



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-2-1

УДК 637.134.001.57

К. О. Самойчук, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-3423-3510

С. В. Кюрчев, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0001-6512-8118

Н. О. Паляничка, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-8510-7146

В. О. Верхоланцева, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-1961-2149

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

e-mail: nadia.palianychka@tsatu.edu.ua, тел.: (098)9875160

## **ВПРОВАДЖЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДИСПЕРГУВАННЯ ЕМУЛЬСІЙ В ТЕХНОЛОГІЧНУ ЛІНІЮ ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА**

*Анотація.* Диспергування жирової емульсії шляхом гомогенізації є одним із найважливіших технологічних процесів в лінії переробки молока та виробництва молочної продукції. Від якості гомогенізації напряму залежать харчова цінність молока та продуктів його переробки, смакові властивості та засвоюваність його організмом людини. Тож до гомогенізаторів, які використовуються на підприємствах висуваються підвищені вимоги щодо якості кінцевого продукту. Окрім якості важливу роль в підборі обладнання відіграє показник питомих затрат енергії на процес. Так склалося, що найбільш розповсюджений тип гомогенізаторів є дуже енергозатратним. Дана стаття присвячена дослідженню ефективності диспергування жирової емульсії в імпульсному гомогенізаторі та впровадженню промислового зразка в технологічну лінію переробки молока.

*Ключові слова:* диспергування емульсій, гомогенізація, імпульсний гомогенізатор, якість, енергозатрати, технологічна лінія, жирова емульсія, ступінь гомогенізації.

*Постановка проблеми.* Диспергування жирової емульсії шляхом гомогенізації є невід'ємним та одним із найважливіших технологічних процесів в лінії переробки молока та виробництві молочної продукції [1]. Завдяки даній технологічній операції молочний жир, який міститься в молоці, подрібнюється до мікроскопічних розмірів, що в свою чергу значним чином підвищує харчову цінність молока та продуктів його переробки та покращує його сенсорно-смакові властивості. Молоко після гомогенізації значно краще засвоюється організмом людини, набуває більш однорідного кольору, смаку,



жирності, зменшується прояв жирової плівки при кип'ятінні та знижуються втрати молочного жиру при транспортуванні під час його переробки на підприємстві [2,3]. Тож до технологічного обладнання для гомогенізації пред'являються підвищені вимоги щодо якості кінцевого продукту. В умовах реалій сьогодення при виборі технологічного обладнання для диспергування молочного жиру звертають увагу не лише на якість гомогенізації, а й на питомі енергозатрати на процес, оскільки від цього напряму залежить собівартість готового продукту. Так склалося, що найбільш розповсюдженим типом гомогенізаторів, які на сьогоднішній день поставляються промисловістю є клапанні гомогенізатори. Вони забезпечують високу ступінь гомогенізації молочного жиру, однак при цьому споживають велику кількість електроенергії. Тому пошук та впровадження нових типів обладнання для диспергування молочного жиру в технологічну лінію переробки молока є дуже актуальним питанням.

