий забезпечує точне дозування необхідної кількості вершків, що буде забезпечувати відповідність молочних продуктів вимогам технологічної документації.

Ключові слова: струминний гомогенізатор, вершки, якість диспергування, молоко, спосіб гомогенізації, нормалізація.

Постановка проблеми. Основою забезпечення прибутку підприємств переробної та харчової галузі промисловості України є забезпечення високого рівня якості вихідних продуктів. Споживач обирає продукт враховуючи як власну купівельну спроможність, так і сукупність товарних, смакових, харчових характеристик продукту. Забезпечити високі смакові якості, підвищити харчову цінність продукту та покращити його візуальний вигляд (рівномірність кольору продукту, насичений смак) може проведення гомогенізації. Сутність цієї операції, яку інколи називають диспергуванням жирової фази молочної емульсії полягає в зменшенні середнього діаметра жирових кульок (з яких складається молочний жир, який переважно



містять молочні вершки). В нативному стані цей показник має досить великі значення (близько 3-4мкм), в зв'язку з чим за законом Стокса жирові кульки через короткий проміжок часу підіймаються до поверхні, утворюючи шар вершків [1]. Без проведення диспергування молочні продукти мають неоднорідне забарвлення та слабо виражені смакові властивості, спостерігається втрата цінного молочного жиру на стінках обладнання та пакувальної тари [2]. В зв'язку з цим гомогенізація використовується в якості нормативного процесу в технологіях переробки молока різної жирності, кефіру, морозива та інших продуктів. Відповідно до вимог нормативної документації для отримання молочної продукції високої якості достатньо забезпечити зменшення середнього діаметра жирових кульок в 3-4 рази, або до 0,80 мкм та менше [1,3].

З іншого боку проведення диспергування, для здійснення якого використовуються найбільш розповсюджені клапанні гомогенізатори (що забезпечують необхідні значення середнього діаметру жирових кульок після обробки) відрізняються високими значеннями енергетичних витрат на проведення диспергування (7–8 кВт·год/т гомогенізованого продукту) [4]. Чисельні спроби забезпечити підвищення енергоефективності процесу досі не мали успіхів, враховуючи відсутність єдиної теорії гомогенізації. Відомі понад 10 гіпотез процесу, кожен з яких вичерпно не пояснює процеси та механізми, завдяки яким відбувається зменшення середнього діаметра жирових кульок. Проведення ґрунтовних досліджень ускладнюється високими швидкостями руху рідини, що сягають 100 м/с та більше (що є необхідною умовою диспергування) та мікроскопічними розмірами жирових кульок після диспергування (менше 1мкм).

Конструкції гомогенізаторів, які забезпечують отримання продукту з середнім діаметром жирових кульок, що знаходиться на рівні вимог нормативної документації відрізняються високими витратами енергії (клапанні, мікрофлюїдизатори) або призводять до погіршення якості готового продукту як у випадку з ультразвуковими гомогенізаторами [5,6].

Аналіз останніх досліджень. За останні роки провідними науковцями та фахівцями-практиками в галузі запропоновано низку енергоефективних конструкцій, що забезпечують 3–4 разове зниження енергетичних витрат процесу диспергування (протитечійно-струминний, міні міксери Т-подібної та П-подібної форми) [1]. Однак при цьому середній діаметр жирових кульок після обробки в таких пристроях має досить високі значення і варіює в діапазоні 1,1–1,3 мкм [2,5].

