



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-14

УДК 637.134.001.57

Н. О. Паляничка, к.т.н., доц. ORCID: 0000-0003-1248-4068
В. О. Верхоланцева, к.т.н., доц. ORCID: 0000-0003-1961-2149
О. О. Червоткіна, асист. ORCID: 0000-0002-6814-0566
О. О. Ковальов, к.т.н., ст. викл. ORCID: 0000-0002-4974-5201

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
e-mail: nadiia.palianychka@tsatu.edu.ua, тел.: 098-987-51-60

ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ІМПУЛЬСНОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА

Анотація. Під гомогенізацією розуміють технологічний процес, який дозволяє отримати однорідну суміш з інгредієнтів, які зазвичай не змішуються. Використовується у сільському господарстві, хімічній, переробній, фармацевтичній, косметологічній галузях. Однак найбільшого розповсюдження отримав у харчовій промисловості при виробництві молочної продукції. Обладнання, яке використовують для гомогенізації називають гомогенізаторами. Основною проблемою розповсюджених типів гомогенізаторів є їх висока енергоефективність. В даній статті обґрунтовано доцільність виробництва лабораторної установки імпульсного гомогенізатора, приведено методику його розробки, основні розрахунки та вимоги до виготовлення.

Ключові слова. Гомогенізація, імпульсний гомогенізатор, лабораторна установка, експериментальні дослідження якості, енергозатрати, ступінь гомогенізації.

Постановка проблеми. Процес гомогенізації у харчовій промисловості є дуже розповсюдженим на сьогоднішній день. З його використанням обробляють продукти у рідкому та пастоподібному стані, які дуже погано змішуються між собою (яєчні меланжі, соуси, суміші "молочна основа – рослинний жир", тощо). Завдяки цьому готовий продукт набуває однорідності та не розшаровується при тривалому зберіганні та транспортуванні [1, 2]. Найчастіше для даної технологічної операції використовують клапанні типи гомогенізаторів. Головною причиною вибору цих гомогенізаторів є висока ступінь диспергування кінцевого продукту. Однак, поряд з цим вони мають ряд суттєвих недоліків, таких, як великі витрати енергії на процес диспергування, значні габаритні розміри обладнання та масу, а також



підвищену вартість [2-4]. Не дивлячись на це, їх все ж таки найчастіше використовують у зв'язку з відсутністю альтернативного типу обладнання, яке зможе дозволити отримати високу якість готового продукту. Тому актуальним залишається питання розробки гомогенізаторів, які зможуть досягти необхідного ступеня диспергування при значно нижчих витратах енергії на процес.

Аналіз останніх досліджень. Проведений аналіз наукових робіт вчених Drankhar P., Innings F., Glawdel T., Liu C., Håkanssona, A., Promtov M. A., Барановського Н. В., Орешіної М. М., Фіалкової Є. О., та інш. дозволив дійти висновку, що існуючі типи гомогенізаторів потребують вдосконалення задля отримання високоякісних продуктів при низьких енерговитратах [2-8]. Найбільш перспективним типом технологічного обладнання, який дозволить задовольнити поставлені задачі є імпульсний тип гомогенізатора. Конструкція даного обладнання дозволяє створити умови для отримання високого ступеня диспергування кінцевого продукту і при цьому не потребує великих затрат енергії для приведення гомогенізатора в дію [10-12].

