

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЕНОГО УЛЬТРАЗВУКОМ МОЛОКА ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА СИРУ КИСЛОМОЛОЧНОГО

Червоний В. М., к.т.н., ORCID: 0000-0002-9085-2260
Горелков Д. В., к.т.н., ORCID: 0000-0002-9315-9322
Харківський державний університет харчування та торгівлі
Постнов Г. М., к.т.н., ORCID: 0000-0003-4200-1258
Постнова О. М., к.т.н., ORCID: 0000-0001-6617-8643
*Харківський національний технічний університет сільського
господарства ім. П. Василенка*
Самойчук К. О., д.т.н. ORCID: 0000-0002-3423-3510
*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*
Тел. (057) 349-45-56

Постановка проблеми. У складі молока міститься 87,3% води, 12,5% сухих речовин, у тому числі 3,8% молочного жиру, 3,3% білків, 4,7% молочного цукру, 0,7 мінеральних речовин. Особливість багатьох компонентів молока в тому, що природа не повторює їх ні в якому іншому продукті харчування [1-2].

У молоці жир розподілений у вигляді жирових кульок, оточених складними білковими оболонками, тобто являє собою емульсію молочного жиру у воді. Розмір жирових кульок коливається від 1 до 5 мкм. Причому, кількість жирових кульок, що мають розмір більше 2 мкм, складає більше 50% і залежить від породи та індивідуальних особливостей корови [3-4].

Поживна цінність молока в значній мірі визначається розмірами частинок жиру в молоці. Надтонке дроблення жиру в емульсіях дуже сильно змінює властивості вихідного продукту. У проведених дослідженнях австралійськими вченими доведено, що дроблення жирових кульок молока до менших, ніж в початковому стані, розмірів майже на третину підвищує поживну цінність молока [5].

Одним з технологічних рішень у виробництві молочних продуктів є організація попередньої обробки молочної суміші ультразвуком для його відновлення.

Аналіз останніх досліджень. За даними досліджень американських вчених, під час ультразвукової обробки молока не відбувається руйнування найбільш лабільної частини вітаміну С і його вміст практично дорівнює вихідному. Як відомо, пастеризація паром знижує концентрацію вітаміну С на 20...30%, інфрачервоним

випромінюванням на 10...15%, кип'ятіння – практично повністю руйнує вітамін С. Австралійські вчені стверджують, що ультразвукова обробка забезпечує не тільки підвищення поживної цінності молока, але і його стерилізацію, а оброблене ультразвуком і заморожене для тривалого зберігання молоко, після розморожування повністю зберігає свої поживні і смакові якості [6-9].

Отримані дані свідчать про широкі можливості використання ультразвукової обробки для виробництва молочних продуктів, проте відсутні дані щодо впливу ультразвукової обробки на процеси отримання сиру кисломолочного.

На ринку молочного устаткування ультразвукові гомогенізатори представлені одиничними моделями. Зокрема, ТОВ «Юнітерм» (Росія) пропонує ультразвукове обладнання – гомогенізатори проточного типу УЗК 05 та УЗК 07. Установка являє собою кільцевий ультразвуковий перетворювач оригінальної конструкції, який виконаний на сучасних п'єзоелементах. Однак, в даних конструкціях не реалізована можливість зміни частоти коливань ультразвукових хвиль.

Формулювання цілей статті. Мета та завдання статті полягає у формулюванні основних технологічних, експлуатаційних та екологічних вимог для ефективного проведення процесу відновлення сухого молока, а також дослідження ефективності використання гомогенізованого ультразвуком молока під час виробництва сиру кисломолочного.

Основна частина. В ході проведення експериментальних робіт було визначено розподіл розмірів жирової фази в молоці від тривалості ультразвукової обробки. Частота ультразвукової обробки була обрана зі стандартного ряду магнітострикційних випромінювачів, що випускаються промисловістю, і дорівнює 15, 22 та 35 кГц. Тривалість була обрана 45, 90, 135, 180 с, з розрахунку того, що збільшення тривалості обробки понад 200 с призводить до різкого збільшення температури суміші, внаслідок чого стає неможливим отримання емульсії з високими показниками якості (стійкість, дисперсність) або емульсії взагалі. Кількість оброблюваної речовини складає 500 мл.