Результатом подальших досліджень можливих шляхів зниження енергетичних витрат диспергування при забезпеченні заданої якості



готової продукції стало висунення гіпотези про можливість суттєвого зниження енергетичних витрат процесу за рахунок створення конструкцій, що ґрунтуються на створенні максимальної різниці швидкостей фаз (дисперсійної–знежирене молоко та дисперсної–вершки) [7,8]. Результати проведених аналітичних досліджень свідчать, що досягти суттєвого зниження енергетичних витрат процесу при забезпеченні якості продукту на рівні вимог нормативної документації можливо при використанні принципу роздільної подачі дисперсійної та дисперсної фаз продукту. Ґрунтуючись на цій гіпотезі та з врахуванням згаданого принципу науковці кафедри обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика розробили та провели дослідження декількох конструкцій струминного типу. Отримані при проведенні аналітичних та експериментальних досліджень конструкцій струминного гомогенізатора молока та струминно-щілинного гомогенізатора молока свідчать, що [7,8]:

- при їх використанні можливо отримати продукт з середнім діаметром жирових кульок на рівні 0,80–0,90 мкм;
- енергетичні витрати цих конструкцій знаходяться в межах 0,74–0,90 кВт·год/т.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою даної статті є дослідження можливості підвищення якості при використанні нового способу гомогенізації та нормалізації молока. Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- здійснювались дослідження переваг та недоліків конструкцій прототипу та аналогу, в яких реалізується запропонований спосіб при якому молоко розділяється на вершки та знежирене молоко, які подаються до струминного гомогенізатора з роздільною подачею вершків, де вершки подаються по каналах в потік знежиреного молока, сформованого центральним каналом;
- проводилось обґрунтування конструктивного рішення гомогенізатору, реалізація запропонованого способу в якому за рахунок встановлення насосів-дозаторів та забезпечення подачі вершків у вигляді кільцевого потоку у напрямку, зустрічному до руху знежиреного молока дозволить прогнозовано досягти підвищення якості гомогенізації.

Основна частина. Один з відомих пристроїв, в якому реалізується спосіб гомогенізації та нормалізації складається з корпусу з центральним каналом, в місці найбільшого звуження якого розташовані канали для ежектування вершків, корпус виконано з конфузору і дифузору, малі діаметри яких формують щілинний канал, а менший діаметр дифузора є більшим за менший діаметр конфузора [9]. При роботі такого пристрою знежирене молоко під тиском



подається крізь патрубков подачі до малого діаметру конфузора, при досягненні якого спостерігається зниження тиску та підвищення швидкості руху потоку. В місці виходу потоку знежиреного молока з конфузору формується зона зниженого тиску, що обумовлює всмоктування з камери до основного потоку крізь щілинні канали вершків. На ділянці, де відбувається ежекція тонкого кільцевого шару вершків до потоку знежиреного молока різниця між швидкостями дисперсійної та дисперсної фаз продукту має найбільше значення, що згідно до критерію Вебера забезпечує необхідні гідродинамічні умови для диспергування жирової фази молочної емульсії [9,10].

Недоліком відомого пристрою, в якому реалізується спосіб гомогенізації та нормалізації молока є недостатня якість гомогенізації та нормалізації. Відповідно до ідеї авторів, певна кількість вершків ежектується до потоку знежиреного молока крізь щілинні канали. Отже точність дозування при складанні нормалізованої суміші в цьому випадку буде недостатньою. Крім цього, відповідно до умов роботи пристрою, вершки надходять до потоку знежиреного молока у вигляді кільцевого струменю, що має певну товщину. В цьому випадку гідродинамічні умови в зоні кільцевої щілини будуть недостатніми для забезпечення ефективного руйнування жирових кульок молока [3,11]. Це пояснюється тим, що при певній товщині струменю вершків потік знежиреного молока не зможе однаково ефективно впливати на його центральну та периферійну частини. Реалізація принципу роздільної подачі вершків в цьому пристрої та створення максимальної різниці між швидкостями дисперсійної та дисперсної фаз буде забезпечувати зниження енергетичних витрат диспергування (орієнтовно до 0,8–0,9 кВт·год/т), але якість гомогенізації в цьому випадку буде недостатньою [8].

