



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-6

УДК 637.134.001.57

Н. О. Паляничка<sup>1</sup>, канд. техн. наук ORCID: 0000-0001-8510-7146  
В. О. Верхоланцева<sup>1</sup>, канд. техн. наук ORCID: 0000-0003-1961-2149  
О. О. Червоткіна<sup>1</sup>, асистент ORCID: 0000-0002-6814-0566  
О. О. Ковальов<sup>1</sup>, к канд. техн. наук ORCID: 0000-0002-4974-5201  
В. Ф. Ялпачик<sup>1</sup>, д-р техн. наук ORCID: 0000-0002-0349-2448

<sup>1</sup> *Таврійський державний агротехнологічний університет*

*імені Дмитра Моторного*

e-mail: nadia.palianychka@tsatu.edu.ua, тел. +380989875160

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДИСПЕРГУВАННЯ МОЛОЧНОГО ЖИРУ В ІМПУЛЬСНОМУ ГОМОГЕНІЗАТОРІ

*Анотація.* Проведений аналіз технологічного обладнання для диспергування молочного жиру, яке використовується на сьогоднішній день в молочній промисловості, показало, що найбільш перспективним типом обладнання є імпульсний гомогенізатор. Даний тип обладнання дозволяє отримати високоякісний молочний продукт із значно нижчими витратами енергії на процес. Було проведено дослідження процесу диспергування молочного жиру в імпульсному гомогенізаторі молока, яке дозволило встановити фактори і сили, які впливають на якість гомогенізації, що в подальшому дозволить регулювати даний технологічний процес у виробничих умовах. За допомогою комп'ютерного моделювання було отримано модель роботи імпульсного гомогенізатора та проаналізовано принцип його роботи.

*Ключові слова.* Диспергування, молочний жир, імпульсний гомогенізатор, фактори, жирові кульки, поршень-ударник, ступінь гомогенізації.

*Постановка проблеми.* Під диспергуванням розуміють тонке подрібнення твердої або рідкої речовини (тіла) в навколишньому середовищі, що його оточує, в результаті чого можна отримати більш однорідну форму, наприклад суспензію або емульсію. Даний процес найбільш розповсюджений у хімічній, фармакологічній, косметологічній промисловості, в сільському господарстві, а також у харчовій та переробній галузі [1, 2]. Що стосується переробної промисловості, то тут найбільшого розповсюдження процес диспергування набув в молокопереробній галузі. Завдяки диспергуванню молочного жиру значно покращуються смакові якості молочної продукції, підвищується стійкість при зберіганні, покращується засвоюваність молочного жиру, тощо. Для диспергування молочного жиру використовують обладнання, яке називається гомогенізаторами. Найбільш розповсюдженим



гомогенізатором, який до теперішнього часу, використовують на підприємствах – є клапанний гомогенізатор [3, 4]. Він набув своєї популярності завдяки простоті використання та якості отримання кінцевого продукту. Однак, не дивлячись на свої досить вагомні позитивні сторони, даний тип обладнання має досить суттєві недоліки, а саме: великі габаритні розміри та високу енергоємність. Це в свою чергу спонукає до дослідження процесу диспергування, модернізації та виготовлення нових типів машин для диспергування, які дозволять знизити витрати енергії на процес, при цьому не втрачаючи високу якість кінцевого продукту, як після використання клапанного гомогенізатора. Тому, актуальність даного питання, на сьогоднішній день, не втрачається, а навпаки – постійно підвищується.

*Аналіз останніх досліджень.* Дослідженням процесу диспергування молочного жиру займалась достатня кількість вчених, таких, як: Вайткус В. В., Барановський Н. В., Грановський В. Я., Дітякін Ю. Ф., Promtov M. A., Ліпатов М. Н., Нужин Є. В., Орешина М. М., Фіалкова Є. О., Drankhar P., Liu C., Lu Y., Trägårdh S. [2, 4, 5, 6, 7, 8]. Аналіз даних робіт показав, що, на сьогоднішній день, відсутня єдина визначена теорія процесу гомогенізації [9, 10, 11]. Це пояснюється тим, що жирові кульки мають мікроскопічний розмір, а також досить високу швидкість руху, що ускладнює спостереження цього процесу [12, 13]. Крім цього, більшість робіт присвячено дослідженню процесу диспергування молочного жиру саме в клапанному гомогенізаторі, однак, як було зазначено вище, даний тип обладнання досить енергоємний [14, 15, 16]. Однак, внаслідок аналізу було виділено досить перспективний тип гомогенізатора, який в змозі буде диспергувати молочний жир до необхідних, згідно технологічних вимог, розмірів, при цьому витрачаючи значно менше енергії на процес, ніж всім відомий клапанний гомогенізатор – це імпульсний гомогенізатор. [17, 18]. Тому подальші дослідження процесу проводились з використанням саме імпульсного гомогенізатора молока.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою даної статті є дослідження процесу диспергування молочного жиру в імпульсному гомогенізаторі молока, щоб мати змогу впровадити даний тип обладнання у технологічну лінію виробництва молочної продукції на молокопереробних підприємствах.

