

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

ПРАЦІ

Таврійського державного
агротехнологічного
університету



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Випуск 24, том 3
Наукове фахове видання
Технічні науки



Запоріжжя – 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



DMYTRO MOTORNYI TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



ПРАЦІ

**Таврійського державного
агротехнологічного університету**
Технічні науки

**PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY**
Technical sciences

*Виходить 3 рази на рік
Видається з 1998 р.*

**Випуск 24, том 3
Issue 24, volume 3**

WEB: <https://oj.tsatu.edu.ua>

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

Запоріжжя – 2024



УДК [631.3+621.3+004+663/664]

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання. / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. Вип. 24, т. 3. 208 с.

ISSN 2220-8674

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

Реферативні бази: Crossref, Google Scholar, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського

Головний редактор

Кюрчев В. М., чл.-кор. НААН України,
д-р техн. наук, проф. (Україна)

Заступники головного редактора

Надикто В. Т., чл.-кор. НААН України,
д-р техн. наук, проф. (Україна)
Панченко А. І., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Відповідальний секретар

Волошина А. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Технічний секретар

Погорельцева Д. О. (Україна)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

Белоев Христо, д-р техн. наук, проф. (Болгарія)
Даманаускас Відас, д-р техн. наук, проф. (Литва)
Івановс Семенс, д-р техн. наук (Латвія)
Ольт Юрі, PhD, д-р техн. наук, проф. (Естонія)
Паскуцці Сімоне, PhD, доц. (Італія)
Финдура Павол, PhD, проф. (Словачія)
Вершков О. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Дідур В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Журавель Д. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Кувачов В. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Кюрчев С. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Скляр О. Г., канд. техн. наук, проф. (Україна)
Скляр Р. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Тітова О. А., д-р пед. наук, проф. (Україна)

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

Шафранець Анджей, д-р техн. наук, проф. (Польща)
Кавакзех Мохаммед, PhD, проф. (Йорданія)
Бур'ян С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Галько С. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Карпалюк І. Т., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Квітка С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Кузнецов М. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Лисенко О. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мірошник О. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мороз О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Плюгін В. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Editor in chief

Kyurchev V., corresponding member of NAAS of
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Deputy editors in chief

Nadykto V., corresponding member of NAAS of
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Panchenko A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Executive secretary

Voloshina A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Technical secretary

Pogoreltseva D. (Ukraine)

SECTORAL MACHINE BUILDING

Beloev Hristo, Dr. Sci. Tech., Prof. (Bulgaria)
Damanauskas Vidas, Dr. Sci. Tech. (Lithuania)
Ivanovs Semjons, Dr. Sci. Tech. (Latvia)
Olt Jüri, PhD, Dr. Sci. Tech., Prof. (Estonia)
Pascuzzi Simone, PhD, Assoc. Prof. (Italia)
Pavol Findura, PhD, Prof. (Slovakia)
Vershkov O, Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Didur V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Zhuravel D., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kuvachov V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kiurchev S., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Sclyar O., Cand. Sci. Tech, Prof. (Ukraine)
Sclyar R., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Titova O., Dr. Sci. Ped., Prof. (Ukraine)

**ELECTRICAL POWER ENGINEERING,
ELECTRICAL ENGINEERING AND
ELECTROMECHANICS**

Szafraniec Andrzej, Dr. Sci. Tech., Prof. (Poland)
Qawaqzeh Mohamed, PhD, Prof. (Jordan)
Burian S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Halko S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Karpaliuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kvitka S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Kuznietsov M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Lysenko O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Miroshnyk O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Moroz O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Pluihin V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**

Гавриленко Є. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Гнатушенко В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Гумен О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Дашкевич А. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Лубко Д. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Лясковська С. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Малкіна В. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мацулевич О. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Холодняк Ю. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Яблонський П. М., канд. техн. наук, доц. (Україна)

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Євлаш В. В., д-р техн. наук проф. (Україна)
Ломейко О. П., канд. техн. наук, доц (Україна)
Паламарчук І. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Пилипенко Л. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Пріс О. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Самойчук К. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Сердюк М. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Ялпачик В. Ф., д-р техн. наук, проф. (Україна)

ПРАЦІ

**Таврійського державного
агротехнологічного університету**

Випуск 24, том 3

Засновник

Таврійський державний агротехнологічний
університет імені Дмитра Моторного

Заснований у 1998 році

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ №24285-14125ПР від 27.12.2019 р.
Виходить 3 рази на рік

Рекомендовано до друку вченою радою
Таврійського державного агротехнологічного
університету
імені Дмитра Моторного
Протокол № 11 від 28.06.2024 р.