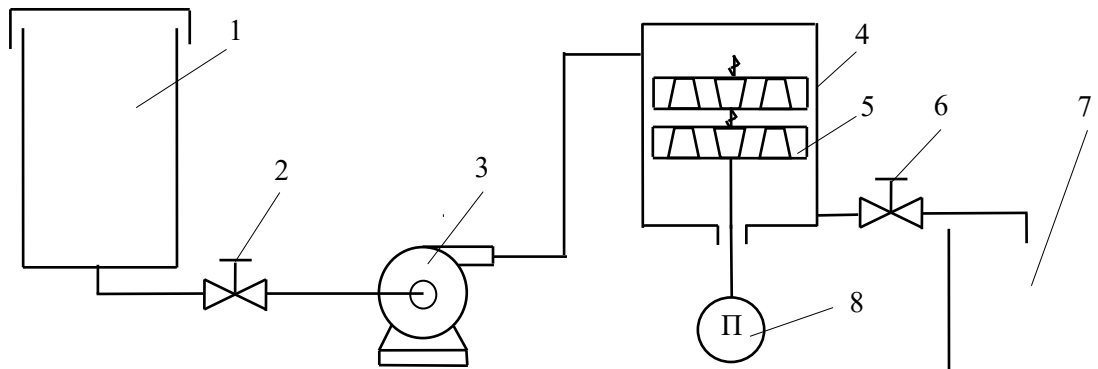
Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою даної статті є обґрунтування доцільності виробництва лабораторної установки імпульсного гомогенізатора, приведення методики його розробки, основних розрахунків та вимог до його виготовлення.

Основна частина. Проведені теоретичні дослідження дозволили встановити, що отримати кінцевий продукт з високим ступенем диспергування і при цьому невисоких енерговитратах на процес можна з використанням імпульсного типу гомогенізатора.

Для перевірки працездатності даного виду технологічного обладнання та проведення експериментальних досліджень слід створити лабораторну установку імпульсного гомогенізатора [10]. Попередній аналіз досліджень показав, що імпульсний гомогенізатор повинен складатися з: технологічних ємностей для приймання молока перед гомогенізацією та накопичення готового продукту, перепускних вентилів для регулювання подачі молока, насосу, робочої камери гомогенізатора із встановленими всередині поршнями-ударниками. Коливальні рухи поршня мають створюватися за допомогою кривошипу, який приводиться в дію від електродвигуна. Принципова схема лабораторного зразка імпульсного гомогенізатора представлена на рисунку 1.

Технологічне обладнання працює таким чином. В ємність 1 заливається незбиране молоко, підігріте до необхідної температури, яке через вентиль 2, який служить для регулювання подачі продукту, потрапляє до насосу 3 і звідти подається у робочу камеру гомогенізатора 4. При коливальних рухах поршнів-ударників 5 відбувається диспергування жирової фази молока, після чого

оброблений продукт зливається в ємність 7 через вентиль 6 [11, 12].



1, 7 – технологічні ємності; 2, 6 – перепускні вентиля; 3 – насос; 4 – робоча камера гомогенізатора; 5 – поршні-ударники; 8 – кривошипний механізм з електроприводом.

Рисунок 1. Принципова схема лабораторної установки імпульсного гомогенізатора

Для розроблення лабораторної установки імпульсного гомогенізатора нам слід провести розрахунок основних конструктивних параметрів розроблюваного гомогенізатора.

Основним технологічним вихідним параметром розрахунку лабораторної установки імпульсного гомогенізатора є ступінь гомогенізації. Клапанні гомогенізатори забезпечують максимальну ступінь гомогенізації серед відомих промислових машин: $Hm = 5$. Така якість обробки молока є достатньою для технологічних процесів виробництва молочних продуктів з використанням гомогенізації молока. Тому це значення приймається за розрахункове.

Основними характеристики процесу імпульсної гомогенізації є: амплітуда коливання поршня-ударника h , частота f , подача молока Q , ступінь гомогенізації Hm , температура гомогенізації t , енерговитрати на процес гомогенізації E , форма отворів поршня-ударника, діаметр робочої камери D , довжина робочої камери L .

