

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., Серета 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



---

**ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

---

**DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-1**

УДК 637.134

С. В. Кюрчев <sup>1</sup> , д-р техн. наук	ORCID: 0000-0001-6512-8118
К. О. Самойчук <sup>1</sup> , д-р техн. наук	ORCID: 0000-0002-3423-3510
О. О. Ковальов <sup>1</sup> , канд. техн. наук	ORCID: 0000-0002-4974-5201
Н. О. Паляничка <sup>1</sup> , канд. техн. наук	ORCID: 0000-0001-8510-7146
О. В. В'юник <sup>1</sup> , інженер	ORCID: 0000-0002-6413-5567

<sup>1</sup> *Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

e-mail: oleksandr\_kovalov@tsatu.edu.ua, тел.: +380963205531

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ  
ДИСПЕРГУВАННЯ В ПУЛЬСАЦІЙНОМУ ГОМОГЕНІЗАТОРІ  
РІДКИХ ПРОДУКТІВ**

*Анотація.* В статті наведено аналізу пристроїв аналогу та прототипу корисної моделі, результати якого свідчать про конструктивні особливості, з врахуванням яких розглянуті конструкції не забезпечують необхідну якість диспергування в крайніх положеннях амплітуди руху поршня-ударника. Розглянуті конструкції відрізняються високими значеннями енерговитрат, пов'язаними з високими значеннями гідравлічного опору в середній частині амплітуди руху поршня-ударника. Запропоновано корисну модель, в якій обґрунтовано доцільність монтажу в отворах поршня-ударника еластичних вставок, які мають наскрізні отвори. Обґрунтовано, що в крайніх положеннях амплітуди руху поршня-ударника впровадження пропозиції забезпечить підвищення якості гомогенізації, а в середній частині амплітуди руху поршня дозволить досягти зниження енерговитрат при високій якості гомогенізації.

*Ключові слова:* поршень-ударник, наскрізні отвори, шток, еластичні вставки, гомогенізована емульсія, диспергування

*Постановка проблеми.* Стан енергетичної інфраструктури України, що стрімко погіршується на тлі терористичних атак на енергетичний сектор з боку країни-агресора примушує підприємства харчової та переробної галузі продовжувати пошук способів підвищення енергоефективності та зниження собівартості продукції. Відомо, що диспергування жирової фази молочної емульсії (гомогенізація) за показниками енергетичних витрат практично дорівнює показникам, які притаманні процесу подрібнення (близько 7-9 кВт·год/т гомогенізованого молока [1]). Водночас гомогенізація відноситься до нормативних процесів, які виконуються в





обов'язковому порядку при переробці кисломолочних продуктів, сумішей для виготовлення морозива, питного молока, йогуртів та інших продуктів [2]. Метою диспергування є зменшення середнього діаметра жирових кульок для забезпечення рівномірного розподілу жирової фази в об'ємі молочної плазми, підвищення стабільності молочних продуктів та їх стійкості до розшарування.

Для проведення гомогенізації на більшості підприємств молокопереробної, консервної та інших галузей переробної та харчової промисловості використовуються диспергатори клапанного типу. Відмінною особливістю таких пристроїв є забезпечення зменшення середнього діаметра жирових кульок до технологічно обумовлених значень (0,75–0,85 мкм) [3, 4]. Між тим такі конструкції неможливо вважати енергоефективними, зважаючи на те, що їх питомі енерговитрати складають більше 7 кВт·год/т переробленого продукту [1]. Висока актуальність проблеми обумовила пошук можливих шляхів підвищення енергоефективності диспергування, що призвело до появи близько 10 гіпотез процесу та конструкцій, що ґрунтуються на базі цих припущень. Однак жодна з цих гіпотез повною мірою не пояснює теоретичні основи процесу диспергування, а проведення ґрунтовних досліджень ускладнюється особливостями перебігу процесу. Внаслідок цього відомі конструкції або не забезпечують зниження середнього діаметра жирових кульок до технологічно обумовлених значень (електрогідравлічні, роторно-пульсаційні) або не може забезпечувати суттєвого зниження енергетичних витрат процесу (клапанні, мікрофлюїдизатори) [1, 5].