«Праці ТДАТУ» включено до **Категорії Б**
Переліку наукових фахових видань України
(науки: технічні), в яких можуть
публікуватися результати дисертаційних
робіт на здобуття наукових ступенів
доктора наук і доктора філософії /
кандидата наук (накази МОН України від
17.03.2020 р. № 409)

Адреса редакції

Юридична: 72312, Запорізька обл.
м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18
Фактична: 69600, Запорізька обл.
м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 66
<https://oj.tsatu.edu.ua>,
DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3

COMPUTER SCIENCES

Havrylenko Ye., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Hnatushenko V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Humen O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Dashkevych A., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Lubko D., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Liaskovska S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Malkina V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Matsulevych O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Kholodniak Y., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Yablonskyi P., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)

FOOD TECHNOLOGIES

Deynichenko G., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Evlash V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Lomeiko O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Palamarchuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Pylypenko L., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Priss, O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Samoichuk K., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Serdyuk M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Yalpachik V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY**

Issue 24, volume 3

Founder

Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University

Founded in 1998

Certificate of governmental registration
KB No. 24285-14125ПР dated December 27, 2019
Published 3 times a year

Recommended for publication by the Academic
Board of Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University
Record No. 11 dated June 28, 2024

Proceedings of TSATU is included in the List of
scientific professional editions of Ukraine
(technical sciences), category B, in which the
results of theses for obtaining scientific degrees
of Doctor of Sciences and Doctor of Philosophy /
Candidate of Sciences can be published (order of
the Ministry of Education and Science of Ukraine
dated March 17, 2020, No. 409)

Address of the Editorial office

Legal address: 72312, Zaporizhzhia region
Melitopol, 18, B. Khmelnytskyi Ave.
Actual address: 69600, Zaporizhzhia region
Zaporizhzhia, 66, Zhukovskiy Str.
<https://oj.tsatu.edu.ua>,
DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3



ЗМІСТ / CONTENTS

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

- Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ковальов О. О., Паляничка Н. О., В'юник О. В.** Підвищення енергоефективності диспергування в пульсаційному гомогенізаторі рідких продуктів 7
- Kiurchev S., Samoichuk K., Kovalyov A., Palianychka N., Viunyk O.** Increasing the energy efficiency of dispersing in a pulsation liquid products homogenizer
- Журавель Д. П., Бондар А. М.** Моделювання керованості колісних тракторів шляхом використання адаптивного рульового керування 18
- Zhuravel D., Bondar A.** Simulation of controlling wheel tractors using adaptive steering
- Дідур В. В., Петриченко Є. А., Дашивець Г. І.** Модернізація сепаратора СЦ-3 39
- Didur V., Petrychenko I., Dashyvets G.** Modernization of the СЦ -3 separator
- Склябінський В. І., Гусак О. Г., Юрченко О. Ю., Нічволодін К. В.** Особливості розташування декількох обертових вібраційних грануляторів (овг) у одній грануляційній башті 53
- Sklabinskyi V., Gusak O., Yurchenko O., Nichvolodin K.** Features of placement of several rotating vibrating granulators (ovg) in one granulation tower
- Скляр О. Г., Скляр Р. В., Комар А. С.** Удосконалення конструкції біогазової установки з рекуперацією теплоти зброженої біомаси 62
- Skliar O., Skliar R., Komar A.** Improving the design of a biogas plant with heat recovery of fermented biomass
- Паляничка Н. О., Верхоланцева В. О., Червоткіна О. О., Ковальов О. О., Ялпачик В. Ф.** Дослідження процесу диспергування молочного жиру в імпульсному гомогенізаторі 72
- Palianychka N., Verkholtantseva V., Chervotkina O., Kovalov A., Yalpachyk V.** Study of the process of dispersing milk fat in a pulse homogenizer

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

- Трунова І. М., Серєда А. І., Дудніков С. М., Пазій В. Г., Мороз О. М., Савченко О. А., Попадченко С. А., Галько С. В., Ладжинський І. В.** Інженерний менеджмент для підвищення надійності електропостачання 82
- Trunova I., Sereda A., Dudnikov S., Pazii V., Moroz O., Savchenko O., Popadchenko S., Halko S., Ladyzhynskiy I.** Engineering management to increase the power supply continuity
- Панов А. О., Гриценко С. Д., Галько С. В.** Розробка нечіткого алгоритму регулювання коефіцієнтів несиметрії напруги за зворотною і нульовою послідовностями 95



