

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 23, том 1

Наукове фахове видання
Технічні науки



Запоріжжя – 2023 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 23, том 1
Issue 23, volume 1**

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

DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-1

Запоріжжя – 2023



УДК [631.3+621.3+664](058)
Т 13

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 23, т. 1. 219 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, AGRIS, «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

Белосев Христо, д-р техн. наук, проф. (Болгарія)
Даманаускас Відас, д-р техн. наук, проф. (Литва)
Івановс Семенс, д-р техн. наук, доц. (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)
Гриб О. Г., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Карпалюк І. Т., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Квітка С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Кузнєцов 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)
Gryb O., Dr. Sci. Tech., 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)
Pliuhin 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)
Ляскоvsька 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 23, том 1****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 № 3 від 31.10..2023 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 (наказ 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: 10.31388/2078-0877-2023-23-1

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 23, volume 1****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. 3 dated October 31, 2023

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. Khmel'nitskyi Ave.
Actual address: 69600, Zaporizhzhia region
Zaporizhzhia, 66, Zhukovskyy Str.
<https://oj.tsatu.edu.ua>
DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-1



ЗМІСТ / CONTENTS

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

- Панченко А. І., Волошина А. А., Мітков В. Б., Волошин А. А.** Вплив конструктивних особливостей планетарних гідромоторів на зміну динамічних характеристик гідроприводів мехатронних систем самохідної техніки 6
Panchenko A., Voloshina A., Mitkov V., Voloshin A. Influence of design features of planetary hydromotors on changing dynamic characteristics of hydraulic drives of mechatronic systems of self-propelled vehicles
- Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ялпачик В. Ф.** Розробка експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора молока 27
Kiurchev S., Samoichuk K., Yalpachyk V. Development of the experimental sample of the pulsation milk homogenizer
- Mikulionok I.** Classification and analysis of polymer and rubber waste shredder designs 41
Мікульонюк І. Класифікація та аналіз конструкцій різальних подрібнювачів полімерних і гумових відходів
- Zhuravel D.** Determination of linear dimensions of boxes and thirds of individual castor varieties 63
Журавель Д. Встановлення лінійних розмірів коробочок і третинок окремих сортів ріцини
- Самойчук К. О., Ломейко О. П., Ковальов О. О., Червоткіна О. О.** Зниження енергетичних витрат диспергування за рахунок явища ежекції 77
Samoichuk K., Lomeiko A., Kovalyov A., Chervotkina A. Reduction of energy costs of dispersion due to the ejection phenomenon
- Гриценко О. П., Степаненко С. П.** Дослідження коефіцієнта корисної дії дискової борони від навантаження на сферичний диск 85
Gritsenko O., Stepanenko S. Investigation of the coefficient of the useful effect of a disk harrow from the load on spherical disc
- Юрченко О. Ю., Склабінський В. І., Гусак О. Г.** Вплив гідродинамічних та механічних чинників на формування гранул у грануляційній башті з використанням обертового вібраційного гранулятора 96
Yurchenko O., Sklabinskyi V., Gusak O. Influence of hydrodynamic and mechanical factors on the formation of granules in a granulation tower using a rotating vibrating granulator
- Скляр О. Г., Скляр Р. В., Комар А. С.** Теоретичні аспекти моделювання машинної технології утилізації органічних відходів 104
Skliar O., Skliar R., Komar A. Theoretical aspects of modeling of machine technology of organic waste disposal
- Дереза О. О., Водяницький І. О.** Вдосконалення конструкції вертикального ножового млина 116
Dereza O., Vodyanitskyi I. Improvement of the design of the vertical knife mill



Сушко С. Л., Чижиков І. О. Методика розрахунку параметрів пристрою на основі інжектора вентурі для фертигації плодкових насаджень 126
Sushko S., Chyzhykov I. Method for calculating device parameters based on venturi injector for fruit plant fertigation

Фучаджи Н. О., Ковальов О. О., Кузьмінська І. М., Червоткіна О. О. Дослідження апаратних схем переробки гречки 136
Fuchadzy N., Kovalev O., Kuzminska I., Chervotkina O. Research of vehicle charts of processing of buckwheat

Коробка С.В., Кригуль Р.Є., Бабич М.І., Стукалець І.Г., Сиротюк С.В., Болтянський Б.В. Опис виробничої геліосушарки з тепловим насосом 145
Korobka S., Babych M., Krygul R., Stukalets I., Syrotyuk S., Boltianskyi B. Description of the manufactured helio dryer with heat pump

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

Кідалов В.В., Дяденчук А.Ф. Одержання та вивчення властивостей гетероструктури ZnO/SiC/porous-Si/Si 153
Kidalov V., Dyadenchuk A. Obtaining and studying the ZnO/SiC/porous-Si/Si heterostructure properties