Основні режими роботи імпульсного гомогенізатора для практичних розрахунків визначаються згідно рівняння

$$0,88 + 0,694h + 0,602f - 0,588Q + 0,2h \cdot f + 0,426h^2 - 0,663f^2 - 0,459Q^2 = 0. \quad (1)$$

Діаметр робочої камери гомогенізатора визначається згідно формули

$$D = \frac{Q}{\pi \cdot \delta \cdot \vartheta_6 \cdot \varepsilon_1 \cdot \varphi_1}, \quad (2)$$



де Q – продуктивність імпульсного гомогенізатора, кг/год;
 δ – зазор між циліндром і поршнем, м;
 v_b – швидкість руху гомогенізуючого продукту у зазорі між циліндром і поршнем, м/с;
 ε_1, φ_1 – коефіцієнти відповідно звуження і швидкості для плоскої щілини.

Довжина камери імпульсного гомогенізатора визначається по формулі

$$L = 4 \frac{Q}{\pi \cdot D^2 \cdot f}, \quad (3)$$

де f – частота коливання поршня-ударника, Гц.

Оптимальним діаметром отворів поршнів-ударників є: $d_{\text{вихід}} = 0,008$ м; $d_{\text{вих}} = 0,002$ м. Кількість отворів повинна бути максимальною з умов характеристики міцності робочого органу гомогенізатора.

Діаметр поршнів-ударників визначається за формулою

$$d_{\text{пор}} = D - 2\delta. \quad (4)$$

Товщина поршнів-ударників імпульсного гомогенізатора визначається як

$$S_{\text{пор}} = 2 \dots 6 \cdot d_{\text{отв}}, \quad (5)$$

де $d_{\text{отв}}$ – діаметр отворів поршнів-ударників, м.

Потужність гомогенізатора визначається по формулі

$$N = \frac{c \cdot \rho_m \cdot v^3 \cdot S}{2 \cdot \eta_n \cdot \eta_e}, \quad (6)$$

де c – коефіцієнт опору, для круглої пластини, $c=1,1\dots1,15$;

S – площа поршня, м²;

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

η_n – коефіцієнт корисної дії насоса;

η_e – коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

Результати теоретичного розрахунку основних конструктивних параметрів лабораторної установки імпульсного гомогенізатора зведені в таблицю 1.

Отримані дані використовуємо для розробки креслення загального виду лабораторної установки імпульсного гомогенізатора.

В якості насоса для лабораторної установки 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 насосу складає 1,5 м, коефіцієнт корисної дії – 38%.

Таблиця 1

Результати розрахунку параметрів лабораторної установки імпульсного гомогенізатора