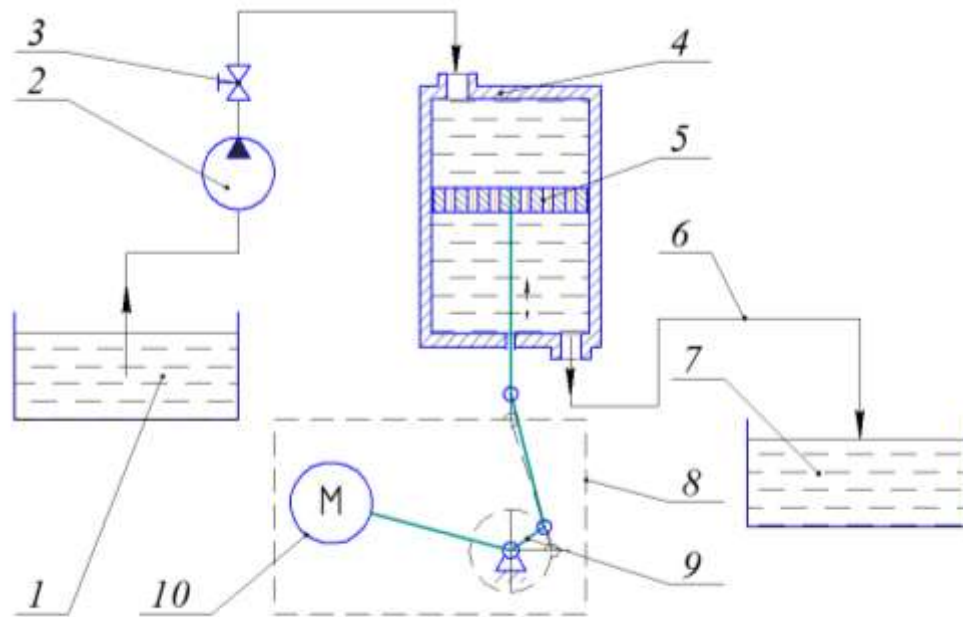
*Аналіз останніх досліджень.* Останнім часом дослідженням процесу диспергування молочного жиру шляхом гомогенізації займалася значна кількість вчених, таких, як Нужин Є. В., Орешина М. М., Фіалкова Є. О., Самойчук К. О., Innings F., Glawdel T., Liu C., Lu Y., Trägårdh C., тощо [2-8]. Слід зазначити, що більша частина робіт спрямована на вдосконалення вже існуючого технологічного обладнання з метою підвищення якості гомогенізації та зниження енергозатрат на процес і лише невелика кількість робіт присвячена дослідженню нових типів технологічного обладнання [7, 8]. Однак, все ж більшість із запропонованих пристроїв потребують подальшого вдосконалення, щоб отримати більш оптимальні показники ступеню диспергування та енерговитрат на процес диспергування.

В результаті проведеного аналізу було виділено найбільш перспективний тип гомогенізатора – імпульсний, який дозволяє отримати високу ступінь диспергування емульсії, при невисоких енерговитратах на процес.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою даної статті є дослідження ефективності диспергування молочного жиру в імпульсному гомогенізаторі та впровадженню промислового зразка в технологічну лінію переробки молока.

*Основна частина.* Проведений аналіз останніх досліджень, дозволив виділити з поміж багатьох апаратів імпульсний гомогенізатор, як найбільш перспективний для отримання високого ступеня гомогенізації молока при низьких затратах енергії [9]. Для проведення подальших досліджень на кафедрі обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика було

розроблено експериментальну модель імпульсного гомогенізатора (рис.1).



1, 7 – технологічні ємності відповідно для подачі та збирання молока; 2 – насос; 3 – вентиль; 4 – робоча камера гомогенізатора; 5 – поршень; 6 – трубопроводи; 8 – привід руху робочого органу; 9 – кривошипний механізм з регулятором амплітуди; 10 – електродвигун з електричним регулятором частоти обертання валу.

Рисунок 1. Схема експериментальної установки для дослідження імпульсної гомогенізації молока

Пристрій складається з ємностей для подачі молока у гомогенізатор 1 і накопичення обробленого молока 7, насоса подачі молока 2, вентиля 3 і робочої циліндричної прозорої камери імпульсного гомогенізатора 4, всередині якого розташований поршень 5 з отворами. Поршень приводиться в коливальні рухи приводом 8, який складається з електродвигуна 10 з електричним регулятором частоти обертання валу та кривошипного механізму 9 з можливістю регулювання радіусу кривошипу.