*Аналіз останніх досліджень.* Результати новітніх досліджень дозволяють стверджувати, що досягти суттєвого підвищення енергоефективності диспергування можливо досягти за рахунок дослідження та впровадження конструкцій струминно-поршньового та імпульсного гомогенізаторів [6]. Принцип їх дії ґрунтується на інтенсивному впливі імпульсів, що створюються при зворотно-поступовому русі робочих механізмів в камері гомогенізації на молочну емульсію. В імпульсному гомогенізаторі такі впливи забезпечуються при русі вниз та вгору поршня-ударника, що закріплений на вертикальному штоку для здійснення зворотно-поступального руху. При русі поршня вниз або вгору знежирене молоко з певним значенням швидкості відносного руху захоплює жирові кульки, що за рахунок сил інерції рухаються в протилежному напрямку, що створює необхідні передумови для їх руйнування [7]. Результати аналітичних досліджень та пошукових експериментів свідчать про те, що використання імпульсного гомогенізатору дозволяє забезпечити зменшення середнього діаметра жирових кульок молока до 0,80 мкм [6,8]. При цьому питомі витрати лабораторного



зразку диспергатора такого типу не перевищують 1,5 кВт·год/т гомогенізованого молока, що свідчить про 5-6 кратне підвищення енергоефективності відносно клапанних гомогенізаторів при забезпеченні однакової якості вихідного продукту [6, 9].

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою даної статті є дослідження можливості подальшого зниження енергетичних витрат диспергування та підвищення якості процесу в пульсаційному гомогенізаторі рідких продуктів. Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- виконати аналіз конструкцій аналогу та прототипу;
- здійснити обґрунтування корисної моделі пульсаційного гомогенізатора рідких продуктів, використання якого дозволить забезпечити високу якість диспергування при одночасному зниженні енергетичних витрат процесу.

*Основна частина.* Внаслідок проведення патентних досліджень в якості аналогу було обрано конструкцію гомогенізатора для рідких продуктів. Пристрій складається з циліндру, в якому змонтовані патрубкі подачі сировини та відведення готового продукту та встановленого на штоку поршня-ударника, який має осьові отвори, що чергуються по колу діаметрами вихідних і вхідних отворів та виконані наскрізь. Особливістю отворів в поршні є їх виконання в формі кавітаційного сопла, перехідний конфузор якого виконано з поверхнею брахістохронної властивості, причому випуклою стороною у бік дії гомогенізованого потоку [10]. За рахунок імпульсів від штоку поршень-ударник здійснює зворотно-поступові рухи. Рідина, що підлягає гомогенізації надходить до верхньої порожнини циліндру, після чого проходить в зазорі між циліндром та поршнем-ударником та отвори дифузорів, потрапляючи до нижньої порожнини. Зменшення середнього діаметру часток дисперсної фази (наприклад жирових кульок молока) забезпечується за рахунок подвійного впливу на рідину імпульсного руху поршня-ударника та кавітації, що згідно тверджень авторів забезпечує високу якість процесу [11].

Однак результати проведеного аналізу дозволяють стверджувати про недостатній ступінь гомогенізації, що буде спостерігатись при русі поршня-ударника в зонах, які наближені до верхньої та нижньої мертвих точок [7,12]. У цих ділянках швидкість поршня є мінімальною, що обумовлює мінімальну швидкість струменів та зниження інтенсивності кавітації, що обумовлює практичну відсутність диспергування в зазначених зонах. Конструктивні особливості будови пристрою обумовлюють той факт, що лише половина отворів в поршні-ударнику одночасно здатна забезпечити високу якість диспергування. Це пов'язано з тим, що отвори, які розташовані зворотно до напрямку руху поршня-ударника



не здатні забезпечити диспергування при русі поршня в протилежному напрямку, що знижує ефективність конструкції [13].

Інший недолік аналогу являє собою високі значення питомих витрат енергії, що пов'язано з високими величинами гідравлічного опору при проходженні рідкого продукту крізь наскрізні отвори невеликого діаметру [2]. Особливо критично гідравлічний опір зростає в центральній частині амплітуди руху поршня-ударника, де швидкість його руху, а отже і швидкість струменів має максимальні значення [6]. В цій зоні спостерігається найвища якість диспергування, але енерговитрати, необхідні для подолання гідравлічного опору рідини також мають високі значення. Крім цього наявність частини отворів, що розташовані протилежно до напрямку руху поршня-ударника створюють додаткові значення гідравлічного опору при проходженні рідкого продукту крізь них, що додатково збільшує енерговитрати диспергування в цьому гомогенізаторі [14].