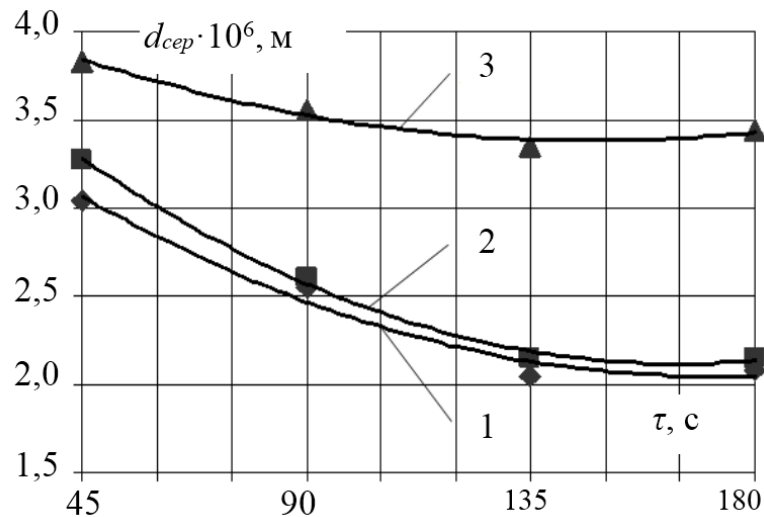
Для проведення обробки молока була підготовлена спеціальна ємність з нержавіючої сталі Ст25 діаметром 65 мм, висотою 150 мм, товщина стінок ємності 2 мм, яка володіє високими відбивальними властивостями ультразвукових хвиль.

Отримана проба піддавалась мікроскопіюванню та фотофіксацією результатів. На наступному етапі фотоматеріали завантажували до ПК та за допомогою програми «UTHSCSA ImageTool» проводився процес отримання результатів вимірювання. Статистична обробка результатів проводилась з використанням

програми «Microsoft Office Excel».

Необхідна кількість інтервалів розбивки визначено за умов допустимості похибки апроксимації кривої розподілу для випадку квантування половини кривої нормального закону розподілу.

В ході проведення досліджень була виявлена залежність зміни діаметра дисперсної фази від тривалості обробки при частоті ультразвукових хвиль 15, 22, 35 кГц. На рис. 1 представлені результати автоматичних розрахунків середнього діаметра жирових кульок.



1 – 15; 2 – 22; 3 – 35.

Рис. 1. Динаміка середнього діаметра $d_{сеп}$ часточок дисперсної фази від тривалості τ ультразвукової обробки гомогенізованого молока та частоти ультразвуку, кГц.

Збільшення значення середнього діаметра при всіх частотах ультразвукової обробки пояснюється наступним. В системі змінюються білкові молекули, які б могли утворити поляризаційний шар на поверхні жирового шарика. Тому при збільшенні тривалості обробки, що відповідно призводить до збільшення температури суміші, термічно нестійкі жирові частки поєднуються, тобто відбувається процес коагуляції та коалесценції.

Аналіз результатів досліджень дисперсності жирової фази гомогенізованого молока підтвердив істотний вплив зміни рівня інтенсивності ультразвукової обробки на розміри жирових часток. Для виявлення впливу ультразвукових коливань різної інтенсивності і тривалості на величину середнього діаметра отриманих часток дисперсної фази d було розраховано питому енергію ультразвукової обробки N , під дією якої відбувається процес гомогенізації молока. Цю величину було отримано з формули (1)

$$N = P \cdot \tau, \quad (1)$$

де N – питома енергія ультразвукової обробки, Дж/дм³;
 P – питома потужність ультразвукової обробки P , Вт/дм³;
 τ – тривалість обробки, с.

Величину питомої потужності ультразвукової обробки було отримано з формули (2)

$$P = W / V, \quad (2)$$

де W – потужність ультразвукової обробки, Вт;
 V – об'єм середовища, що обробляється, дм³.

Значення потужності ультразвукової обробки визначено за формулою

$$P = I \cdot S, \quad (3)$$

де I – інтенсивність випромінювання ультразвукових коливань в середовище, Вт/м²;

S – площа випромінюючої поверхні, м².

Показник інтенсивності випромінювання ультразвукових коливань випромінювання в рідке середовище для магнітострикційного диспергатора УЗДН було розраховано в роботі [7].