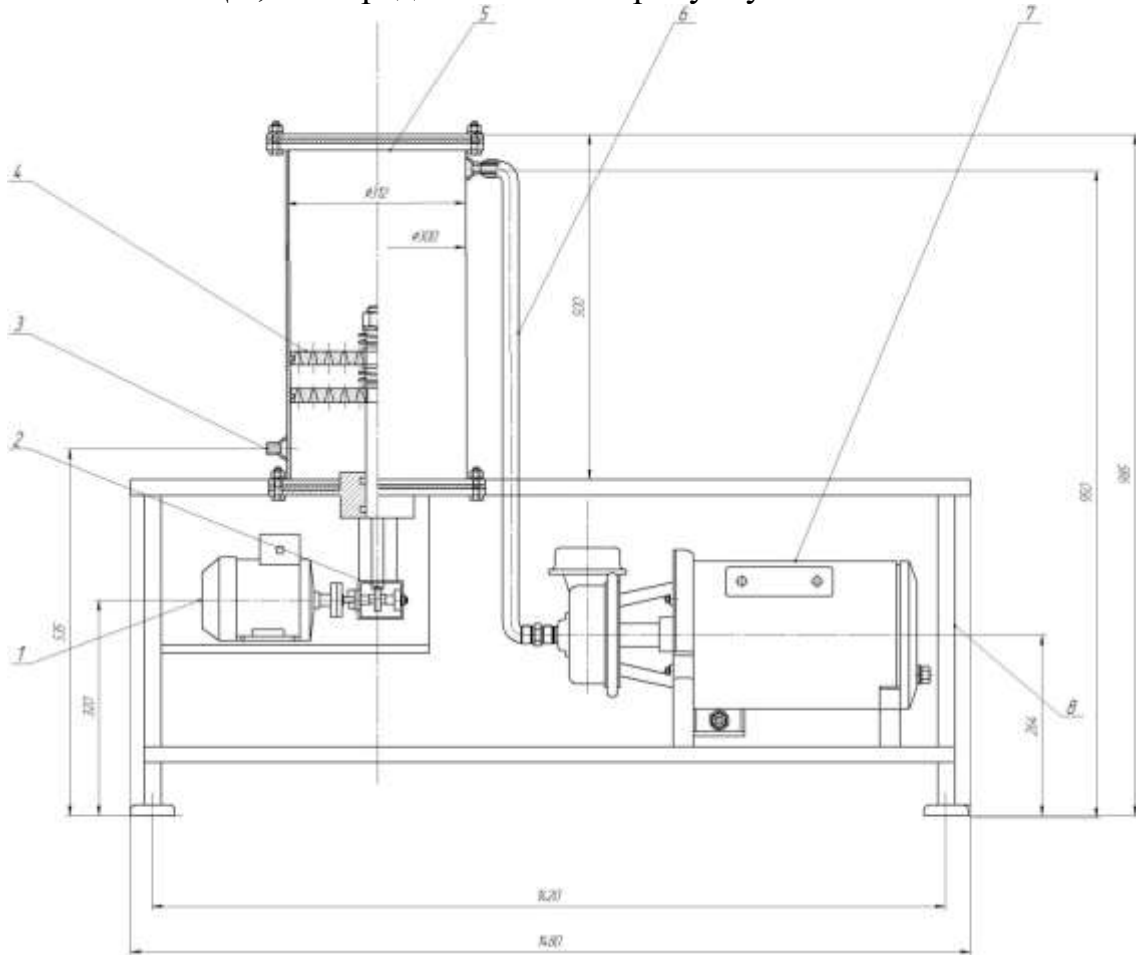
Диспергування жирових кульок молока в імпульсному типі гомогенізатора відбувається за рахунок утворення градієнту швидкості потоку емульсії, який виникає завдяки імпульсному коливанню поршня-ударника. Це призводить до подрібнення жирової емульсії молока і при цьому не потребує великих затрат енергії [8,9].

В результаті проведеного дослідження було визначено, що ступінь гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі становить  $N_m = 4...5$ , а енерговитрати на процес при цьому складають 0,82 Дж/кг, а це в свою чергу свідчить про високу ефективність технологічного обладнання.

З метою перевірки працездатності запропонованої конструкції імпульсного гомогенізатора в промислових умовах було розроблено дослідний зразок імпульсного гомогенізатора, який в подальшому пройшов виробничі випробування на базі приватного підприємства «Молочно-жировий комбінат «Південний» в технологічній лінії виробництва питного пастеризованого молока [10].

В якості насоса для імпульсного гомогенізатора було запропоновано використовувати відцентровий насос марки ОНЦ 1,5/15 ГОСТ 15150-69. Ці насоси досить універсальні і найчастіше застосовуються саме в молочній промисловості. Даний насос забезпечує подачу молока до 3500 л/год при частоті обертання 3000 об/хв. Кавітаційний запас насоса складає 1,5 м, коефіцієнт корисної дії – 38 %.

Варіант конструктивного рішення імпульсного гомогенізатора з насосом ОНЦ 1,5/15 представлений на рисунку 2.



1 – електродвигун; 2 – кривошип; 3 – робоча камера гомогенізатора; 4 – шток з поршнями-ударниками; 5 – трубопровід для подачі молока в камеру; 6 – ємність для сировини; 7 – насос; 8 – зварний каркас; 9 – ємність для готового продукту.