Галько С. В., Мірошник О. О., Shchur Т., Markowska А. Моделювання автономної сонячної електростанції для дослідження режимів її роботи 164
Halko S., Miroshnik O., Syvenko M., Shchur T., Markowska A. Simulation of an autonomous solar power plant to study the modes of its operation

Попова І. О., Квітка С. О., Вовк О. Ю. Дослідження несиметричного режиму на роботу динамічного індуктивного навантаження 179
Popova I., Kvitka S., Vovk O. Investigation of an unbalanced mode in a distribution network with a dynamic inductive load

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Priss O. P., Bulhakov P. O., Kolisnychenko T. O., Gazzavi-Rogozina L. V. Using protective coating for reduction of losses while storing asparagus 188
Прісс О., Булгаков П., Колісниченко Т., Газзаві-Рогозіна Л. Скорочення втрат при зберіганні спаржі зі захисним покриттям

Зарецька Д. К., Сердюк М. Є., Кривонос І. А., Бандура В. М. Заморожений напівфабрикат з додавання обліпихи, як сировина для продуктів функціонального призначення 199
Zaretska D., Serdyuk M., Kryvonos I., Bandura V. Frozen semi-finished product with the addition of sea buckthorn as a raw material for products with a functional purpose

Воробець М. М., Євлаш В. В., Кобаса І. М., Кондрачук І. В. Формування якості хліба пшеничного з добавкою «клітковина гречана» 207
Vorobets M., Evlash V., Kobasa I., Kondrachuk I. Formation of the quality of wheat bread with the addition of «buckwheat fiber»



DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-1-27-40

УДК 637.134

С. В. Кюрчев¹, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0001-6512-8118

К. О. Самойчук¹, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-3423-3510

В. Ф. Ялпачик¹, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-0349-2448

¹ *Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*e-mail: kyrylo.samoichuk@tsatu.edu.ua, тел.: +380978805485

РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА ПУЛЬСАЦІЙНОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА

Анотація. Однією з актуальних задач харчової промисловості є розробка високоефективних гомогенізаторів-диспергаторів рідких емульсій зі зниженими енерговитратами. Одним з перспективних напрямів вирішення цієї задачі є дослідження, розробка та впровадження пульсаційного гомогенізатора. Принцип дії такої машини – диспергування жирової фази при інтенсивному коливальному русі поршня за рахунок створення високих прискорень емульсії, які виникають в отворах поршня. Важливим етапом цього завдання є розробка експериментального зразка дослідного гомогенізатора. Тому мета даної статті – створення експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора, придатного для проведення експериментальних досліджень процесу пульсаційної гомогенізації молока. В статті наведені вимоги до розробленої установки, характеристики, необхідні розрахунки основних вузлів машини (технологічні, конструктивні та гідравлічні). Наведено фото розробленої установки та описаний принцип її дії. Розроблений експериментальний зразок необхідний дослідникам процесів гомогенізації та диспергування емульсій в харчовій, переробній, хімічній галузях промисловості а також сільському господарстві при проектуванні та будівництві машин відповідних галузей.

Ключові слова. гомогенізація, диспергування молока, емульсія, дисперсність, експериментальний зразок, пульсаційний гомогенізатор.

Постановка проблеми. Гомогенізація є широко використовуваною технологічною операцією в різних галузях промисловості, таких як сільське господарство, хімічна промисловість та виробництво харчових продуктів. В основному використовується для отримання дрібнодисперсних емульсій. Завдяки гомогенізації запобігає розшаруванню дисперсних фракцій (жир-вода) під час зберігання таких харчових продуктів, як вершки, питне молоко, ячні меланжі та суміші на їх основі. Також його використовують у виробництві комбінованого згущеного молока, сумішей для морозива, майонезу, маргарину, кетчупу і навіть корму для телят. [1, 2]. Показано, що процес гомогенізації частинок жиру до мікроскопічних



розмірів підвищує харчову цінність і покращує сенсорні та смакові властивості молока, а також зменшує втрати молочного жиру, цінного компонента молока [3]. Проте обладнання, яке зараз використовується для гомогенізації, має кілька суттєвих недоліків і не відповідає сучасним стандартам якості та енергоефективності. Наприклад, найбільш поширені клапанні гомогенізатори споживають до 8-9 кВт·год/т [4, 5]. За розрахунками, за умови зниження питомої енергоемності до 1,5-2 кВт·год/т, при обсягах виробництва молочної продукції в Україні – на рівні минулого року, лише економія електроенергії становитиме не менше 24 мільйона гривень.

Створення нових гомогенізаторів, а також створення теорій, що описують руйнування жирових кульок під час гомогенізації, є складним процесом, який вимагає створення експериментального прототипу. В даний час існує дефіцит інформації щодо етапів розробки дослідницьких установок гомогенізаторів. Хоча фотографії та схеми цих установок, які використовувалися в експериментах, можна знайти в літературі [6-8], автори зазначених робіт не надають детального опису покрокових процедур, пов'язаних зі створенням таких експериментальних установок.