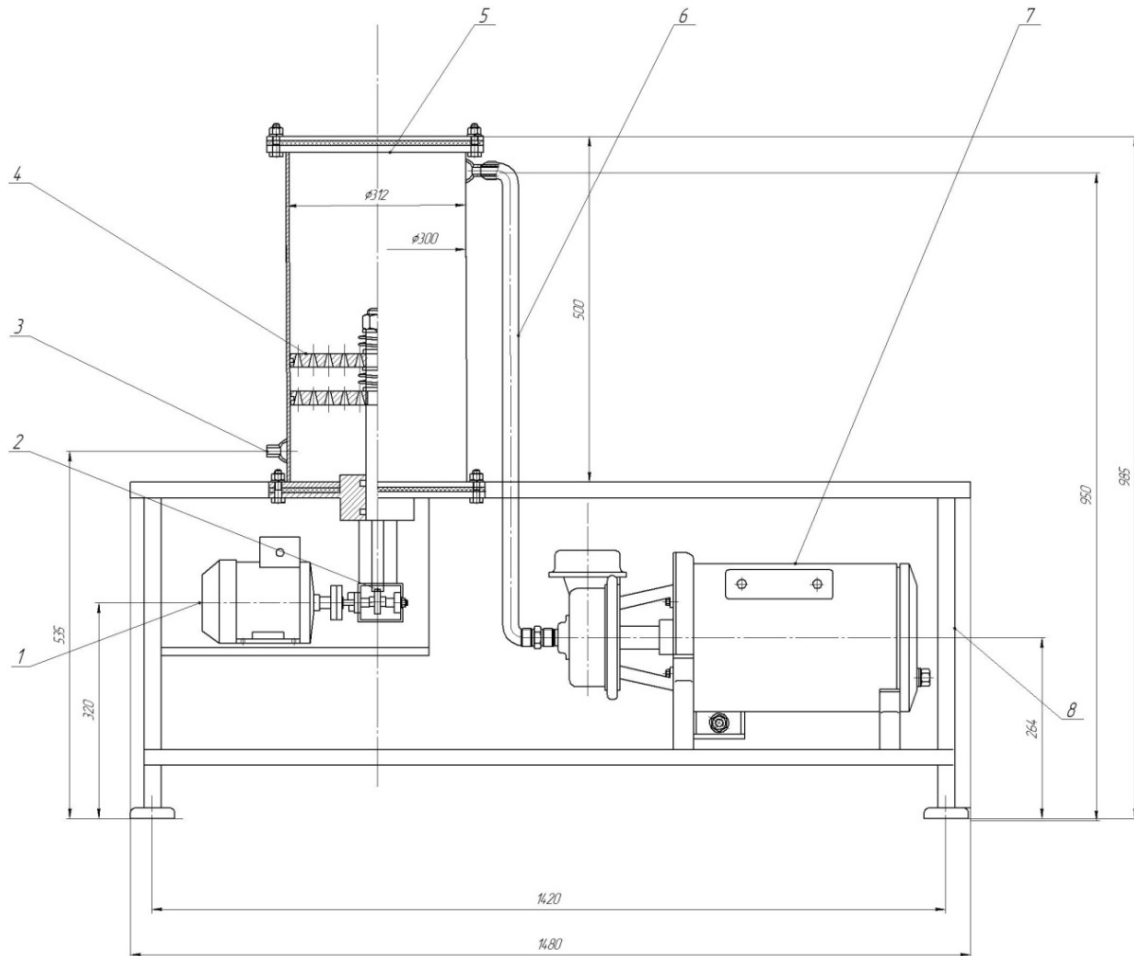
Продуктивність гомогенізатора Q , кг/год	Максимальне значення тиску імпульсів, МПа	Довжина робочої камери гомогенізатора, м	Діаметр робочої камери гомогенізатора, м	Потужність гомогенізатора, N , кВт
1800	1,5	0,5	0,3	2

Загальне креслення лабораторної установки імпульсного гомогенізатора з насосом ОНЦ 1,5/15 представлено на рисунку 2.

Виготовлення лабораторної установки імпульсного гомогенізатора повинно супроводжуватись дотриманням певних вимог до матеріалів, які використовуються [13, 14]. Деталі та вузли установки, які в процесі роботи безпосередньо контактують з продуктом (ємність, робоча камера, шток, поршень-ударник, верхня кришка, нижня кришка, патрубок) мають бути виготовлені з високоякісної харчової нержавіючої сталі, яка не викликає окиснення та не впливає на смакові властивості готового продукту. Трубопровід повинен виконуватися із спеціального типу ПВХ, який призначений для контактування з харчовою сировиною. Перепускні вентиля обираються з легованої корозійної харчової сталі або латуні або міді, які не окислюються та можуть витримати необхідний тиск під час роботи лабораторної установки.

Основною задачею подальшого проведення експериментальних досліджень є: обґрунтування параметрів та режимів роботи лабораторної установки імпульсного гомогенізатора для отримання максимального ступеня гомогенізації при мінімальних енерговитратах на процес.