*Основна частина.* Проведений попередній аналіз теоретичних досліджень показав, що імпульсний тип гомогенізатора має складатися з технологічних ємностей для подачі молока та збирання готового продукту, перепускних вентилів, робочої камери, всередині якої знаходиться поршень-ударник, приводу машини та насосу [19].

Для проведення подальших досліджень, виходячи із результатів аналізу було побудовано модель робочої камери імпульсного гомогенізатора за допомогою системи автоматизації проектних робіт в трьох вимірах Solidworks [20], схема якої представлена на рис. 1.

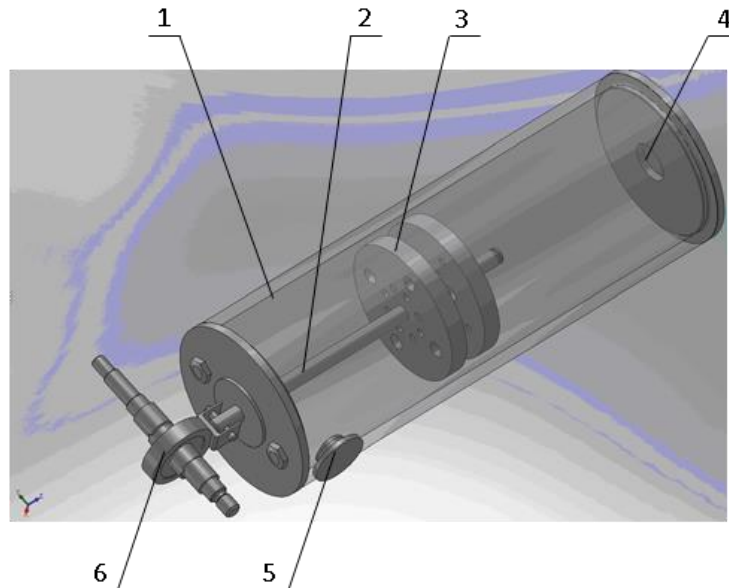


Рис. 1. Модель робочої камери імпульсного гомогенізатора виконана в Solidworks: 1 – циліндр; 2 – шток; 3 – поршні-ударники; 4 – патрубок підведення вихідного молока; 5 – патрубок відведення гомогенізованого молока; 6 – кривошипний механізм

Провівши узагальнення уявлень процесу отримання дрібнодисперсних емульсій шляхом гомогенізації більшості розробників і дослідників гомогенізаторів, було встановлено в імпульсному гомогенізаторі процес диспергування молочного жиру відбувається наступним чином [21, 22]. При коливанні поршнів-ударників дисперсійне середовище захоплює в рух жирову частку й з урахуванням цього формується відносний рух середовища і частки. Середовище, що рухається відносно поверхні жирової кульки, динамічно впливає на поверхню, і цей вплив визначається п'ятьма факторами. По-перше, гідростатичний тиск, який чиниться на жирову кульку з боку середовища, створює сили опору через нерівномірний розподіл тиску. По-друге, дотичні напруження, зумовлені градієнтами в'язкості та швидкості на поверхні, створюють сили, спрямовані по дотичній до поверхні. По-третє, різні тиски вздовж поверхні внаслідок динамічних ефектів створюють сили, перпендикулярні до поверхні. По-четверте, коли сильні коливання поширюються через рідину, спостерігається ефект, який називається кавітацією, що генерує додаткові сили [23]. По-п'яте, інерційні сили виникають в результаті зміни напрямку коливань поршневого ударника.