Аналіз останніх досліджень. Одним із найбільш перспективних методів руйнування (диспергування) крапель жиру в молоці є інтенсивний вплив імпульсів на гідродинамічне середовище (емульсію). Прикладом конструкції, яка реалізує такий процес, є імпульсний гомогенізатор. В ньому емульсія утворюється завдяки зворотно-поступальному руху поршня [9, 10]. Зазвичай поршні мають форму пластин або дисків з отворами, закріплених на вертикальних штоках для здійснення зворотно-поступального руху. Рух ударного поршня вниз або вгору викликає рух дисперсної фази зі швидкістю $v_{р1}$, а молочка плазма (дисперсійне середовище) при цьому рухається навколо жирової частки в протилежному напрямку під дією сили інерції F_i . (рис. 1) [11, 12].

Модель подрібнення частинок жиру гідравлічною турбулентністю заснована на припущенні, що дисперсійне середовище захоплює рухомі частинки жиру і з урахуванням цього формується відносний рух середовища і частинок. Підкреслюється важлива роль прискорення частинок жиру [13, 14]. Основними характеристиками, які відіграють найважливішу роль при виборі типу гомогенізатора, є: продуктивність, ступінь дисперсності та енергоспоживання процесу. Тому рекомендовано за цими показниками провести порівняльну характеристику дослідного зразка пульсаційного гомогенізатора з найбільш перспективними типами гомогенізаторів (табл. 1.1) [15-17].

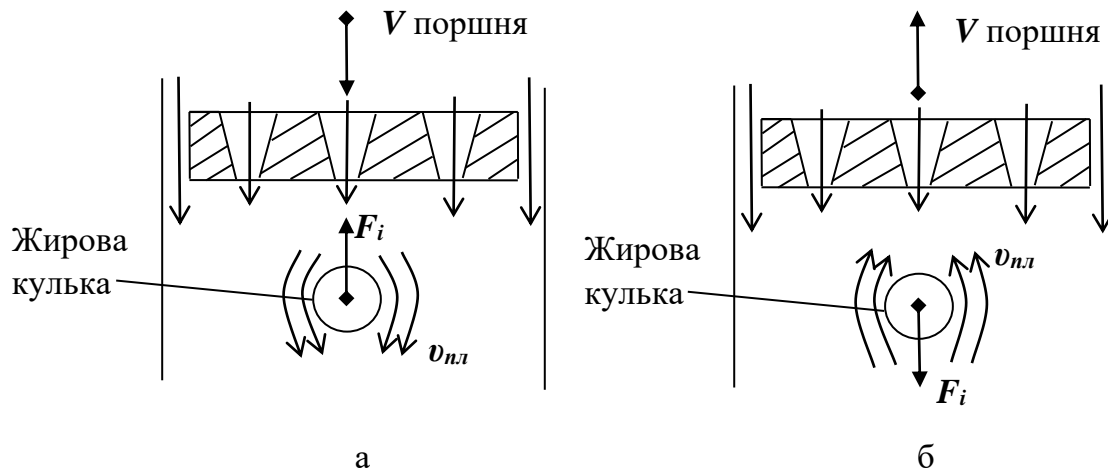


Рис. 1. Схема виникнення сил інерції при імпульсній гомогенізації при русі поршня-ударника: а – вниз; б – вверх.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика різних типів гомогенізаторів

Тип гомогенізатора	Продуктивність, т/год	Мінімальний діаметр часток після гомогенізації, мкм	Питомі енерговитрати, кВт·год/т
Клапанний А1-ОГ2М-2,5	2,5	0,75	7,2
Клапанний, Rannie R37 45.81	4,7	0,75	6,5
Сопловий, ОГВ	1	1,0	4,4
Ультразвуковий (магніострикційний)	0,3	0,8	13,3
Пульсаційний гомогенізатор	2,5	0,8	1,1

Порівняльна характеристика найбільш перспективних гомогенізаторів показує, що дослідний зразок пульсаційного гомогенізатора молока забезпечує ступінь дисперсності молочного жиру на рівні кращих гомогенізаторів і на стандартному рівні, а питомі витрати енергії нижчі в 6-8 разів [18].

Формування мети статті (постановка завдання). Мета даної статті – розробити експериментальний зразок пульсаційного гомогенізатора, який необхідний для проведення експериментальних досліджень процесу пульсаційної гомогенізації молока. Така методика необхідна науковцям та дослідникам для прогнозування перспективності та доцільності впровадження пульсаційного



гомогенізатора замість існуючих клапанних гомогенізаторів з питомими енерговитратами від 7 кВт·год/т готової продукції.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- визначити вимоги до розробленої установки;
- привести необхідні розрахунки основних вузлів машини (технологічні, конструктивні та гідравлічні);
- розробити установку та описати конструкцію та принцип дії експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора..