Конструкція, що була обрана в якості аналогу являє собою гомогенізатор для рідких продуктів, який складається з циліндру, в якому змонтовані патрубки підведення сировини та відведення гомогенізованої емульсії та поршня-ударника. В останньому в вигляді дифузорів, основа яких розташована критичним перерізом на глибині, що дорівнює половині його товщини з кутом конусності  $45-55^\circ$  виконано наскрізні осьові отвори [15].

Зворотно-поступальний рух поршня-ударнику забезпечується за допомогою імпульсів від штоку. Після надходження до верхньої порожнини циліндру, рідина, що піддається диспергуванню прямує в зазорі між поршнем-ударником та циліндром і отвори дифузору до нижньої порожнини. При виході з наскрізних отворів поршня-ударнику струмені рідини мають максимальну швидкість руху. Це обумовлюється виконанням дифузорів з кутом конусності  $45-55^\circ$ , що забезпечує необхідні передумови для якісного диспергування жирової фази [8,16]. Конструктивне виконання осьових отворів в формі дифузорів при здійсненні поршнем-ударником зворотно-поступальних рухів забезпечує рівномірний вплив на продукт, що обумовлює підвищення однорідності гомогенізованої емульсії [1, 10].

Незважаючи на декларовану авторами високу якість диспергування в конструкції гомогенізатора для рідких продуктів, на ділянках, які наближені до нижньої та верхньої мертвих точок поршень-ударник має мінімальну швидкість. Це обумовлює низьку швидкість струменів і відповідно недостатню якість гомогенізації. Додатково недоліком відомого пристрою є високі значення питомих витрат енергії, що обумовлено високими значеннями гідравлічного опору рідини на центральній ділянці амплітуди поршня-ударника, що виникає при її проходженні крізь отвори малого діаметра [17]. На цій



ділянці поршень-ударник має найбільшу швидкість, що з одного боку забезпечує максимальну якість диспергування, а з іншого-приводить до суттєвого зростання питомих енерговитрат, пов'язаних із подоланням гідравлічного опору при проходженні рідини крізь осьові отвори малого діаметру [4, 18].

Забезпечити високу якість диспергування можливо за рахунок підвищення швидкості струменів рідини, що проходить крізь осьові отвори. Досягти цього можливо за рахунок збільшення швидкості руху поршня-ударнику або шляхом зменшення діаметрів отворів в ньому [17, 19]. Слід зазначити, що обидва рішення призводять до зростання енергетичних витрат диспергування [20]. Іншим шляхом є використання отворів, форма яких наближується до конічного або коноїдального профілю, що буде забезпечувати підвищення коефіцієнту швидкості без додаткових витрат енергії [5].

При русі поршня-ударнику від верхньої до нижньої мертвої точки всередині амплітуди можна виділити 3 ділянки. Поблизу від верхньої мертвої точки поршень-ударник має низьку швидкість руху, що обумовлює низьку швидкість руху струменів крізь отвори поршня. Рух поршня-ударнику в середній частині амплітуди характеризується високими швидкостями власного руху та проходження струменів крізь отвори поршня. Відповідно в зоні, наближеній до нижньої мертвої точки швидкості поршню та струменів, що проходять крізь отвори мають низькі значення. Описана нерівномірність значень швидкості всередині амплітуди являє собою головну причину зниження якості диспергування при обробці продукту не лише в імпульсному, але й в подібних типах конструкцій (струминно-поршньові, пульсаційні).

Для усунення цієї конструктивної вади в корисній моделі пропонується забезпечити формування струменю при русі поршня-ударнику. Це можливо реалізувати шляхом закріплення в отворах поршня-ударнику вставок з еластичного матеріалу, наприклад у вигляді гумових шайб невеликої товщини. Практична реалізація запропонованого рішення прогнозовано забезпечить мінімальний тиск на гумові шайби в зонах, поблизу нижньої та верхньої мертвої точок. При мінімальних значеннях тиску діаметр отворів в еластичних вставках буде мати низькі значення, що забезпечить підвищення швидкості проходження струменів крізь зони 1 та 3 та дозволить забезпечити високу якість диспергування при їх проходженні поршнем-ударником.