Висновки. На сьогоднішній день найрозповсюдженіший тип обладнання, яке використовується для гомогенізації характеризується своїми високими затратами енергії на процес, актуальним залишається питання дослідження та розробки енергоефективного технологічного обладнання для гомогенізації, яке дозволить отримати продукти високої якості при значно нижчих витратах на процес. Попередні



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. Креслення лабораторної установки імпульсного гомогенізатора

дослідження дозволили встановити, що підходящим варіантом обладнання є імпульсний гомогенізатор. Були проведені теоретичні розрахунки основних конструктивних параметрів лабораторної установки імпульсного гомогенізатора, які дозволили встановити, що продуктивність даної установки складає 1800 кг/год, максимальне значення тиску становить 1,5 МПа, а потужність гомогенізатора – 2 кВт. Розроблено креслення лабораторної установки імпульсного гомогенізатора та приведено основні вимоги до матеріалів при його виготовленні. В подальшому планується проведення експериментальних досліджень з метою обґрунтування параметрів та режимів роботи лабораторної установки імпульсного гомогенізатора для отримання максимального ступеня гомогенізації при мінімальних енерговитратах на процес.

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. Walstra P, Wouters J T M., Geurts T J. Homogenization. In: Dairy Science and Technology. Second Edn. Taylor & Francis Group, LLC. Boca Raton London New York. 2006. 279 p.
2. Huppertz T. Homogenization of Milk | Other Types of Homogenizer (High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification). *Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition)*. 2011. P. 761–764.
3. Нужин Е. В., Гладушняк А. К. Гомогенизация и гомогенизаторы: монография. Одесса: Печатный дом, 2007. 264 с.
4. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Івженко А. О., Левченко Л. В. Аналіз конструкцій гомогенізаторів молочної промисловості. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2016. Вип.16. Т.1. С. 9–15.
5. 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>
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. 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.
8. Jahnke Stefen. Homogenisieren faserhaltiger produkte. *Labor Praxis*. 2001. №7. P. 24–28.
9. 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.
10. Паляничка Н. О. Використання енергоефективного обладнання для диспергування емульсій. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20, т. 1. с. 26-34. DOI: 10.31388/2078-0877-20-1-26-34
11. 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: ХДУХТ, 2015. С. 91–92.

12. 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. DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-12-17

13. Loncin M., Merson R. *Food Engineering. Principles and Selected Applications*. New York: Academic Press, 1979. 279 p.

14. Kessler A. *HG Food and bioprocess engineering: dairy technology*. Germany. Verlag. 2002. V.5. P. 694.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2023 р.

N. Palianychka, V. Verkholtantseva, O. Chervotkina, A. Kovalov
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

JUSTIFICATION OF THE DEVELOPMENT OF THE LABORATORY INSTALLATION OF THE PULSE HOMOGENIZER

Summary

Homogenization is a technological process that makes it possible to obtain a homogeneous mixture from ingredients that normally do not mix. It is used in agriculture, chemical, processing, pharmaceutical, and cosmetology industries. However, it was most widely distributed in the food industry. It is used to process products in a liquid and pasty state, which are very poorly mixed with each other (egg melanges, sauces, "milk base - vegetable fat" mixtures, etc.). Thanks to this, the finished product acquires uniformity and does not delaminate during long-term storage and transportation. The equipment used for homogenization is called a homogenizer. Since the most common type of equipment used for this process is characterized by its high energy costs for the process, the issue of research and development of energy-efficient technological equipment for homogenization, which will allow obtaining high-quality products at significantly lower costs for the process, remains relevant. Previous theoretical research allowed us to establish that a pulse-type homogenizer can obtain a final product with a high degree of dispersion and at the same time low energy consumption for the process. In order to check the performance of this type of technological equipment and conduct experimental research, a laboratory installation of a pulse homogenizer should be created. In this article, the expediency of manufacturing a laboratory sample of a pulse homogenizer was substantiated, the principle of operation of the equipment was described, and the method of calculating the main structural parameters of a laboratory unit of a pulse homogenizer was given. As a result of the calculation, it was established that the productivity of the installation is 1800 kg/h, the maximum pressure value is 1.5 MPa, and the power of the homogenizer is 2 kW. In addition, the drawings of the pulse homogenizer laboratory installation and the main requirements for materials in its production are given.

Keywords. Homogenization, pulse homogenizer, laboratory setup, experimental studies of quality, energy consumption, degree of homogenization.