Всі ці сили створюють дотичні, нормальні та кавітаційні напруження на частинки жиру. Дотичні напруження намагаються деформувати та обертати частинку. Нормальні напруження є переривчастими і створюють різницю тиску між внутрішньою і зовнішньою фазами. Кавітаційні напруження сприяють руйнуванню бульбашок і подальшому відриву частинок від основної частинки.

Крім того, інерційні сили вносять свій вклад в градієнт швидкості і, отже, мають значний вплив на жирові кульки під час процесу імпульсної гомогенізації.

Немає сумнівів, що імпульсна вібрація сприяє створенню градієнта швидкості і призводить до подрібнення жирових кульок. Однак, якщо поршневий ударний елемент вібрує з тією ж частотою, градієнт швидкості є нижчим.

Для покращення цього показника встановлюють додатковий ударний поршень, який з'єднаний з основним поршнем пружиною. Пружина змушує цей поршень коливатися набагато сильніше, ніж основний, в результаті чого утворюються дві гомогенізації: між поршнями і за додатковим поршнем.

Як вже згадувалося, інерційні сили, що виникають в результаті зміни напрямку коливань поршня-ударника, сприяють виникненню градієнта швидкостей, що призводить до дроблення жирових кульок.

Поршні-ударники (основний і додатковий) мають наскрізні отвори і можуть подрібнювати жирові кульки в залежності від типу клапанного гомогенізатора.

А саме, в отворах і каналах поршня-ударника (клапанний тип гомогенізації) і при виході струминного потоку з отворів і кільцевих каналів додаткового поршневого ударника (струминний тип гомогенізації) за рахунок утворення градієнта швидкостей.

Таким чином, при імпульсній гомогенізації застосовується теорія руйнування за критерієм Вебера, а співвідношення градієнтів швидкостей визначається наступним рівнянням [23]

$$We = \frac{\rho_c \cdot u^2 \cdot d_k}{\sigma}, \quad (1)$$

де  $u$  – відносна швидкість краплі та оточуючого середовища, м/с ;

$d_k$  – критичний діаметр частки, м;

$\sigma$  – поверхневий натяг краплі, Н/м.

Ще одним дуже важливим фактором, який впливає на ступінь диспергування молочного жиру в імпульсному гомогенізаторі є геометрична форма отворів поршня-ударника. Як було визначено вище, визначальною для диспергування молочного жиру в імпульсному гомогенізаторі є швидкість потоку молока, тому встановлено було, що оптимальною формою для даного типу



обладнання - є конічна форма отворів з кутом конусності  $45^\circ$ , що забезпечує максимальну швидкість струменя і максимальну продуктивність:  $\varphi = 0,983$ ,  $\varepsilon = 0,983$ ,  $\mu = 0,857$ .

Діаметр отвору поршня-ударника обмежений діаметром поршня і технічною можливістю виготовлення конічного отвору з мінімальним діаметром та приймається рівним 2 мм, так, як і зазор між внутрішнім діаметром робочої камери.

Таким чином, враховуючи вищезазначені фактори, модифікований критерій Вебера для дослідження процесу імпульсної гомогенізації буде мати наступний вигляд

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

де  $\rho_{пл}$  – густина плазми молока,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\frac{dv}{dx}$

– зміна градієнту швидкості потоку,  $\text{м/с}$ ;

$d_k$  – критичний діаметр частки,  $\text{м}$ ;

$\sigma_{ж-п}$  – поверхневий натяг краплі,  $\text{Н/м}$ .

У відповідності з правилом Антонова,  $\sigma_{ж-п}$  визначається як різниця поверхневих натягів жиру та плазми відносно загального газу (повітря)

$$\sigma_{ж-п} = \sigma_n - \sigma_{ж}, \quad (3)$$

де  $\sigma_n$  – поверхневий натяг на границі фаз "плазма – повітря",  $\text{Н/м}$ ,

$\sigma_n = 0,054 \text{ Н/м}$ ;

$\sigma_{ж}$  – поверхневий натяг на границі фаз "жир – повітря",  $\text{Н/м}$ ,

$\sigma_{ж} = 0,030 \text{ Н/м}$ .

$$\sigma_{ж-п} = 0,054 - 0,030 = 0,024 \text{ Н/м}.$$

Якщо на вході в камеру з поршнем не створювати надлишковий тиск ( $\Delta p = 0$ ), то подача продукту через поршні при їх вібрації буде відбуватися за рахунок:

– надлишкового тиску, що створюється під впливом ваги рідини над поршнями

$$\Delta p = \rho_c \cdot g \cdot H, \quad (3.12)$$

де  $H$  – висота ствола рідини над поршнем,  $\text{м}$ ;

– різного коефіцієнта витрат для коноїдального та конусного типів отворів в поршнях-ударниках при русі рідини через них в прямому та зворотньому напрямках.