У зонах, що наближені до середньої частини амплітуди поршня-ударнику еластичні вставки зазнаватимуть максимального тиску, що призведе до їх розтягування та вигину, внаслідок чого відбудеться збільшення діаметру отвору [17]. Таким чином в зоні 2



за рахунок деформації гумових шайб відбудеться зменшення гідравлічного опору при проходженні рідини, що гомогенізується крізь отвори в поршні-ударнику, що в свою чергу призведе до зниження енергетичних витрат диспергування [12]. Разом з цим деформація еластичних вставок та збільшення діаметрів отворів у поршні-ударнику не призведе до суттєвого зменшення швидкості струменів, що проходять крізь отвори, завдяки високій швидкості його руху [20]. Розтягнення та вигин гумових шайб призведе до набуття отворами близької до коноїдальної або конічної форми профілю, що забезпечить підвищення коефіцієнту швидкості та забезпечить додаткове зростання швидкості руху струменів крізь отвори поршня-ударника [16, 20]. Таким чином в зоні 2 та наближених до неї ділянках буде забезпечуватись висока якість диспергування при одночасному зниженні енерговитрат процесу.

В основу корисної моделі покладено задачу удосконалення пульсаційного гомогенізатора для рідких продуктів шляхом модернізації конструктивних елементів отворів поршня-ударника, що призведе до підвищення якості та зниження енерговитрат процесу. Поставлена задача вирішується тим, що в пульсаційному гомогенізаторі для рідких продуктів (рис.1), що містить циліндр з патрубками підведення і відведення гомогенізованої емульсії й встановлений в ньому поршень-ударник, в якому виконані осьові наскрізні отвори і який здійснює зворотно-поступальні рухи за допомогою імпульсних рухів штока, згідно запропонованої корисної моделі, в отворах поршня-ударника закріплені вставки з еластичного матеріалу, які мають наскрізні отвори.

Запропонована корисна модель працює наступним чином. При включенні приводу 4 поршень-ударник 2 отримує імпульсні рухи від штоку 3, внаслідок чого починає зворотно-поступальні рухи вздовж вертикальної вісі. Рідина, що підлягає гомогенізації подається крізь патрубок 5 до колектору вводу 7, після чого крізь отвори 8 надходить до верхньої порожнини циліндру 1. Прямуючи до нижньої порожнини циліндру рідина проходить в зазорі між поршнем-ударником та циліндром, а також отвори дифузоров 10 та отвори у вставках з еластичного матеріалу 12. Диспергування відбувається за рахунок струменів рідини, які мають високу швидкість та формуються при виході з наскрізних отворів 12, вставок 11, що виконані з еластичного матеріалу, закріплених в отворах поршня-ударника 10 за допомогою шайб 13 і болтів 14. При деформації вставок 11, що мають отвори 12, на середній ділянці загальної амплітуди руху поршня-ударника 2, відбувається збільшення діаметрів отворів 12, що обумовлює зниження енерговитрат гомогенізатора. Разом з цим отвір 12 набуває конічної або коноїдальної форми, внаслідок чого підвищується

коефіцієнт швидкості струменів гомогенізованої емульсії. Вихід готового продукту відбувається крізь вентиль 9 та патрубок 6.