Основна частина. При розробці експериментального зразка струминного гомогенізатора використовуються покупні (стандартні) вироби та знов розроблювальні (рама, ємність для молока та вершків, гомогенізований вузол, опора під манометр та насос). Для виготовлення знов розроблювальних виробів використовуються універсальне металообробне обладнання та верстати. Необхідність у використанні нестандартного обладнання та оснащення відсутня.

Для забезпечення зручності збирання, налагодження, регулювання та обслуговування установки, більшість частин виконані відкритими. Такий тип конструкції забезпечує легкий доступ до вузлів виробу, його регулювання й налагоджування.

Конструкція експериментального зразка струминного гомогенізатора досить легко збирається і є технологічною. Обов'язковою умовою перед використанням установки є перевірка щільності з'єднання трубопроводів за допомогою води при номінальному режимі роботи насосу. Підтікання не припустимі, тому, якщо виявляється факт невідповідності, то слід перевірити справність трубопроводів, фітингів і арматури та момент затягування хомутів.

При виготовленні експериментального зразка струминного гомогенізатора молока до матеріалів та покупних деталей висувалися наступні технічні вимоги [19]:

- деталі та вузли установки, що контактують з молоком та молочними продуктами (ємність для молока, ємність для вершків, гомогенізований вузол) виготовляються з високоякісної харчової корозійностійкої сталі (наприклад X18N9T, X18 N10T тощо);
- деталі та кріплення, що не контактують з продуктом (рама, опори, елементи кріплення) виготовляються з вуглецевої конструкційної сталі загального призначення (Ст.3, Ст.5, сталь 20, сталь 30 тощо);
- насос, який використовується в експериментальному зразку струминного гомогенізатора призначений для перекачування молочних продуктів, з проточною частиною із харчової бронзи і дозволяє забезпечувати необхідний тиск рідини;
- електродвигун в установці використовується одно- або трифазний асинхронний, загального призначення;



- гнучкий трубопровід виконується з ПВХ, призначеного для харчових продуктів;
- трубопроводи та гідравлічне обладнання високого тиску (рукав, вентиль, запірна арматура) виготовляються з легованої корозійної харчової сталі, латуні або міді.

Вихідними даними для розрахунку експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора є необхідний середній діаметр жирових кульок молока d_k , що регламентується технічним завданням ($d_k < 1$ мкм) і продуктивність гомогенізатора Q_z [20, 21].

Найбільш високий ступінь гомогенізації мають клапанні машини, середній діаметр жирових кульок після обробки в яких становить менше 0,8 мкм. Такого ступеня дисперсності достатньо для більшості технологічних процесів виробництва молока та молочних продуктів. Тому такий середній діаметр жирової кульки приймаємо за розрахункове. З метою заощадного використання сировини для досліджень, необхідно підтримувати продуктивність гомогенізатора на мінімальному рівні. Виходячи з технічного завдання обираємо $Q_z = 500$ кг/год ($1,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$).

Основними параметрами експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора, які необхідно визначити є: амплітуда та частота коливань поршня, геометричні параметри поршня та необхідна для роботи потужність. Для розробки методики розрахунку цих параметрів використані результати теоретичних досліджень пульсаційної гомогенізації, викладені в 1 томі цього звіту.

Згідно з результатами теоретичних досліджень пульсаційного гомогенізатора, для підвищення ефективності гомогенізації необхідно підвищувати частоту вібрації поршня. Тому для приводу експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора обираємо привід з частотою обертання 6000 об/хв (100 с^{-1}), яка розповсюджені та доступні в серійному виробництві.

Мінімальну амплітуду s коливань поршня експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора для диспергування жирової фази молока визначимо як [22]

$$s = \frac{K_o}{2\varphi} \left(\frac{K_z}{d_k \pi n} \right)^2, \quad (1)$$

де K_o – коефіцієнт перфорації поршня;

φ – коефіцієнт швидкості потоку в отворах поршня;

n – частота коливань поршня, с^{-1} ;

K_z – коефіцієнт гомогенізації, для зразка, що розробляється $K_z = 225$.

$$s = \frac{0,03}{2 \cdot 0,96} \left(\frac{100}{0,8 \cdot 3,14 \cdot 100} \right)^2 = 0,0024 \text{ м.}$$



Згідно з результатами теоретичних досліджень експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора, для підвищення ефективності гомогенізації необхідно підвищувати частоту вібрації поршня. Тому для приводу гомогенізатора необхідно обирати електродвигуни з найбільшою частотою обертання валу.

Аналітично встановлено підвищення ефективності пульсаційного гомогенізатора при використанні конічних отворів поршня з максимальним коефіцієнтом живого перетину поршня. При зменшенні малого діаметра конусного отвору d_o , підвищується вірогідність облітерації внутрішнього діаметра отворів поршня, що знижує працездатність гомогенізатора. Для зменшення облітерації мінімальне значення d_o приймаємо 2 мм.