Насосний ефект буде тим більший, чим більша різниця між  $\mu$  при зворотньому русі рідини [19, 23].

Для конічних отворів, що сходяться з кутом  $45^\circ$   $\mu = 0,857$ .

– в прямому русі, а в зворотньому  $\mu = 0,62$ .

$$\Delta\mu = 0,857 - 0,620 = 0,237.$$

Для коноїдальних  $\Delta\mu = (0,947...0,979) - 0,815 = 0,132...0,164$ .

Отже для конічних отворів насосний ефект і продуктивність буде вищі ніж для коноїдальних.

При коливальному русі поршня при його русі вниз рідина під тиском проходить через отвори і щілину між поршнем та стінками камери (рис. 2).

При цьому  $p_1 > p_2$  і жирові кульки, проходячи крізь отвори і щілину, подрібнюються за тим самим механізмом, як це відбувається в клапанному гомогенізаторі. При виході з отворів струмені вприскуються в оточуючий продукт і виникає градієнт швидкості, що руйнує жирові кульки.

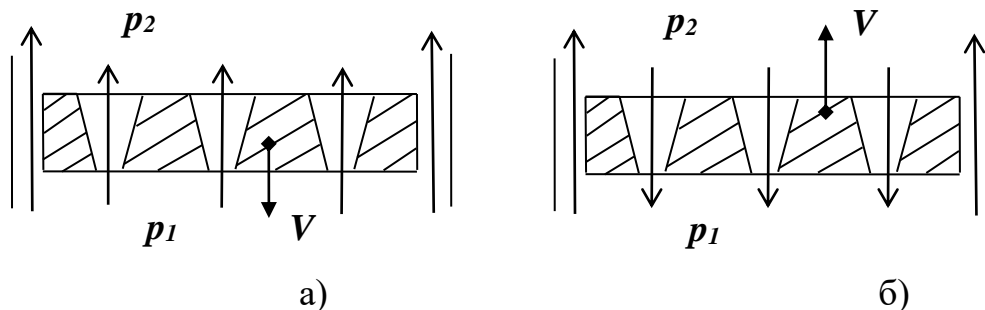


Рис. 2. Схема руху продукту крізь отвори поршня-ударника імпульсного гомогенізатора: а) при коливальному русі поршня-ударника вниз; б) при коливальному русі поршня-ударника вгору

Таким чином, в процесі диспергування молочної емульсії в імпульсному гомогенізаторі можна виділити два етапи: диспергування у отворах та каналах поршня і при виході струменів з отворів і з кільцевого каналу.

Для достатнього диспергування у отворах по типу клапанної гомогенізації необхідний тиск 15...25 МПа, що енергетично неефективно [9,24]. Тому основним етапом диспергування молочної емульсії буде етап дроблення струменя при виході його з отворів поршня і з щілини між поршнем і стінками.

При русі поршня вгору процес повторюється у зворотньому напрямку.

Таким чином емульсія рухається через отвори і щілину, проходячи так декілька разів (циклів).

Як відомо [24, 25] багатоступінчаста обробка молока дозволяє знизити тиск гомогенізації і зменшити енерговитрати.

Проведені експериментальні дослідження показали, що в результаті диспергування молочного жиру в імпульсному гомогенізаторі, з урахуванням встановлених факторів було отримано



ступінь гомогенізації  $N_m = 4...5$  при градієнті швидкості 2,2...5 м/с, тиску в центрі робочої камери 1,44...1,49 МПа та енерговитратам на процес диспергування – 0,82 Дж/кг, що свідчить про ефективність використання імпульсного гомогенізатора в ліній переробки молочної продукції на молокопереробних підприємствах.

