

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДИСПЕРГУВАННЯ ЕМУЛЬСІЙ

Паляничка Н. О., к.т.н.

ORCID: 0000-0001-8510-7146

Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного

Тел. (0619) 42-13-06

Постановка проблеми. На сьогоднішній день одним з найбільш розповсюджених технологічних процесів є диспергування емульсій, шляхом гомогенізації у відповідних апаратах. Використовується в сільському господарстві, хімічній, харчовій, переробній та інших галузях промисловості [1]. В харчовій промисловості гомогенізацію використовують для виробництва молока, та молочних продуктів, сумішей для морозива, згущеного молока, кетчупів, майонезу, маргарину, яєчних меланжів, соків та інших продуктів. Все ж найбільшого розповсюдження процес отримав в молочній промисловості [2]. Використання гомогенізації при виробництві питного молока сприяє покращенню органолептичних показників, підвищенню стабільності та в'язкості, відсутності залишків жиру на стінках апаратів, покращенню засвоюваності продукту за рахунок зменшення розміру часток молочного жиру, тощо. Однак апарати, які на сьогоднішній день використовуються для диспергування в більшості випадків не відповідають сучасним вимогам показників якості та енергозбереження [3].

Найбільш розповсюдженим обладнанням, яке сьогодні використовується на підприємствах є клапанні гомогенізатори [4]. Вони дозволяють отримати високу якість диспергування емульсій, однак при цьому відрізняються великими затратами енергії на процес (більше ніж 7 кВт/т). В умовах сьогодні це дуже високі показники. Інші існуючі види гомогенізаторів, такі як, роторні, ультразвукові та вакуумні дозволяють значно знизити витрати енергії на процес, однак вони не дозволяють отримати високу ступінь гомогенізації молока [5]. Отже, зважаючи на все, та враховуючи сучасні тенденції до використання енергозберігаючих технологій та обладнання досить актуальним є вдосконалення існуючих або ж розробка нових видів апаратів для диспергування емульсій, які зможуть забезпечити високу ступінь гомогенізації при низьких енерговитратах.

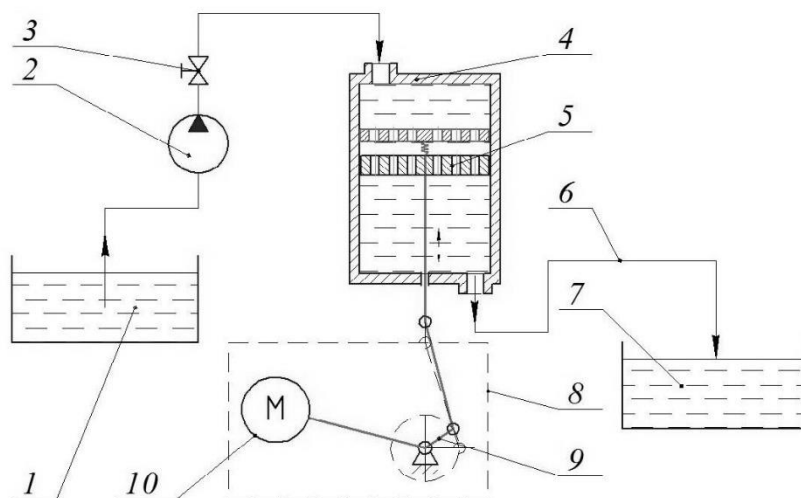
Аналіз останніх досліджень. За останні роки дослідженням питання зниження енерговитрат на процес диспергування молочного жиру та підвищення ступеня гомогенізації займалося багато вчених

[6,7,8]. Однак, відмічається, що більшість пристроїв, все ж таки потребують подальшого вдосконалення з метою отримання найбільш оптимальних показників ступеня диспергування та енерговитрат на процес гомогенізації.