Рисунок 2. Промисловий зразок імпульсного гомогенізатора молока

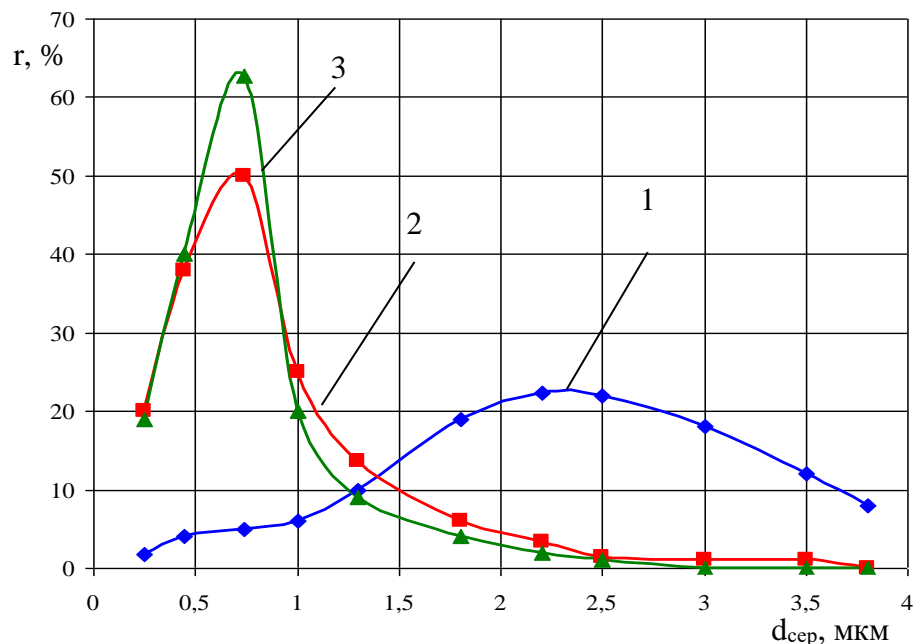


Машина представляє собою зварний каркас 8, в нижній частині якого знаходиться ємність для готового продукту 9, а у верхній частині – робоча камера гомогенізатора 3, ємність для сировини 6, під якою змонтований насос 7. Робоча камера являє собою циліндр, в середині якого знаходиться шток з поршнями-ударниками 4, який приводиться в дію кривошипним механізмом 2 і електродвигуном 1.

При проведенні дослідження технологія виробництва питного молока залишилася не змінною, крім режимів роботи імпульсного гомогенізатора. Рациональною температурою молока для імпульсної гомогенізації було встановлено 65...70 °С; частота і амплітуда коливання поршнів-ударників імпульсного гомогенізатора становила відповідно 55...59 Гц та 10...12 мм, а подача молока складала 1800...2000 кг/год.

Випробування показали, що використання імпульсного гомогенізатора дозволило знизити потужність на привід з 18,5 кВт до 2 кВт.

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 рисунку 3.



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.

Рисунок 3. Диференційні розподілення жирових кульок за розмірами



До гомогенізації молоко (жирністю 2,5 %) характеризується такими параметрами: середній діаметр жирових кульок  $d_{сеп} = 2,48$  мкм, дисперсія  $\sigma = 1,66$ , коефіцієнт варіації (частка розсіювання признаку відносно середнього)  $V = 67$  %. Після клапанної гомогенізації і відповідно імпульсної гомогенізації ці показники становлять:  $d_{сеп} = 0,98$  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 використання імпульсного гомогенізатора в технологічній лінії переробки молока забезпечують стабільність жирової фази готового продукту після гомогенізації.

Для перевірки якості готового пастеризованого молока після використання імпульсного гомогенізатора зразки молока були відправлені на незалежну експертизу до випробувальної лабораторії харчової продукції, продовольчої сировини та будівельних матеріалів Мелітопольської філії випробувального центру «ЗАПОРІЖЖЯСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ». Висновок лабораторії свідчить про відповідність питного пастеризованого молока, що пройшло гомогенізацію в імпульсному гомогенізаторі, вимогам ДСТУ 2661-94, які затверджені і введені в дію наказом Держстандарту України № 79 від 02.08.1999 р.

*Висновки.* Отже, не втрачає своєї актуальності питання дослідження технологічного обладнання для диспергування молочного жиру з метою виявлення найбільш ефективного, яке дозволить отримати високу якість готового продукту при мінімальних затратах енергії на процес та впровадити промисловий зразок в технологічну лінію переробки молока. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показали, що перспективним в даному сенсі є імпульсний гомогенізатор молока. Випробування промислового зразка гомогенізатора у виробничих умовах в лінії виробництва питного пастеризованого молока показали, що використання імпульсного гомогенізатора дозволяють отримати високу ступінь диспергування молочного жиру  $Hm = 4 \dots 5$  та знизити потужність на привід з  $18,5$  кВт до  $2$  кВт.