В якості прототипу конструкції розглянемо спосіб гомогенізації та нормалізації молока, при якому вершки надходять по каналах, що виконані в місцях найбільшого звуження центрального каналу [12]. При цьому площа каналів, по яких подається жирова фаза визначається з алгебраїчного співвідношення та залежить від коефіцієнтів витрат каналів подачі молока та вершків, жирності молока та вершків, надлишкового тиску подачі знежиреного молока та вершків, площі перетину камери в місці найбільшого звуження [12].

Попередньо знежирене молоко з високою швидкістю надходить до місця найбільшого звуження центрального каналу, де до нього по тонких каналах в перпендикулярному до руху потоку напрямку, з мінімальною швидкістю подаються вершки. Завдяки високій швидкості обтікання жирових кульок потоком знежиреного молока, встановлюється гідродинамічний режим, за якого досягаються

необхідні для руйнування жирових кульок значення критерію Вебера, що призводить до руйнування жирових кульок.

Недостатня якість гомогенізації та нормалізації при використанні відомого способу пояснюється принципом подачі жирової фази. При реалізації цього способу ефективна дія потоку знежиреного молока буде забезпечуватись лише для периферійної частини струменів вершків, що надходять по каналах [13]. Разом з цим, жирові кульки, що будуть знаходитись ближче до центральної частини струменю вершків будуть зазнавати мінімального впливу при включенні до потоку до того часу, поки швидкості дисперсійної та дисперсної фаз не зрівняються та гомогенізація не буде відбуватись взагалі [14]. Таким чином, як і в конструкції аналогу при реалізації цього способу за рахунок створення максимальної різниці між швидкостями дисперсійної та дисперсної фаз та принципу роздільної подачі вершків забезпечується суттєве зниження енергетичних витрат процесу (до 0,9 кВт·год/т переробленого молока, але якість диспергування має недостатні значення) [7].

Вдосконалення відомого способу гомогенізації та нормалізації молока досягається шляхом встановлення насосів-дозаторів (рис.1) та забезпечення подачі вершків у вигляді кільцевого потоку у напрямку, зустрічному до руху знежиреного молока.

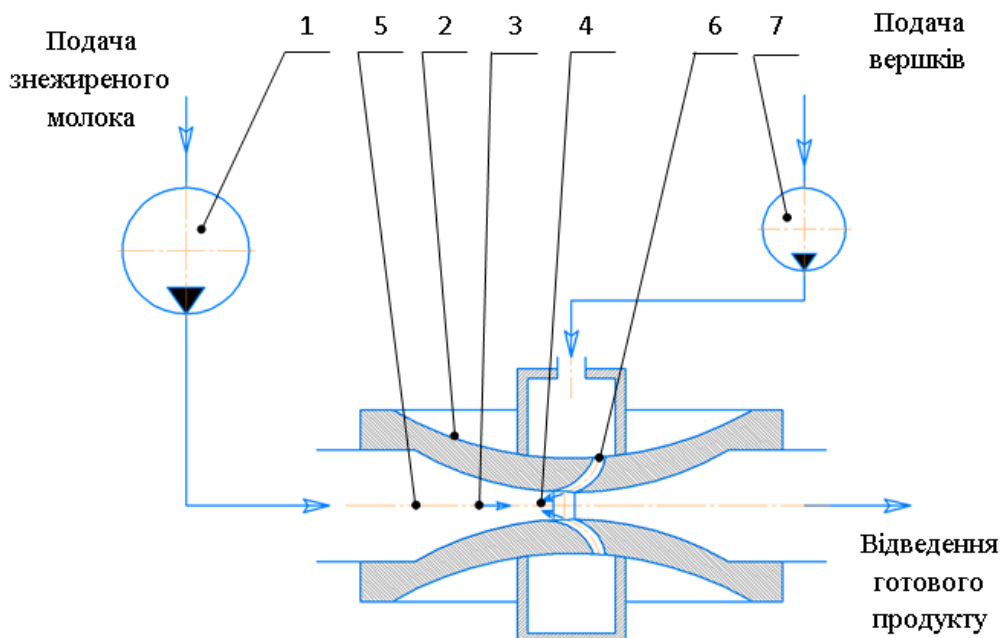


Рис. 1. Спосіб гомогенізації і нормалізації молока: 1–насос-дозатор для подачі знежиреного молока; 2–струминний гомогенізатор молока з роздільною подачею вершків; 3–потік знежиреного молока; 4–кільцевий потік вершків; 5–центральный канал; 6–канали подачі вершків; 7–насос подачі вершків