Аналіз розробки останніх років показав, що найбільш перспективним способом диспергування молочної емульсії є імпульсна гомогенізація. Пристрій дозволяє створити умови за яких виникає градієнту швидкості потоку молока, який, в свою чергу, сприяє високому ступеню диспергування молочного жиру. Особливість апарату полягає також в досить низьких витратах енергії на процес. Тому було вирішено продовжувати проводити дослідження в даному напрямку.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою даної статті є дослідження енергоефективного обладнання для диспергування емульсії, на прикладі молочного жиру.

Основна частина. Як було вище зазначено, що до енергоефективного обладнання для диспергування емульсії, на прикладі молока можна віднести імпульсний гомогенізатор. На кафедрі обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф. Ю. Ялпачика було розроблено експериментальну установку для проведення дослідження, схема якого представлена на рис. 1.



1, 7 – технологічні ємності для подачі та збору молока; 2 – насос; 3 – вентиль; 4 – робоча камера гомогенізатора; 5 – поршень; 6 – трубопровід; 8 – імпульсний привід; 9 – кривошипний механізм з регулятором амплітуди; 10 – електродвигун з регулятором частоти обертання валу.

Рис. 1. Схема імпульсного гомогенізатора молока.

Пристрій складається з робочої камери імпульсного гомогенізатора 4 з поршнями-ударниками 5, які приводяться в коливальні рухи через кривошипний механізм з регулятором амплітуди 9 імпульсним приводом 8 [9]. Основний поршень-ударник

жорстко закріплений на штоку, а додатковий з'єднується з основним за допомогою пружини. Для можливості регулювання частоти коливання поршня-ударника використовується електродвигун постійного струму. Для зміни амплітуди коливання поршня-ударника використовується регульований кривошип.

Молоко в робочу камеру гомогенізатора з технологічної ємності 1 подається насосом 2. Вентиль 2 служить для подавання молока під необхідним тиском в насос і робочу камеру гомогенізатора.

Для імпульсної гомогенізації молока процес подрібнення жирової фази доцільно характеризувати модифікованим критерієм Вебера, We^i , в основу якого покладено градієнт швидкості потоку молока

$$We^i = \frac{\rho_{пл} \cdot \left(\frac{dv}{dx}\right)^2 \cdot d_k}{\sigma_{ж-п}}, \quad (1)$$

де $\rho_{пл}$ – густина плазми молока, кг/м³ ;
 $\frac{dv}{dx}$ – градієнт швидкості потоку, м/с;
 d_k – критичний діаметр частки, м;
 $\sigma_{ж-п}$ – поверхневий натяг краплі, Н/м.

При досягненні критичного значення критерію We^i відбувається руйнування жирових кульок. Визначальна роль при цьому належить градієнту швидкості.

Ступінь гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі в загальному вигляді визначається залежністю:

$$Nm = f(h, f, Q), \quad (2)$$

де h – амплітуда коливань поршня-ударника;
 f – частота коливань поршня-ударника;
 Q – подача молока в імпульсний гомогенізатор.

Рівняння апроксимації залежності ступеня гомогенізації від амплітуди коливань поршня-ударника має такий вигляд

$$Nm = -0,0435h^2 + 1,0653h - 1,63. \quad (3)$$

Залежність ступеня гомогенізації від частоти коливань поршня-ударника апроксимується рівнянням

$$Nm = -0,0085f^2 + 1,0869f - 29,724. \quad (4)$$

Рівняння апроксимації залежності ступеня гомогенізації від подачі молока в імпульсний гомогенізатор має такий вигляд

$$Nm = -10,012Q^2 + 38,363Q - 31,814. \quad (5)$$

Для отримання високого ступеня гомогенізації $N_m = 4 \dots 5$ в імпульсному гомогенізаторі необхідно створити певні умови: амплітуда коливання поршня-ударника 10...12 мм, частота коливань 55...65 Гц, подача молока в імпульсний гомогенізатор 1800...2000 кг/год.

Питомі витрати енергії на процес імпульсної гомогенізації визначаються з виразу [10]

$$E_{\text{пит}} = \frac{c \cdot \rho_c \cdot v^3 \cdot S}{2Q}, \quad (6)$$

де c – коефіцієнт опору, для круглої пластини, $c = 1,1 \dots 1,15$;

v – швидкість руху поршня-ударника, м/с;

S – площа поршня, м².