Для конічних отворів з метою забезпечення міцності поршня, враховуючи необхідність зменшення його щільності і використання для виготовлення поршня харчових пластмас, мінімальна товщина поршня визначається залежно від діаметра отворів [23]

$$h_n \geq 6d_o, \quad (2)$$

$$h_n \geq 6 \cdot 2 = 12 \text{ мм.}$$

Більший діаметр конічних отворів поршня гомогенізатора визначаємо як

$$D_o = h_n \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} + d_o, \quad (3)$$

де $\theta=48-50^\circ$ – кут конусності, для якого коефіцієнт швидкості $\varphi_{ш}=\max=0,96$.

$$D_o = 12 \cdot \operatorname{tg} \frac{50}{2} + 2 = 16 \text{ мм.}$$

Необхідний внутрішній діаметр поршня експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора визначимо за формулою

$$D = \sqrt{\frac{2KQ}{\pi sn}}. \quad (4)$$

Мінімальну кратність обробки за результатами аналітичних досліджень приймаємо $K=12$.

$$D = \sqrt{\frac{2 \cdot 12 \cdot 1,35 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 0,0024 \cdot 100}} = 0,065 \text{ м.}$$

Розрахункове значення кількості отворів поршня N

$$N = 0,9 \left(\frac{D}{D_o} \right)^2, \quad (5)$$

$$N = 0,9 \left(\frac{0,065}{0,016} \right)^2 = 14.$$



Розраховуємо коефіцієнт живого перетину поршня

$$K_o = \frac{Nd_o^2}{D^2}, \quad (6)$$

$$K_o = \frac{14 \cdot 2^2}{65^2} = 0,013.$$

Необхідну потужність електродвигуна приводу експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора визначимо за результатами аналітичних досліджень з урахуванням коефіцієнта корисної дії приводу η [24]

$$P_{\text{дв}} = \frac{\pi^3 (1 - K_o) D^2 n^2 s^2}{\eta} \left(\pi n (0,32 h_n \rho_n + 0,1 C \rho_m s) + 0,11 \frac{\rho_m}{K_o} \right), \quad (7)$$

де C – коефіцієнт опору руху поршня.

$$P_{\text{дв}} = \frac{3,14^3 (1 - 0,013) 0,065^2 100^2 0,0024^2}{0,7} \times \left(3,14 \cdot 100 (0,32 \cdot 0,012 \cdot 500 + 0,1 \cdot 12 \cdot 0,0024) + 0,11 \frac{1030}{0,013} \right) = 440 \text{ Вт}$$

Установка, що розробляється призначена для проведення експериментальних досліджень процесу гомогенізації, тобто необхідна частота коливання поршня повинна регулюватись в сторону збільшення від розрахункового параметра до 10000 об/хв.

Виходячи з розрахованих параметрів в якості приводу обираємо установку УШМ WD2400-150 номінальною потужністю 2,4 кВт та частотою обертання 11000 об/хв.

Насос подачі молока повинен забезпечувати тиск – до 2 атм. Та подачу – від 500 л/год. За цими параметрами підбираємо електронасос G20i95 (Gifto) з номінальною потужністю 500 Вт, номінальним тиском – до 5 атм. та подачею до 2000 л/год [25].

При розрахунковій подачі такий насос буде споживати

$$P_n = \frac{Q_n P_n}{\eta_n}, \quad (8)$$

де Q_n – подача насоса, м³/с;

P_n – тиск насоса, Па;

η_n – коефіцієнт корисної дії насоса.

$$P_n = \frac{1,35 \cdot 10^{-4} 500000}{0,65} = 90 \text{ Вт.}$$

Таким чином загальна максимальна споживана потужність експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора становить 2400+500=2900 Вт. Загальна розрахункова споживана потужність 440+90=530 Вт.



Питомі витрати енергії експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора при розрахунковому режимі роботи [26]

$$E_{num} = \frac{P}{Q_2}, \quad (9)$$

$$E_{num} = \frac{530}{500} = 1,1 \text{ Вт/кг},$$

або 1,1 кВт/т молока.

Вибір необхідного діаметрів трубопроводів машини залежить від значення витрат продукту, що транспортується та його виду. Максимальна швидкість руху рідини (емульсії) по трубах залежить від її в'язкості та повинна надавати ламінарний режим руху. Такий режим встановлюється при русі продукту зі швидкістю 0,5 – 1,5 м/с.

При перекачування молока діаметр трубопроводу, який з'єднує насос з форсунками d_m , м, розраховується за формулою

$$d_T \geq 2 \sqrt{\frac{Q}{3600 \cdot \rho_m \cdot \pi \cdot v_m}}, \quad (10)$$

$$d_T \geq 2 \sqrt{\frac{500}{3600 \cdot 1030 \cdot 3,14 \cdot 1,5}} = 0,011 \text{ м}.$$

Тобто внутрішні діаметри трубопроводів подачі знежиреного молока повинні бути більше 11 мм.