Дослідження довели, що показник інтенсивності випромінювання ультразвукових коливань у рідке середовище для магнітострикційного диспергатора УЗДН з діаметром випромінювача 15 мм знаходиться у межах 2,5...5 Вт/см².

На рис. 2 наведені результати визначення середнього діаметру часток дисперсної фази гомогенізованого молока в залежності від тривалості ультразвукової обробки з питомою потужністю ультразвукової обробки 10, 15, 30 Вт/дм³.

Отримані дані свідчать про те, що збільшення показника питомої потужності ультразвукової обробки в три рази з 10 Вт/дм³ до 30 Вт/дм³ призводить до зменшення мінімального середнього розміру часток дисперсної фази на 25...39%, тобто з показника мінімального діаметра кульок жирової фази 3,37 мкм і 2,05 мкм відповідно.

В результаті були отримані залежності зміни d від кількості питомої енергії ультразвукової обробки A в оброблювальних системах з питомою потужністю ультразвукової обробки 10, 15 та 30 Вт/дм³:

– для питомої потужності ультразвукової обробки 10 Вт/дм³

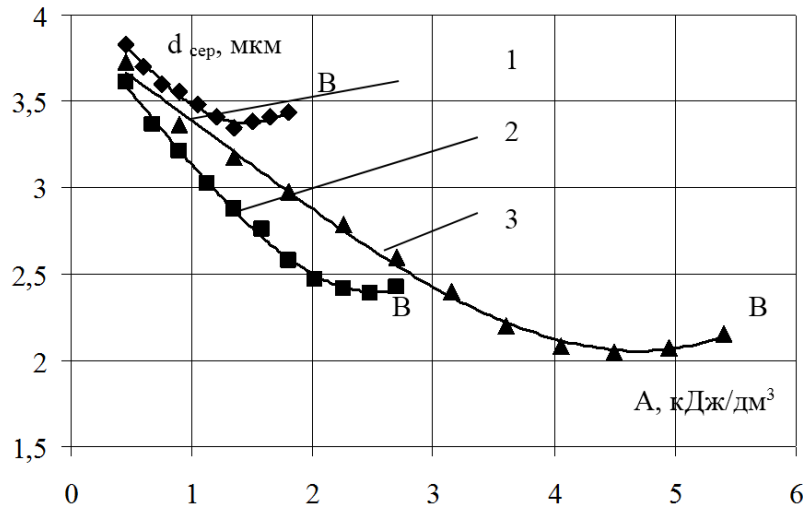
$$d = 0,1571 A^3 - 0,0976 A^2 - 0,7253 A + 4,1515; \quad (4)$$

– для питомої потужності ультразвукової обробки 15 Вт/дм³

$$d = 0,0763 A^3 - 0,1374 A^2 - 0,7555 A + 3,9494; \quad (5)$$

– для питомої потужності ультразвукової обробки 30 Вт/дм³

$$d = 0,0151 A^3 - 0,0597 A^2 - 0,441 A + 3,875. \quad (6)$$



1 – 10; 2 – 15; 3 – 30; (В – закінчення технологічного процесу).

Рис. 2. Зміна значень середнього діаметру часточок $d_{сep}$ дисперсної фази від питомої енергії ультразвукової обробки за різних значень питомої потужності Вт/дм^3 .

З використанням отриманих регресійних рівнянь та регресійного аналізу результатів були розраховані показники N та τ , які відповідають локальним екстремумам функцій, в котрих d_{min} приймає найменші значення. Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри ультразвукової обробки, за яких діаметр часточок дисперсної фази емульсії (d) гомогенізованого молока приймає мінімальні значення

№ з/п	Питома потужність ультразвукової обробки P , Вт/дм^3	Мінімальний середній розмір часточок дисперсної фази d_{min} , мкм	Питома енергія ультразвукової обробки A , Дж/дм^3	Тривалість обробки τ , с
1	10	3,37	1465	146
2	15	2,38	2394	159
3	30	2,05	4705	157

Таким чином, можна відзначити, що максимальною дисперсністю володіють емульсії, що були оброблені з питомою потужністю ультразвукової обробки 30 Вт/дм^3 . Проте, зменшення показника питомої потужності до 15 Вт/дм^3 дає збільшення мінімального середнього розміру часток дисперсної фази на 18...20% за умови збільшення продуктивності в два рази. Тобто, використання питомої потужності ультразвукової обробки на рівні 15 Вт/дм^3 є раціональним та обґрунтованим.