Внаслідок проведених розрахунків було визначено, що продуктивність імпульсного гомогенізатора становить 1800...2000 кг/год, питомі енерговитрати на процес гомогенізації – 0,82 Дж/кг.

З метою підтвердження достовірності розрахунків питомої енергоемності процесу гомогенізації молока в імпульсному гомогенізаторі було проведено повнофакторний експеримент, за допомогою якого було встановлено залежність між ступенем гомогенізації (Y), амплітудою коливань поршня-ударника (X_1), частотою коливань (X_2) та подачею молока в імпульсний гомогенізатор (X_3) [9,10].

В результаті реалізації повнофакторного експерименту було отримано рівняння регресії в кодованому вигляді

$$Y = 4,88 + 0,694X_1 + 0,602X_2 - 0,588X_3 + 0,2X_1X_2 + 0,426X_1^2 - 0,663X_2^2 - 0,459X_3^2. \quad (7)$$

Для аналізу результатів повнофакторного експерименту, представлених у вигляді рівняння регресії (7), що адекватно описує процес імпульсної гомогенізації молока, пропонується номограмний метод, який дає можливість побачити одночасно вплив на параметр оптимізації всіх змінних незалежних факторів, що беруть участь у рівнянні регресії, тобто як вони впливають на реальний технологічний процес.

За допомогою комп'ютерної програми Mathcad і розробленої методики, побудовано номограму (рис.2) для аналізу й дослідження рівняння регресії (7).

Таким чином, поєднуючи отримані інтервали варіювання факторів, одержуємо, що для імпульсного гомогенізатора з подачею молока $Q = 1800 \dots 2000$ кг/год і ступенем гомогенізації 5 необхідно забезпечувати наступні технологічні параметри процесу гомогенізації: $h = 10 \dots 13$ мм та $f = 53 \dots 62$ Гц.

Відхилення теоретичних значень h та f від експериментальних у всьому діапазоні зміни параметрів знаходиться в межах 11%, що підтверджує адекватність отриманих даних.

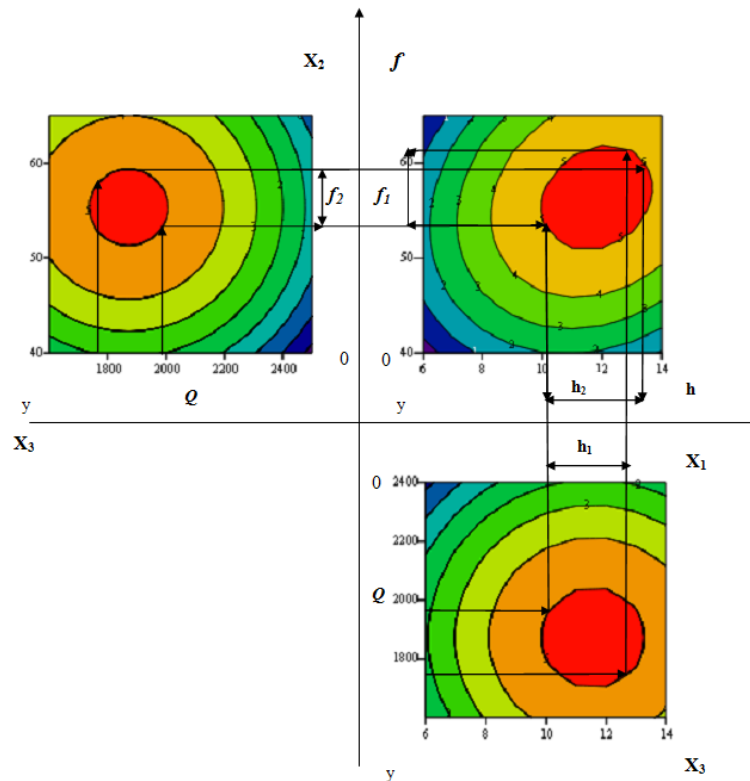


Рис. 2. Номограма для аналізу та визначення оптимальних параметрів факторів, що забезпечують ступінь гомогенізації молока в імпульсному гомогенізаторі не нижче 4.