Підшипники ковзання кривошипного механізму обчислюють на питомий тиск

$$P = \frac{P_{\Pi}}{F} \leq [p], \quad (11)$$

де P – навантаження на підшипник, кг;
 F – площа опорної поверхні, м²;

$$P_{\Pi} = \frac{2M_{кр}}{d_6}; \quad (12)$$

$M_{кр} = \frac{P}{n}$ – крутний момент, Н·м;

d_6 – діаметр валу, м.

$$M_{кр} = \frac{2400}{100} = 24 \text{ Н·м},$$

$$P_{\Pi} = \frac{2 \cdot 24}{0,030} = 1600 \text{ Н},$$

$$P = \frac{1600}{0,007} = 0,2 \cdot 10^6 \leq 80 \cdot 10^6 \text{ Н/м}.$$

При розрахунку підшипників по обмеженню нагріву витримують співвідношення

$$P_{II}\nu = [P_{II}\nu], \quad (13)$$

$$\nu = \frac{\pi d_o n}{60}, \quad (14)$$

$$\nu = \frac{3,14 \cdot 0,04 \cdot 350}{60} = 0,732 \text{ м/с.}$$

$$205000 \cdot 0,732 = 0,15 \cdot 10^6.$$

Для бронзових підшипників $P_{II} = 80 \text{ кг/см}^2 = 8 \text{ МПа}$; $\nu = 3 \text{ м/с}$; $P_{II}\nu = 24 \text{ МПа/(м/с)}$. Тобто умова максимального нагріву витримується.

На рис. 2 представлений загальний вид експериментального зразка для пульсаційної гомогенізації молока.

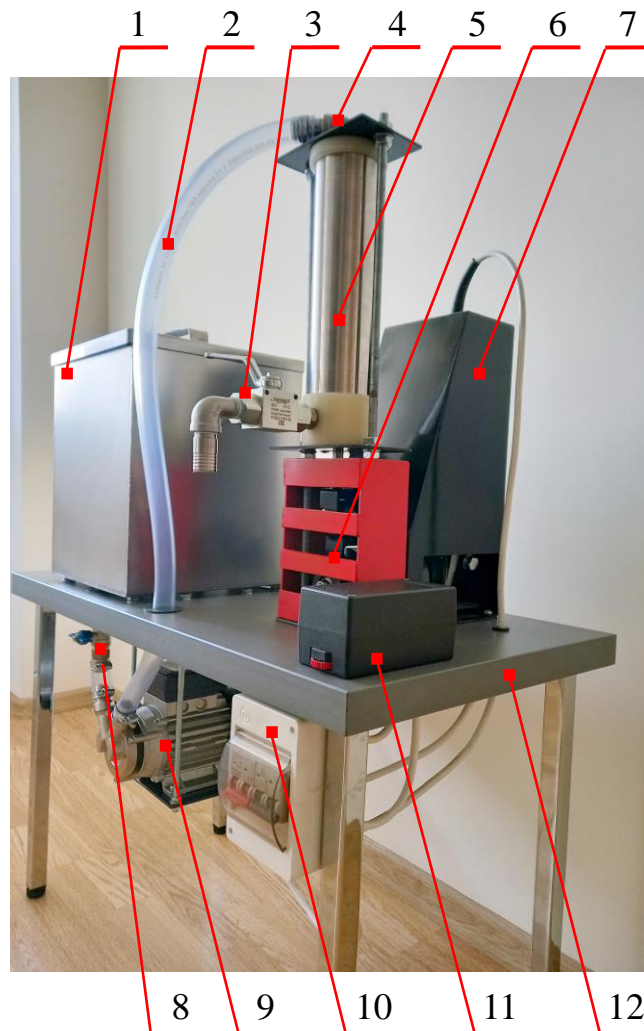


Рис. 2. Загальний вигляд експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора

1 – приймальна ємність; 2 – патрубок подачі продукту в камеру; 3 – випускний вентиль; 4 – перепускний вентиль; 5 – робоча камера; 6 – кривошипний механізм; 7 – електродвигун приводу обертання кривошипу; 8 – перепускний вентиль; 9 – насос; 10 – електричний вимикач; 11 – пульт керування; 12 – станина



Розроблена експериментальна установка пульсаційного гомогенізатора молока забезпечує зміну:

- подачу продукту в камеру гомогенізатора;
- частоти та амплітуди коливань поршня;
- виду, форми та матеріалу поршня;
- кількості, діаметра, розташування і форми отворів поршня.

Результати випробувань представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати лабораторних випробувань пульсаційного гомогенізатора

№ з/п	Найменування показників	Вимоги	Результати випробувань	Похибка вимірювань
1	Питомі енерговитрати	до 3,6 кВт·год/т	1,5 кВт·год/т	5%
2	Середній діаметр жирових кульок молока після гомогенізації	до 1 мкм	0,9 мкм	4%
3	Габаритні розміри (довжина x ширина x висота)	до 1200x1000x1600 мм	800x410x935 мм	2%
4	Маса	до 1200 кг	41 кг	3%
5	Продуктивність	0,5 – 5 т/год	0,8 т/год	5%

Розроблений експериментальний зразок необхідний дослідникам процесів гомогенізації та диспергування емульсій в харчовій, переробній, хімічній галузях промисловості а також сільському господарстві при проектуванні та будівництві машин відповідних галузей.