Для підтвердження ефективності використання відновленого та гомогенізованого ультразвуком молока у процесі виробництва сиру кисломолочного були проведені відповідні дослідження (рис. 3).

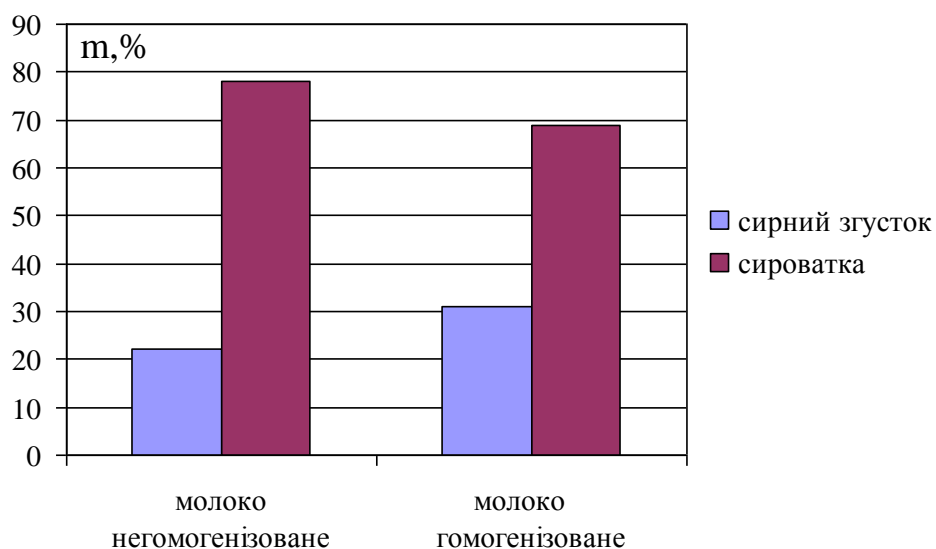


Рис. 3. Експериментальні дослідження зміни виходу сирного згустку.

Під час використання в якості сировини відновленого та гомогенізованого ультразвуком молока було виявлено, що відбуваються зміни у процесі синерезису, що впливає на збільшення кількості сирного згустку майже на 10%. За органолептичними показниками готовий продукт відповідав показникам ДСТУ 4554:2006 «Сир кисломолочний. Технічні умови», що свідчить про перспективність запропонованої технології.

Висновки. В ході проведення експериментів було виявлено, що обробка ультразвуковими хвилями частотою 22 кГц молока жирністю 3,2% дозволяє домогтися підвищення коефіцієнта дисперсності на 27...64%. Доведено перспективність використання відновленого молока в технологіях кисломолочних сирів, що дає можливість збільшення сирного згустку майже на 10%.

Література:

1. Шалыгина А. М., Калинина Л. В. Общая технология молока и молочных продуктов: учебник. Москва: КолосС, 2006. 199 с.
2. Твердохлеб Г. В., Раманаускас Р. И. Химия и физика молока и молочных продуктов. Москва: ДеЛи принт, 2006. 306 с.
3. Кузнецов В. В., Липатов Н. Н. Справочник технолога молочного производства: Технология и рецептуры. Т. 6: Технология детских молочных продуктов. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2005. 512 с.
4. Шидловская В. П. Органолептические свойства молока и молочных продуктов: справочник. Москва: КолосС, 2004. 360 с.

5. Feng H., Barbosa-Canovas G. V., Weiss J. *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*. New York, Springer, 2010. 678 p.

6. Wu H., Hulbert G. J., Mount J. R. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2000. Vol. 1. P. 211-218. DOI: 10.1016/S1466-8564(00)00020-5.

7. Deynichenko G., Samoichuk K., Yudina T., Levchenko L., Palianychka N., Verkholtantseva V., Dmytrevskiy D., Chervonyi V. Parameter optimization of milk pulsation homogenizer. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2018. Vol. 24. P. 63-67. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.86974.

8. Moiseev N., Suchkova E., Iakovchenko N. Possibility of using reconstituted milk in manufacture of cheese with cheddaring and cheese curd stretching. *Agronomy Research*. 2017. Vol. 15. P. 1358-1368.