З метою визначення питомої енергоємності процесу гомогенізації молока в імпульсному гомогенізаторі було проведено повнофакторний експеримент, за допомогою якого було встановлено залежність між енерговитратами на процес імпульсної гомогенізації (Y), амплітудою коливань поршня-ударника (X_1), частотою коливань (X_2) та подачею молока в імпульсний гомогенізатор.

Отримано рівняння регресії в кодованому вигляді

$$Y = 1,045 + 0,038X_1 + 0,032X_2 - 0,025X_3 + 0,19X_1^2 - 0,2X_2^2 - 0,2X_3^2. \quad (8)$$

За допомогою комп'ютерної програми Mathcad побудовано номограму (рис.3) для аналізу й дослідження рівняння регресії (8).

Шляхом поєднання інтервалів варіювання факторів було отримано, що для імпульсного гомогенізатора з подачею молока $Q = 1800 \dots 2250$ кг/год і $h = 10 \dots 12$ мм та $f = 43 \dots 59$ Гц енерговитрати на процес гомогенізації становлять 1,5 кВт, а питомі енерговитрати – 0,83 Дж/кг.

Відхилення теоретичних значень h та f від експериментальних у всьому діапазоні зміни параметрів менше 9%, що підтверджує адекватність отриманих даних.

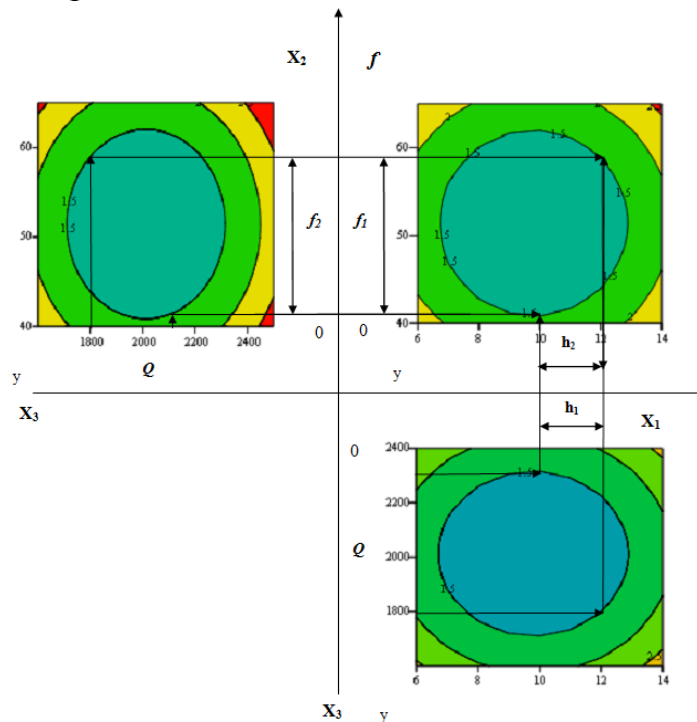
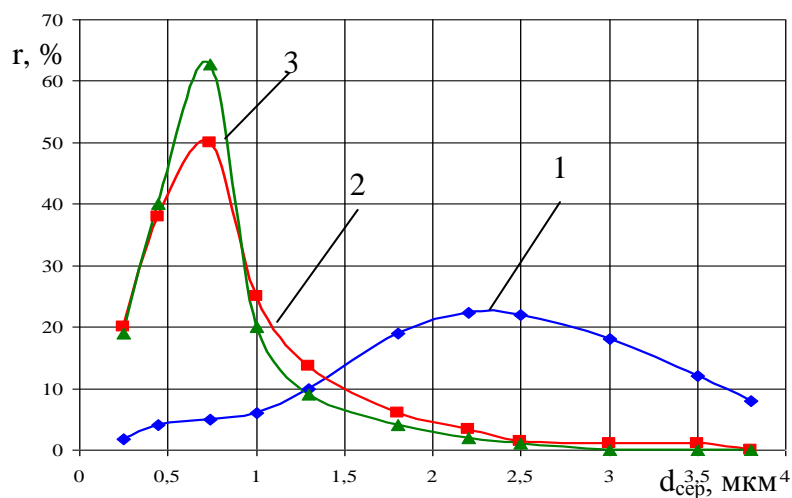


Рис. 3. Номограма для аналізу та визначення оптимальних параметрів факторів, що забезпечують мінімальні енерговитрати на процес імпульсної гомогенізації.