- Panov A., Hrytsenko S., Halko S.** Development of a fuzzy algorithm for regulating coefficients of voltage unsymmetry by reverse and zero sequences
- Діордієв В. Т., Вовк О. Ю.** Лазерна передпосівна обробка насіння овочевих культур 105
- Diordiev V., Vovk O.** Laser pre-sowing treatment of vegetable seeds
- Савченко О. А., Мірошник О. О., Козловський О. А., Трунова І. М., Серєда А. І., Дудніков С. М., Пазій В. Г., Попадченко С. А., Єрмак Д. А., Волобуєв А. С.** Дослідження чутливості та стійкості техніко-економічної моделі системи плавлення ожеледі на групі взаємопов'язаних ПЛЛ 10 кВ 114
- Savchenko O., Miroshnyk O., Kozlovskiy O., Trunova I., Sereda A., Dudnikov S., Pazi V., Popadchenko S., Yermak D., Volobuev A.** Study of sensitivity and stability of techno-economic model of the de-icing system on a group of interconnected 10 kV ohl

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

- Стукалець І. Г., Коробка С. В., Скляр О. Г., Болтянський Б. В., Скляр Р. В.** Проблеми узгодження міжнародних, міждержавних та національних стандартів україни під час оформлення конструкторської документації в SolidWorks 122
- Stukalets I., Korobka S., Skliar O., Boltianskyi B., Skliar R.** Problems of harmonization of international, interstate and national standards of ukraine during design documentation in SolidWorks
- Мацулевич О. Є., Вершков О. О., Михайленко О. Ю., Тетєрвак І. Р.** Комп'ютерне моделювання функціональних поверхонь індивідуальних вітрогенераторних станцій малої та середньої потужності 138
- Matsulevych O., Vershkov O., Mikhailenko O., Tetervak I.** Computer simulation of the functional surfaces of individual wind generator stations of small and medium power
- Залєвська О. В., Можаровський В. М., Суворов Л. В., Половий А. С., Якубовський О. Я.** Сегментація медичних зображень методом фрактальної кластеризації 151
- Zalevska O., Mozharovsky V., Suvorov I. Polovyi A., Yakubovskyi O.** Segmentation of medical images by fractal clustering method

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Іванова І. Є., Сердюк М. Є., Тимошук Т. М., Кривонос І. А., Малкіна В. М., Басанець С. В., Пендрак Я. І.** Дослідження частки впливу абіотичних чинників на накопичення фонду сухих розчинних речовин в плодах черешні за допомогою методу головних компонент 161
- Ivanova I., Serdyuk M., Tymoshchuk T., Kryvonos I., Malkina V., Basanets S., Pendrak Ya.** Studying the share of influence of abiotic factors on the accumulation of dry soluble substances in cherry fruits using the principal components method



- Паламарчук І. П., Загорко Н. П., Яременко Я. В., Сватова Н. С.** Математичні моделі якості м'ясопродуктів з рослинними домішками 177
Palamarchuk I., Zahorko N., Yaremenko Ya., Svatova N. Mathematical models of the quality of meat products with vegetable additions
- Ткаченко А. Г., Бандура І. І.** Попередня оцінка ефективності зберігання грибів шіїтаке в тарі з різною товщиною харчової плівки та застосуванням вологоутримуючих матеріалів 189
Tkachenko A., Bandura I. A preliminary evaluation of the efficacy of storing shiitake mushrooms in containers using variety food films and moisture-retaining materials
- Крижак, Г. П., Калініна Л. М., Фіалковська Л. В.** Перспективи використання горіху фісташка (*Pistacia Vera l.*) у технології ковбасних виробів 199
Kryzhak L., Kalinina H., Fialkovska L. Prospects of using the pistachio nut (*Pistacia Vera l.*) in the technology of sausage products



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

УДК 637.134.001.57

Н. О. Паляничка¹, канд. техн. наук ORCID: 0000-0001-8510-7146В. О. Верхоланцева¹, канд. техн. наук ORCID: 0000-0003-1961-2149О. О. Червоткіна¹, асистент ORCID: 0000-0002-6814-0566О. О. Ковальов¹, к канд. техн. наук ORCID: 0000-0002-4974-5201В. Ф. Ялпачик¹, д-р техн. наук ORCID: 0000-0002-0349-2448¹ *Таврійський державний агротехнологічний університет**імені Дмитра Моторного*e-mail: nadiia.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.