Заявлений спосіб реалізується таким чином. Попередньо молоко розділяється в сепараторі-вершковідділювачі з отриманням молочної плазми та жирової фази (вершків). Після цього за допомогою насос-дозатору 1 знежирене молоко 3 подається до центрального каналу 5 струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків 2, внутрішній профіль якого формує місце найбільшого звуження. В середній частині центрального каналу, до потоку знежиреного молока за допомогою насоса подачі 7 через канали 6 подаються молочні вершки. Таким чином до потоку знежиреного молока 3 завдяки зустрічному розташуванню каналів подачі вершків забезпечується зустрічне включення кільцевого потоку вершків 4. При цьому забезпечується досягнення необхідних значень швидкості обтікання жирових кульок молока потоком плазми, внаслідок чого відбувається гомогенізація. подача жирової фази у вигляді кільцевих струменів забезпечує рівномірний вплив потоку знежиреного молока на центральну та периферійну частину струменів, що призводить до підвищення якості гомогенізації [6,15]. Швидкість потоку молочної плазми, а відтак і якість диспергування регулюється за допомогою насоса-дозатора 1. Зміною подачі насоса-дозатора 7 досягається відсотковий вміст жиру в молочних продуктах, що регламентується технологічними вимогами для кожного виду молочних продуктів. Отже, співвідношення між необхідними об'ємами молочних вершків та знежиреного молока встановлюється за допомогою насосів-дозаторів та буде залежати від заданого технологічними вимогами вмісту жиру в молоці та жирності вершків, що використовуються при проведенні нормалізації-гомогенізації. Молоко, що буде переробляється у такий спосіб матиме заданий вміст жиру з мінімальними коливаннями за жирністю, а отже задовольнятиме потреби потенційних покупців.

Висновки. Аналіз пристроїв, в яких використовується відомий спосіб роздільної подачі вершків свідчить, що розглянутий пристрій, в якому реалізується спосіб не здатен забезпечити ефективний вплив та рівномірність подачі жирової фази, а отже високу якість гомогенізації. Розглянутий в якості прототипу спосіб гомогенізації і нормалізації не здатний забезпечити рівномірний вплив потоку знежиреного молока на центральну та периферійну частину струменю вершків.

Реалізація запропонованого способу в групі взаємопов'язаних пристроїв передбачає зустрічну подачу вершків з формуванням кільцевого потоку. Зустрічний спосіб подачі дозволяє забезпечити найбільш ефективну дію потоку знежиреного молока на центральну та периферійну частину кільцевих потоків вершків та підвищити швидкість обтікання жирових кульок (з яких складаються вершки) потоком знежиреного молока, що підвищить якість гомогенізації.



Встановлення насосів-дозаторів забезпечує високу якість нормалізації, що пояснюється чітким дотриманням подачі необхідної кількості вершків (в залежності від жирності вершків, знежиреного молока та нормалізованого продукту). Отже нормалізоване за жирністю молоко буде мати заданий вміст жиру з мінімальними його коливаннями.

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

Список використаних джерел

1. Huppertz T. Homogenization of Milk|Other Types of Homogenizer (High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification). *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2nd Edition. 2011. P 761–764.

2. Liao Y. X., 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.

3. Innings F., Trägårdh C. Visualization of the drop deformation and break-up process in a high pressure homogenizer. *Chem. Eng. Technol.* 2005. Vol. 28. P. 882–891.