Список використаних джерел:

1. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Івженко А. О., Левченко Л. В. Аналіз конструкцій гомогенізаторів молочної промисловості. Праці ТДАТУ.: Мелітополь, 2016. Вип.16, Т.1. С. 9–15.
2. Drankhar P. Homogenization fundamentals. IOSR Journal of Engineering. 2014. Vol. 4. Iss. 5. 8 p.





[http://iosrjen.org/Papers/vol4\\_issue5%20\(part-4\)/A04540108.pdf](http://iosrjen.org/Papers/vol4_issue5%20(part-4)/A04540108.pdf).

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

4. Innings F., Trägårdh C. Visualization of the Drop Deformation and Break-Up Process in a High Pressure Homogenizer. *Chemical Engineering & Technology*. Volume 28, Issue 8, August, 2015. Pages 882–891. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ceat.200500080>

5. Фиалкова Е.А. Гомогенизация. Новый взгляд. Монография–справочник. Спб.: ГИОРД, 2006. 392 с.

6. Liu C., Li M., Liang C., Wang W. Measurement and analysis of bimodal drop size distribution in a rotor-stator homogenizer. *Chemical Engineering Science*. 2013. Vol. 102. P. 622–631. ISSN 0009-2509. DOI 10.1016/j.ces.2013.08.030

7. Орешина М. Н. Импульсное диспергирование многокомпонентных пищевых систем и его аппаратная реализация: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.18.12. М.: 2010. 50 с.

8. Glawdel T., Elbuken C., CL Ren I. Droplet formation in microfluidic T-junction generators operating in the transitional regime. *Experimental observations*. - *Physical Review E*, 2012. APS.

9. Паляничка Н. О. Визначення основних параметрів і режимів роботи промислового зразка імпульсного гомогенізатора молока. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2015. Вип. 15, Т.1. С. 187–191. <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/886/1/24.pdf>

10. Самойчук К. О., Паляничка Н. О., Циб В. Г., Антонова Г. В. Використання імпульсного гомогенізатора в молочній промисловості. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. Вип. 19, т. 2. С. 12–17. <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/7003>

Стаття надійшла до редакції 12.04.2022

**K. Samoichuk, S. Kiurchev, Palianyehka, V. Verkholtantseva**  
**Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university**

## **INTRODUCTION OF HIGHLY EFFICIENT EQUIPMENT FOR DISPERSION OF EMULSIONS INTO THE TECHNOLOGICAL LINE OF MILK PROCESSING**

### **Summary**

The article is devoted to the study of effective equipment for dispersing emulsions and the introduction of industrial design in the technological line of milk processing. Dispersion of fat emulsion by homogenization is one of the most important technological processes in the line of milk processing and dairy production. The nutritional value of



milk and products of its processing, taste properties and digestibility by the human body directly depend on the quality of homogenization. Therefore, the homogenizers used in enterprises are subject to increased requirements for the quality of the final product. In addition to quality, the indicator of specific energy costs for the process plays an important role in the selection of equipment. It so happened that the most common type of homogenizers is very energy consuming. As a result of the analysis, the most promising type of homogenizer was identified - pulsed, which allows to obtain a high degree of dispersion of the emulsion, with low energy consumption for the process.

Dispersion of fat balls of milk in the pulse type of the homogenizer occurs due to the formation of a gradient of the emulsion flow rate, which occurs due to the pulse oscillation of the piston-drum. This leads to the grinding of the fat emulsion of milk and does not require large expenditures of energy.

As a result of the study it was determined that the degree of homogenization in the pulse homogenizer is 4...5, and energy consumption for the process is 0.82 J / kg, which in turn indicates the high efficiency of technological equipment.

In order to test the performance of the proposed design of pulse homogenizer in industrial conditions, a prototype of pulse homogenizer was developed, which subsequently passed production tests on the basis of the private enterprise «MZK «Pivdenniy "in the production line of pasteurized drinking milk.

Tests have shown that the use of a pulse homogenizer has reduced the power per drive from 18.5 kW to 2 kW.

**Key words:** dispersion of emulsions, homogenization, pulse homogenizer, quality, energy consumption, production line, fat emulsion, degree of homogenization.