Крім цього було досліджено зміни у фракційному складі жирових кульок за розмірами після гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі в порівнянні з клапанною гомогенізацією, результати яких показані на рис. 4.

До гомогенізації молоко характеризується наступними параметрами: середній діаметр жирових кульок $d_{сер}=2,48$ мкм, дисперсія $\sigma =1,66$, коефіцієнт варіації (частка розсіювання признаку відносно середнього) $V=67\%$. Після клапанної гомогенізації і відповідно імпульсної гомогенізації ці показники становлять: $d_{сер}=0,98$ мкм та $0,80$ мкм, $\sigma =0,50$ та $0,46$, $V=51$ та 56% .

Середній діаметр жирових кульок при обробці імпульсним гомогенізатором зменшився на 19 % у порівнянні з клапанним, також зменшилося значення дисперсії, що в свою чергу свідчить про те, що обрані параметри і режими імпульсної гомогенізації забезпечують стабільність жирової фази молока після гомогенізації.



1 – необроблене молоко; 2 – після гомогенізації в клапанному гомогенізаторі при тиску 16 МПа та $t=65$ °С; 3 – після гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі при тиску 1,5 МПа та $t=65$ °С.

Рис. 4. Диференційні розподілення жирних кульок за розмірами.

Висновки. Приведені дослідження показали, що питання використання енергоефективного обладнання для диспергування молока на сьогоднішній день є дуже актуальними. Найбільш перспективним апаратом, який дозволяє отримати високу ступінь гомогенізації молока при низьких затратах енергії є імпульсний гомогенізатор. Проведені дослідження показали, що питомі енерговитрати на процес гомогенізації становлять 0,83 Дж/кг, що на 15 % нижче, ніж у відомих гомогенізаторах, при цьому ступінь диспергування становить 4...5. Отже, це все доводить доцільність використання імпульсного гомогенізатора в якості енергозберігаючого обладнання.

Література:

1. Wilbey R. A. Homogenization of milk. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2002. P. 1346–1349. DOI: 10.1016/b0-12-227235-8/00202-9.
2. Michalski M.-C., Januel C. Does homogenization affect the human health properties of cow's milk? *Trends in Food Science & Technology*. 2006. Vol. 17, № 8. P. 423–437. DOI: 10.1016/j.tifs.2006.02.004.
3. Huppertz T. Homogenization of Milk. Other Types of Homogenizer (High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification). *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2011. P. 761–764. DOI: 10.1016/b978-0-12-374407-4.00226-0.
4. Фиалкова Е. А. Гомогенизация. Новый взгляд: монография – справочник. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2006. 392 с.
5. Нужин Е. В., Гладушняк А. К. Гомогенизация и гомогенизаторы: монография. Одесса: Печатный дом, 2007. 264 с.

6. Ultra high pressure homogenization of almond milk: Physico-chemical and physiological effects / K. Brivibaa te al. *Food Chemistry*. 2016. Vol. 192. P. 82–89. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.06.063.

7. Cirona C. I. E., Gee V. L., Kelly A. L., Auty M. A. E. Comparison of the effects of high-pressure micro fluidization and conventional homogenization of milk on particle size, water retention and texture of non-fat and low-fat yoghurts. *International Dairy Journal*. 2010. Vol. 20, № 5. P. 314–320. DOI: 10.1016/j.idairyj.2009.11.018.

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

9. Паляничка Н. О. Технологічне обладнання для гомогенізації молока. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 1. С. 102-109. DOI: 10.31388/2078-0877-19-1-86-93.