9. Rivas I. K., Chavez-Martinez A. Effect of ultrasound applied to dairy whey prior to warming in the development of curd cheese. *Interciencia*. 2017. Vol. 42. P. 828-833.

10. Отримання водно-жирових емульсій за допомогою ультразвуку: монографія / Г. В. Дейниченко та ін. Харків: Факт, 2013. 192 с.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ
ВІДНОВЛЕНОГО УЛЬТРАЗВУКОМ МОЛОКА
ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА СИРУ КИСЛОМОЛОЧНОГО**
Червоний В. М., Горелков Д. В., Постнов Г. М., Постнова О. М.,
Самойчук К. О.

Анотація

Робота присвячена технології відновлення сухого молока з використанням ультразвуку та подальшого використання у виробництві сиру кисломолочного. Розглянуто технологічні аспекти відновлення сухого молока та подальшої гомогенізації. Досліджено динаміку середнього діаметра часточок дисперсної фази від тривалості ультразвукової обробки гомогенізованого молока та частоти ультразвуку. Визначено зміну значень середнього діаметру часточок дисперсної фази від питомої енергії ультразвукової обробки за різних значень питомої потужності. Отримано параметри ультразвукової обробки, за яких діаметр часточок дисперсної фази емульсії гомогенізованого молока приймає мінімальні значення. Проведені дослідження для підтвердження ефективності використання відновленого та гомогенізованого ультразвуком молока у процесі виробництва сиру кисломолочного.

Ключові слова: молоко сухе, ультразвук, частота, відновлення, гомогенізація, сир кисломолочний.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОССТАНОВЛЕННОГО УЛЬТРАЗВУКОМ МОЛОКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТВОРОГА

Червоний В. Н., Горелков Д. В., Постнов Г. М., Постнова О. М.,
Самойчук К. О.

Аннотация

Работа посвящена технологии восстановления сухого молока с использованием ультразвука и дальнейшего использования в производстве творога. Рассмотрены технологические аспекты восстановления сухого молока и последующей гомогенизации. Исследована динамика среднего диаметра частиц дисперсной фазы от продолжительности ультразвуковой обработки гомогенизированного молока и частоты ультразвука. Определены изменение значений среднего диаметра частиц дисперсной фазы от удельной энергии ультразвуковой обработки при различных значениях мощности. Получены параметры ультразвуковой обработки, при которых диаметр частиц дисперсной фазы эмульсии гомогенизированного молока принимает минимальные значения. Проведенные исследования для подтверждения эффективности использования восстановленного и гомогенизированного ультразвуком молока в процессе производства творога.

Ключевые слова: молоко сухое, ультразвук, частота, восстановление, гомогенизация, творог.

STUDY OF THE EFFICIENCY OF RECOVERED ULTRASOUND IN MILK PRODUCTION OF COTTAGE CHEESE

V. Chervonyi, D. Horielkov, G. Postnov, O. Postnova, K. Samoichuk

Summary

The work is devoted to the technology of restoring milk powder using ultrasound and further use in the production of cottage cheese. The technological aspects of the recovery of milk powder and subsequent homogenization are considered.

During the experimental work, the size distribution of the fat phase in milk was determined from the duration of the ultrasonic treatment. The frequency of ultrasonic treatment was selected from the standard series of magnetostrictive emitters manufactured by the industry and is equal to 15, 22 and 35 kHz. The duration was selected 45, 90, 135, 180 s, on the basis that the increase in the processing time over 200 s leads to a sharp increase in the temperature of the mixture, which makes it impossible to obtain an emulsion with high quality (stability, dispersion) or emulsion in general. The amount of substance to be treated is 500 ml. The necessary number of intervals of the breakdown is determined under the conditions of the admissibility of the error of approximation of the distribution curve for the quantization of half of the curve of the normal distribution law.

The dynamics of the average particle diameter of the dispersed phase on the duration of ultrasonic treatment of homogenized milk and the frequency of ultrasound is studied. The change in the values of the average particle diameter of the dispersed phase from the specific energy of ultrasonic treatment at various power values is determined. The ultrasonic processing parameters are obtained at which the particle diameter of the dispersed phase of the emulsion of homogenized milk assumes minimal values. Studies conducted to confirm the effectiveness of the use of reconstituted and ultrasonically homogenized milk in the production of cottage cheese.

Key words: milk powder, ultrasound, frequency, restoration, homogenization, cottage cheese.