*Висновки.* Процес диспергування є досить розповсюдженим процесом для багатьох галузей промисловості, де необхідно отримати тонкодисперсну емульсію чи суспензію. Для молокопереробної галузі процес диспергування молочного жиру є невід'ємною частиною всіх технологічних операцій з виробництва молочної продукції. До теперішнього часу найбільш розповсюдженим типом обладнання, яке використовується на підприємствах – є клапанні гомогенізатори, які характеризуються своєю високою енергоємністю на процес диспергування. Проведені дослідження показали, що найбільш перспективним типом гомогенізатора, який дозволить в значній мірі знизити витрати енергії на процес, при достатньо високій якості кінцевого продукту – це імпульсний гомогенізатор. Було проведено дослідження, яке допомогло встановити механізм диспергування молочного жиру в імпульсному гомогенізаторі та визначені основні фактори, від якого залежить результат процесу. Проведено комп'ютерне моделювання робочої камери гомогенізатора та розраховано основні показники процесу диспергування. Встановлено, що в результаті диспергування молочного жиру в імпульсному гомогенізаторі, з урахуванням встановлених факторів було отримано ступінь гомогенізації  $N_m = 4...5$  при градієнті швидкості 2,2...5 м/с, тиску в центрі робочої камери 1,44...1,49 МПа та енерговитратам на процес диспергування – 0,82 Дж/кг, що свідчить про ефективність використання імпульсного гомогенізатора в ліній переробки молочної продукції на молокопереробних підприємствах. В подальшому планується проведення експериментальних досліджень процесу диспергування молочного жиру в умовах підприємства в ліній переробки питного молока з метою встановлення основних параметрів і режимів імпульсного гомогенізатора та перевірки адекватності отриманих даних.

*Список використаних джерел:*

1. Huppertz T. Homogenization of Milk | Other Types of Homogenizer (High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification). *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2011. P. 761–764.
2. Drankhar P. Homogenization fundamentals. *IOSR Journal of Engineering*. 2014. Vol. 4(5). P. 8. URL: [www.iosrjen.org/Papers/vol4issue5%20\(part-4\)/A04540108.pdf](http://www.iosrjen.org/Papers/vol4issue5%20(part-4)/A04540108.pdf) (дата звернення 28.02.2024).



3. Homogenizer Handbook Processing of Emulsions and Dispersions. APV, An SPX Brand, 2009. P. 23.
4. Wilbey R. A. Homogenization of Milk: Principles and Mechanism of Homogenization, Effects and Assessment of Efficiency: Valve Homogenizers. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2011. P. 750–754.
5. 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.
6. Ahmad T. Homogenization-Centrifugation. *Dairy Plant Engineering and Management*. 2012. Ch. 10. P. 237–247.
7. Håkansson A., Fuchs L., Innings F., Revstedt J., Trägårdh C. & Bergenståhl B. Turbulent Velocity Fields Measurements of Two Phase Flow in a High Pressure Homogenizer Scale Model. *Submitted to journal*. 2016. Vol. 69. P. 320-342.
8. Innings F., Trägårdh C. Visualization of the Drop Deformation and Break-Up Process in a High Pressure Homogenizer. *Chemical Engineering & Technology*. 2015. Vol. 28(8). P. 882–891. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ceat.200500080> (дата звернення 11.03.2024).
9. 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.
10. Peng J., Dong W., Li L., Xu J., Jin D., Xia X., Liu Y. Effect of high-pressure homogenization preparation on mean globule size and large-diameter tail of oil-in-water injectable emulsions. *Journal of Food and Drug Analysis*. 2015. Vol. 23(4). P. 828-835. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.04.004>.
11. Postelmans A., Aernouts B., Jordens J., Van Gerven T., Saeys W. Milk homogenization monitoring: Fat globule size estimation from scattering spectra of milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. Vol. 60. no 102311. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102311>.
12. Ashokkumar M., Rink R., Shestakov S. Hydrodynamic cavitation – an alternative to ultrasonic food processing. *Technical Acoustics*. 2011. Vol. 9. P. 156–166.
13. Brivibaa K., Gräfc V., Walzc E., Guamisd B., P. Butz P. Ultra high pressure homogenization of almond milk: Physico-chemical and physiological effects. *Food Chemistry*. 2016. Vol. 192. P. 82–89.
14. Rayner Marilyn, Dejmek Petr. Engineering Aspects of Emulsification and Homogenization in the Food Industry. CRCpress Taylor Ftancis group London, 2015. 322 p.





15. Håkansson A., Fuchsb L., Inning F., Revstedt J., C. Trägårdh C., Bergenståhl B. On flow-fields in a high pressure homogenizer and its implication on drop fragmentation. *Procedia Food Science*. 2011. № 1. P. 1353–1358.