10. Паляничка Н. О. Визначення шляхів зниження енерговитрат процесу гомогенізації молока. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. Дніпропетровськ, 2016. №1 (39). С. 53-56.

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДИСПЕРГУВАННЯ ЕМУЛЬСІЙ

Паляничка Н. О.

Анотація

Стаття присвячена розгляду проблеми зниження затрат енергії на процес гомогенізації молока. Встановлено, що дані апарати дозволяють отримати високу ступінь гомогенізації молока, однак мають значно завищені показники витрат енергії на процес. Проведений аналіз розробок останніх років показав, що найбільш перспективним способом диспергування молочної емульсії є імпульсна гомогенізація. Проведені дослідження показали, що питомі енерговитрати на процес гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі становлять 0,83 Дж/кг, при ступеню диспергування $Nm = 4...5$, що на 15% нижче, ніж у відомих гомогенізаторах. Це доводить доцільність використання імпульсного гомогенізатора в якості енергозберігаючого обладнання.

Ключові слова: диспергування, емульсія, енергоефективний, гомогенізація, молочний жир, імпульсний гомогенізатор, ступінь гомогенізації, клапанний гомогенізатор, витрати енергії.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ЭМУЛЬСИЙ

Паляничка Н. А.

Аннотация

Статья посвящена рассмотрению проблемы снижения расхода энергии на процесс гомогенизации молока. Установлено, что данные аппараты позволяют

получить высокую степень гомогенизации молока, однако имеют значительно завышенные показатели расхода энергии на процесс. Проведенные исследования показали, что удельные энергозатраты на процесс гомогенизации в импульсном гомогенизаторе составляют 0,83 Дж/кг, при степени гомогенизации $H_m = 4 \dots 5$, что на 15 % ниже, чем у известных гомогенизаторах. Это доказывает целесообразность использования импульсного гомогенизатора в качестве энергосберегающего оборудования.

Ключевые слова: диспергирование, эмульсия, энергоэффективный, гомогенизация, молочный жир, импульсный гомогенизатор, степень гомогенизации, клапанный гомогенизатор, затраты энергии.

USE OF ENERGY EFFICIENT EQUIPMENT FOR DISPERSING EMULSIONS

N. Palianychka

Summary

The article deals with the problem of reducing energy costs for the process of homogenization of milk. These devices allow to obtain a high degree of homogenization of milk, but have significantly inflated indicators of energy consumption for the process. And other existing types of homogenizers do not allow to obtain a high degree of homogenization of milk. Analysis of recent year's development has shown that impulsive homogenization is the most promising way of dispersing milk emulsions. The device allows to create conditions under which the gradient of the milk flow velocity occurs, which in turn contributes to a high degree of dispersion of milk fat. The peculiarity of the device is also quite low energy consumption for the process. Conducted theoretical studies of the process of impulsive homogenization of milk showed that to obtain a high degree of homogenization $H_m = 4 \dots 5$ in the impulsive homogenizer it is necessary to create certain conditions: the amplitude of oscillation of the piston-impactor 10... 12 mm, the frequency of oscillations 55... 65 Hz, the supply of milk in the impulse 1800... 2000 kg / h. Calculations of energy costs for the pulse homogenization process showed that the specific energy costs for the homogenization process are 0.82 J / kg. A full-factorial experiment was conducted to verify the accuracy of the theoretical calculations. During the experiment it was found that the specific energy consumption for the process of homogenization in the impulsive homogenizer is 0.83 J / kg, with the degree of dispersion $H_m = 4 \dots 5$. This in turn is 15% lower than 15% lower than in known homogenizers. The deviation of theoretical values from experimental values in the whole range of parameter changes is less than 9%, which confirms the adequacy of the obtained data. This proves the feasibility of using a pulse homogenizer as energy saving equipment.

Key words: dispersion, emulsion, energy efficient, homogenization, milk fat, impulsive homogenizer, degree of homogenization, valve homogenizer, energy consumption.