Висновки. В результаті проведених досліджень розроблена експериментальна установка пульсаційного гомогенізатора молока, який необхідний для проведення досліджень процесу пульсаційної гомогенізації. Описані етапи створення установки. Приведено технічні вимоги до продукції, що купується і матеріалів, що використовуються в експериментальному зразку пульсаційного гомогенізатора.

Приведено основні розрахунки експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора. Для установки з продуктивністю 500 кг/год. згідно розрахунку в якості приводу було обрано установку УШМ WD2400-150 номінальною потужністю 2,4 кВт та частотою



обертання 11000 об/хв. Загальна максимальна споживана потужність експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора становить 2900 Вт.

Наведені результати лабораторних випробувань пульсаційного гомогенізатора. Питомі витрати енергії експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора при розрахунковому режимі роботи становлять 1,5 кВт/т. молока. Середній діаметр жирових кульок молока після гомогенізації – 0,9 мкм. Продуктивність – до 800 кг/год. Розроблений експериментальний зразок необхідний дослідникам процесів гомогенізації та диспергування емульсій в харчовій, переробній, хімічній галузях промисловості а також сільському господарстві при проектуванні та будівництві машин відповідних галузей.

Список використаних джерел

1. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Івженко А. О., Левченко Л. В. Аналіз конструкцій гомогенізаторів молочної промисловості. *Праці ТДАТУ*. 2016. Вип. 16, т. 1. С. 9–15.

2. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Левченко Л. В. Аналітичні дослідження енерговитрат пульсаційного гомогенізатора молока. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2016. Вип. 1(23). С. 170–181.

3. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Левченко Л. В. Ефективність гомогенізації молока у пульсаційному гомогенізаторі. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2017. № 1(84). С. 116–121.

4. Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ломейко О. П. Методика розрахунку експериментального зразка струминного гомогенізатора молока. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2023. Вип. 13, т. 1. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-1-1>.

5. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Левченко Л. В. Теоретичні дослідження пульсаційної гомогенізації молока. *Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: матеріали другої міжнар. наук.– практик. конф., 5–7 вер. 2017 р.* Харків: ХДУХТ, 2017. С. 42–43.

6. Кравців Р. І., Кравців В. І., Островський Я. Ю. Молоко і молочні продукти: Львів: ЛА Піраміда, 2001. 310 с.

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

8. Паляничка Н. О., Антонова Г. В. Експериментальні дослідження впливу основних факторів на ступінь гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі. *Праці ТДАТУ*. 2016. Вип. 16, т. 1. С. 21–28.



9. Основи розрахунку та конструювання обладнання переробних і харчових виробництв: підручник / К. О. Самойчук, В. С. Бойко, В. О. Олексієнко [та ін.]. Київ: ПрофКнига, 2020. 428с.

10. Самойчук К. О., Паляничка Н. П., Верхоланцева В. О., Левченко Л. В. Методика розрахунку потужності пульсаційного гомогенізатора молока. *Modern methods, innovations and experience of practical application in the field of technical sciences: Conference proceedings: international research and practice conference*, 27–28 грудzień 2017 р. Lublin: Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2017. С. 176–179.

11. Hakansson A., Fuchs L., Innings F., Revstedt J., Trägårdh C., Bergenståhl B. Velocity measurements of turbulent two-phase flow in a high-pressure homogenizer model. *Chem. Eng. Commun.* 2013. Vol. 200. P. 93–114. <https://doi.org/10.1080/00986445.2012.691921>

12. Yong A., Islam M., Hasan N. The Effect of pH and High-Pressure Homogenization on Droplet Size. *Sigma J. Eng. Nat. Sci.* 2017. Vol. 35. P. 1–22. <https://doi.org/10.26776/IJEMM.02.04.2017.05>

13. Wang X., Wang Y., Li F., Li L., Ge X., Zhang S., Qiu T. Scale-up of microreactor: Effects of hydrodynamic diameter on liquid–liquid flow and mass transfer. *Chem. Eng. Sci.* 2020. Vol. 226. No 115838. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115838>

14. Valencia Flores D., Hernández Herrero M., Guamis B., Ferragut V. Comparing the Effects of Ultra-High-Pressure Homogenization and Conventional Thermal Treatments on the Microbiological, Phys, and Chem Quality of Almond Beverages. *J. Food Sci.* 2013. Vol. 78. P. 199–205. https://doi.org/10.1111/1750_3841.12029

15. Acharyaa S., Mishrab V., Patelc J. Enhancing the mixing process of two miscible fluids: A review. *AIP Conference Proceedings*. 2021. Vol. 2341. No 030025 <https://doi.org/10.1063/5.0051818>

16. Thomas S., Ameel T., Guilkey J. Mixing kinematics of moderate Reynolds number flows in a T-channel. *Phys. Fluids*. 2010. Vol. 22. No 031601. <https://doi.org/10.1063/1.3283063>

17. Haponiuk E., Zander L., Probola G. Effect of the homogenization process on the rheological properties of food emulsions. *Pol. J. Nat. Sci.* 2015. Vol. 30. P. 149–158.