16. Самойчук К. О. Розвиток наукових основ гідродинамічного диспергування молочних емульсій: автореф. дис. на здобуття ступеню д-ра техн. наук: 05.18.12 / Харківський держ. ун-т харч. та торгівлі. Харків, 2018. 44 с.

17. Самойчук К. О., Івженко А. О., Султанова В. О. Дослідження імпульсного гомогенізатора молока. *Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: тези доповідей міжнар. наук.–практ. конф. (8–11 вер. 2015 р., Мелітополь–Кирилівка)*. Харків: ХДУХТ, 2015. С. 91–92.

18. Deynichenko G., Samoichuk K., Yudina T., Levchenko L., Palianychka N., Verkhohantseva V., Dmytrevskyi D., Chervonyi V. Parameter optimization of milk pulsation homogenizer. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2018. Vol. 24. P. 63-67.

19. Гвоздєв О. В., Самойчук К. О., Паляничка Н. О. Комп'ютерне моделювання імпульсного гомогенізатора молока з використанням програмного забезпечення Ansys Workbench. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2012. Вип. 28. С. 294–299.

20. Dagar N., Sharma R., Lal Rinawa M., Gupta S., Chaudhary V., Gupta P. Design and analysis of piston using aluminum alloy and composites in Solidworks and Ansys. *Materials Today. Proceedings*. 2022. Vol. 67(5). P. 784-791. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.318>.

21. Паляничка Н. О. Аналіз існуючих гіпотез руйнування жирових кульок. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2010. Вип. 10, т. 3. С. 48–54.

22. Самойчук К. О., Паляничка Н. О. Аналіз сил, що діють на жирову кульку під час гомогенізації. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2010. Вип. 10, т. 3. С. 87–92.

23. Паляничка Н. О. Модель подрібнення жирової фази молока при імпульсній гомогенізації. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2014. Вип. 14, т. 1. С. 24-29.

24. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Левченко Л. В. Вплив кратності обробки молочної емульсії в пульсаційному гомогенізаторі. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2016. Вип. 2(24). С. 226–233.

25. Самойчук К. О. Багатократна і багатоступінчаста гомогенізація молока. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2018. Вип. 18, т. 1 С. 22–28.

Стаття надійшла до редакції 15.04.2024



N. Palianychka<sup>1</sup>, V. Verkholtantseva<sup>1</sup>, O. Chervotkina<sup>1</sup>, A. Kovalov<sup>1</sup>, V. Yalpachyk<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

### STUDY OF THE PROCESS OF DISPERSING MILK FAT IN A PULSE HOMOGENIZER

#### *Summary*

Dispersion process is a fairly widespread process for many industries, where it is necessary to obtain a finely dispersed emulsion or suspension. For the milk processing industry, the process of dispersing milk fat is an integral part of all technological operations for the production of dairy products. Until now, the most widespread type of equipment used at enterprises is valve homogenizers, which are characterized by their high energy consumption for the dispersion process. Conducted research has shown that the most promising type of homogenizer, which will allow to significantly reduce energy costs for the process, with a sufficiently high quality of the final product, is a pulse homogenizer. A study was conducted that helped to establish the mechanism of milk fat dispersion in a pulse homogenizer and identified the main factors on which the result of the process depends. It was established that the dispersion of milk fat in the pulse homogenizer occurs due to the formation of a gradient of the milk flow rate. In the process of dispersing the milk emulsion in the pulse homogenizer, two stages can be distinguished: dispersion in the holes and channels of the piston and when the jets exit the holes and from the annular channel. Another very important factor that affects the degree of dispersion of milk fat in the pulse homogenizer is the geometric shape of the holes of the impactor piston. The study showed that the optimal shape for a pulse homogenizer is a conical shape with a taper angle of 45° and a diameter of 2 mm. Computer modeling of the working chamber of the homogenizer was carried out and the main indicators of the dispersion process were calculated. It was established that as a result of the dispersion of milk fat in the pulse homogenizer, taking into account the established factors, the degree of homogenization  $H_m = 4...5$  was obtained at a speed gradient of 2,2...5 m/s, the pressure in the center of the working chamber was 1,44...1,49 MPa and the energy consumption for the dispersion process – 0,82 J/kg, which indicates the effectiveness of using the pulse homogenizer in the milk processing lines at milk processing enterprises.

**Keywords.** Dispersion, milk fat, impulse homogenizer, factors, fat globules, impactor piston, degree of homogenization.