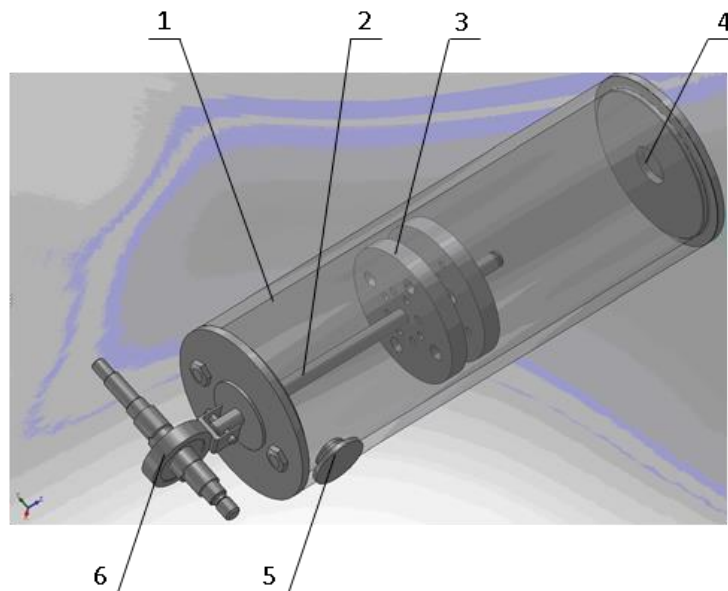


Рис. 1. Модель робочої камери імпульсного гомогенізатора виконана в Solidworks: 1 – циліндр; 2 – шток; 3 – поршні-ударники; 4 – патрубок підведення вихідного молока; 5 – патрубок відведення гомогенізованого молока; 6 – кривошипний механізм

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;

σ – 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° , 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, кг/м^3 ;

$\frac{dv}{dx}$

– зміна градієнту швидкості потоку, м/с ;

d_k – критичний діаметр частки, м ;

$\sigma_{ж-п}$ – поверхневий натяг краплі, 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 σ_n – поверхневий натяг на границі фаз "плазма – повітря", Н/м ,

$\sigma_n = 0,054 \text{ Н/м}$;

$\sigma_{ж}$ – поверхневий натяг на границі фаз "жир – повітря", 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, 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 μ при зворотньому русі рідини [19, 23].

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

– 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.

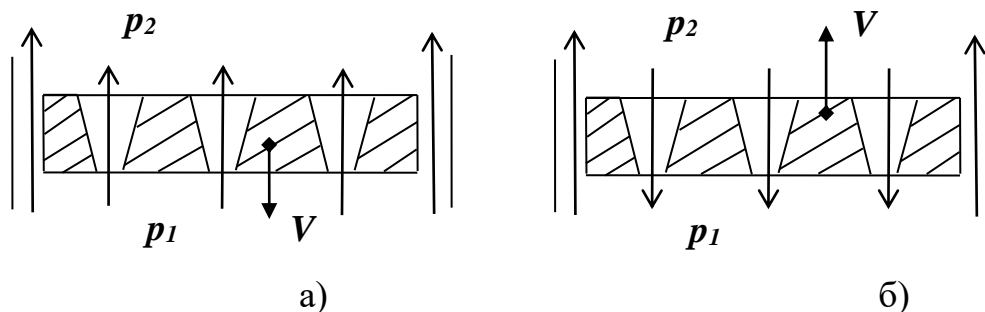


Рис. 2. Схема руху продукту крізь отвори поршня-ударника імпульсного гомогенізатора: а) при коливальному русі поршня-ударника вниз; б) при коливальному русі поршня-ударника вгору

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. Trägårdha C., Bergenståhla 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. Palianychka¹, V. Verkholtantseva¹, O. Chervotkina¹, A. Kovalov¹, V. Yalpachyk¹
¹Dmytro 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.

ПРАЦІ
Таврійського державного агротехнологічного університету

Наукове фахове видання

Випуск 24, том 3

Заснований у 1998 р
Виходить три рази на рік

Свідоцтво про державну реєстрацію
Друкованого засобу масової інформації
Міністерство юстиції
КВ 24285-14125 ПР від 27.12.2019 р.

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Панченко А.І.

Підписано до друку 01.07.2024 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 24,18. Наклад 100.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.