18. Rayner M., Dejmek P. Engineering Aspects of Emulsification and Homogenization in the Food Industry; CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, 2015. 322 p. <https://doi.org/10.1201/b18436>.

19. Morales J., Watts A., McConville J. Mechanical particle-size reduction techniques. *AAPS Adv. Pharm. Sci.* 2016. Vol. 22. P. 165–213. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42609-9_4.

20. Монтаж експлуатація і ремонт машин та обладнання переробних підприємств. Навчальний посібник: Практикум / В. Ф.



Ялпачик, О. П. Ломейко, В. Г. Циб [та ін.]. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2014. 235с

21. Розрахунки обладнання харчових виробництв: навч. посібник / В. Ф. Ялпачик, С. Ф. Буденко, Ф. Ю. Ялпачик [та ін.]. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2014. 264 с.

22. Технологічне обладнання для переробки продукції тваринництва: Лабораторний практикум / В. Ф. Ялпачик, Н. П. Загорко, Н. О. Паляничка [та ін.]. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2017. 274 с.

23. Di Marzo L., Cree P., Barbano D. M. Prediction of fat globule particle size in homogenized milk using Fourier transform mid-infrared spectra. *Journal of Dairy Science*. 2016. Vol. 99(11). P. 8549–8560. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11284>

24. Dhankhar P. Homogenization fundamentals. *IOSR Journal of Engineering*. 2014. Vol. 4(5). P. 1–8. <https://doi.org/10.9790/3021-04540108>

25. Huppertz T. Homogenization of Milk Other Types of Homogenizer (High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification). *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2nd ed.; Academic Press: Cambridge, 2011. P. 761–764. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00226-0>

26. Ciron C., Gee V., Kelly A., Auty M. Comparison of the effects of high-pressure microfluidization and conventional homogenization of milk on particle size, water retention and texture of non-fat and low-fat yoghurts. *Int. Dairy J.* 2010. Vol. 20. P. 314–320. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.11.018>

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.

Стаття надійшла до редакції 18.10.2023 р.



S. Kiurchev¹, K. Samoichuk¹, V. Yalpachyk¹
¹Dmytro Motornyi Tavria State Agrrotechnological University

DEVELOPMENT OF THE EXPERIMENTAL SAMPLE OF THE PULSATION MILK HOMOGENIZER

Summary

One of the urgent tasks of the food industry is the development of highly efficient homogenizers-dispersers of liquid emulsions with reduced energy consumption. One of the promising directions for solving this problem is the research, development and implementation of a pulsating homogenizer. The principle of operation of such a machine is the dispersion of the fat phase during intensive oscillatory movement of the piston due to the creation of high emulsion accelerations that occur in the piston holes. An important stage of this task is the development of an experimental sample of the experimental homogenizer. Therefore, the purpose of this article is to create an experimental sample of a pulsating homogenizer suitable for conducting experimental studies of the pulsating homogenization process of milk. Experimental studies are the most responsible stage, capable of predicting the prospects and expediency of introducing a pulsating homogenizer instead of existing valve homogenizers with a specific energy consumption of 7 kWh/t of finished product. The article provides the requirements for the developed installation, characteristics, necessary calculations of the main components of the machine (technological, structural and hydraulic). A photo of the developed installation and the principle of its operation are described. The main calculations of the experimental sample of the pulsating homogenizer are presented. For an installation with a productivity of 500 kg/h. according to the calculation, the USHM WD2400-150 unit with a nominal power of 2.4 kW and a rotation frequency of 11,000 rpm was chosen as the drive. The total maximum power consumption of the experimental sample of the pulsating homogenizer is 2900 W. The developed experimental sample is necessary for researchers of the processes of homogenization and dispersion of emulsions in the food, processing, and chemical industries, as well as in agriculture during the design and construction of machines in the relevant industries.

Keywords: homogenization, dispersion of milk, emulsion, dispersion, experimental sample, pulsating homogenizer.

ПРАЦІ
Таврійського державного агротехнологічного університету

Наукове фахове видання

Випуск 23, том 1

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 01.11.2023 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Ум.-друк. арк. 15 Наклад 100.
ТОВ «Науково-виробнича компанія «Інтер-М»
Свідоцтво 33 № 26 від 23.06.2008 р.
69014, Україна, м. Запоріжжя, вул. Колерова,5