4. Ward K., Fan Z. H. Mixing in Microfluidic Devices and Enhancement Methods. *J. Micromech. Microeng.* 2015. Vol. 25(9). No 94001–94017.

5. Tartar L. The General Theory of Homogenization. *Lecture Notes*. 2009. P. 470.

6. Walstra P., Wouters J. T. M. and Geurts T. J. Homogenization. *Dairy Science and Technology*. Second Edn. 2006. P. 279.

7. Самойчук К. О. Розвиток наукових основ гідродинамічного диспергування молочних емульсій: автореф. дис ... д-р. техн. наук: 05.18.12. Харків, 2018. 44 с.

8. Ковальов О. О. Обґрунтування параметрів струминно-щілинного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. ТДАТУ. Мелітополь, 2021. 20 с.

9. Струминний гомогенізатор молока з роздільною подачею вершків: пат. № 106522 Україна, МКИ⁷ А 01 J 11/16. № u 201511244; заявл. 16.11.2015; опубл. 25.04.2016, Бюл. № 8.

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

11. Dhankhar P. Homogenization fundamentals. *IOSR Journal of Engineering*. 2014. № 4(5). P. 1-8.



12. Спосіб гомогенізації та нормалізації молока: пат. № 94048 Україна, МКИ⁷ А 01 J 11/00. № u 2014 05343; заявл. 19.05.2014; опубл. 27.10.2017, Бюл. № 20.

13. Vladisavljevic G., Al Nuamani R., Nabavi S. Microfluidic production of multiple emulsions. *Micromachines*. 2017. Т. 8. С. 75.

14. Haponiuk E., Zander L., Probola G. Effect of the homogenization process on the rheological properties of food emulsions. *Pol. J. Nat. Sci.* 2015. Vol. 30. P. 149–158.

15. Morales J., Watts A., McConville J. Mechanical particle-size reduction techniques. *AAPS Adv. Pharm. Sci.* 2016. Vol. 22. P. 165–213.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2023 р.

S. Kiurchev¹, K. Samoichuk¹, V. Yalpachik¹, A. Kovalyov¹
¹Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

IMPROVING PRODUCT QUALITY USING AN IMPROVED METHOD OF MILK HOMOGENIZATION AND NORMALIZATION

Summary

The article analyzes the devices used to implement the method of separate feeding of cream, which ensures the implementation of the principle of creating the maximum difference in speed of skimmed milk and cream, which is a necessary condition for effective dispersion. The results of the analysis show that the considered device, which implements the method and the method of homogenization and normalization of milk, chosen as a prototype of the proposed method, has low values of energy costs, but does not provide the necessary quality of homogenization.

The basis of the method is the task of improving the known method of homogenization and normalization of milk, which is achieved by installing dosing pumps and ensuring the supply of cream in the form of an annular flow in the direction opposite to the movement of skimmed milk. The task is solved by separating the milk into cream and skimmed milk using a separator-cream separator, which are fed to a jet homogenizer with a separate supply of cream, where the cream is fed through channels into the flow of skimmed milk formed by the central channel, according to the proposed method, to supply skimmed for milk and cream, own dosing pumps are used, and the cream supply channels form an annular flow directed against the flow of skimmed milk.

In order to improve the quality of dispersion, a counter feeding method of cream with the formation of an annular flow is proposed, which will ensure a uniform effect of the flow of skimmed milk on the central and peripheral part of the cream jet. Increasing the quality of normalization is achieved through the use of skim milk and cream dosing pumps, while the first of them regulates the intensity of the flow of skim milk on the stream of cream, and the second ensures accurate dosing of the required amount of cream. This will ensure compliance of dairy products with the requirements of technological documentation and, therefore, greater competitiveness of products and, accordingly, a higher level of profit of enterprises in the processing and food industry.

Key words: jet homogenizer, cream, dispersion quality, milk, method of homogenization, normalization.