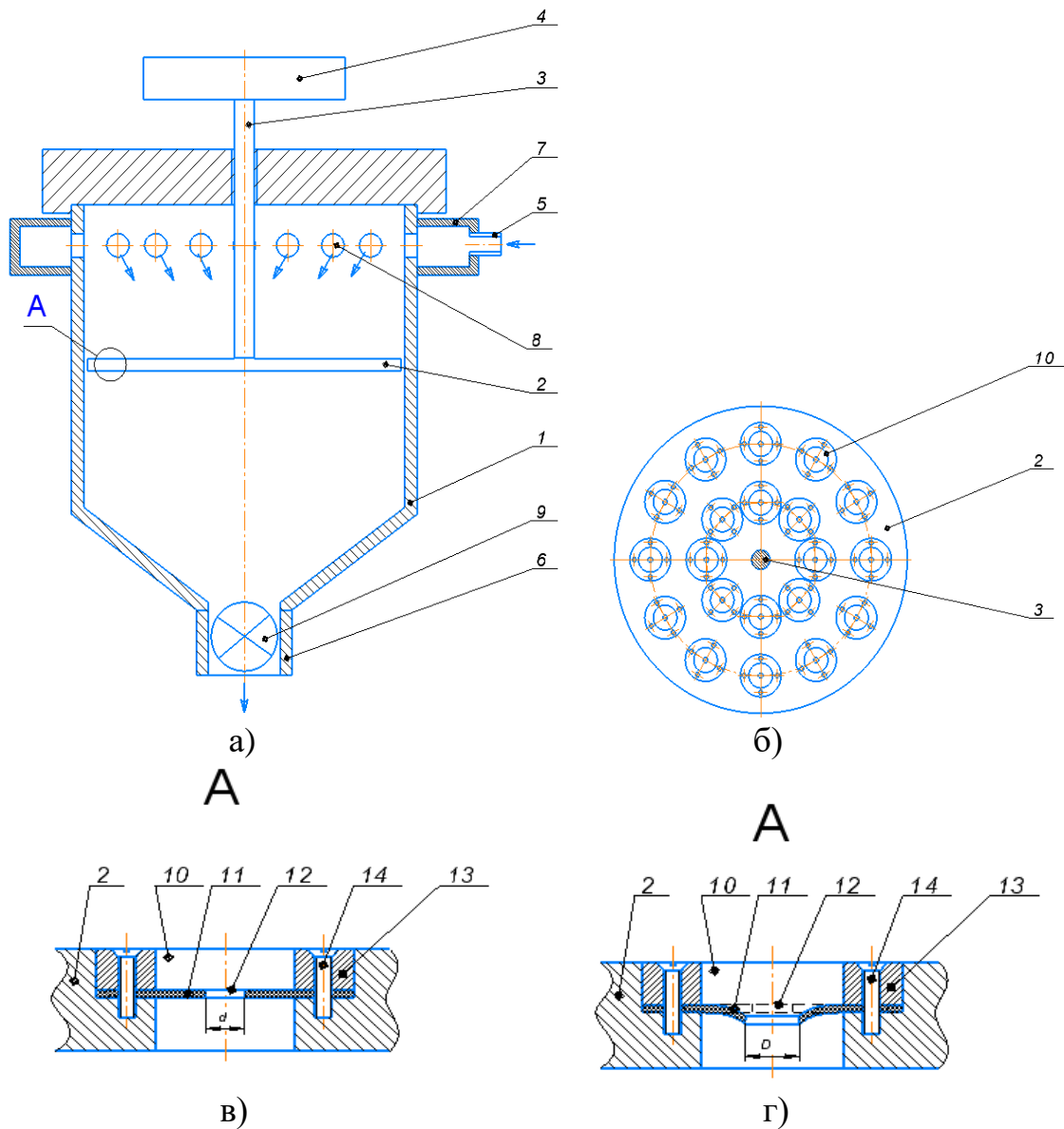


Рис. 1. Пульсаційний гомогенізатор для рідких продуктів а) загальний вигляд; б) вид зверху на поршень-ударник; в) отвір поршня-ударника з закріпленими вставками з еластичного матеріалу при русі поршня-ударника в зонах 1 і 3; г) отвір поршня-ударника з закріпленими вставками з еластичного матеріалу при русі поршня-ударника в зоні 2:  
1 – циліндр; 2 – поршень-ударник; 3 – імпульсний привід;  
4 – конфузозом; 5 – патрубок підведення рідини для диспергування;  
6 – патрубок відведення гомогенізованої рідини; 7 – колектор вводу гомогенізованої рідини; 8 – отвори колектору; 9 – вентиль випуску та регулювання витрати гомогенізованої рідини; 10 – осьові наскрізні отвори; 11 – вставки з еластичного матеріалу; 12 – наскрізні отвори; 13 – шайби; 14 – болти



Використання вставок з еластичного матеріалу завдяки тому, що всі отвори у поршні забезпечують одночасне та максимально ефективно формування струменів дозволить уникнути необхідності чергування по колу вхідних і вихідних отворів. Застосування гумових, до прикладу шайб дозволить забезпечити зменшення товщини, а відповідно і ваги поршня-ударника, що прогнозовано призведе до зниження енерговитрат диспергування. Крім цього використання вставок з еластичного матеріалу дозволить суттєво знизити вірогідність облітерації внутрішніх поверхонь отворів у поршні-ударнику, що в свою чергу забезпечить підвищення надійності конструкції.

*Висновки.* В рамках досліджень, спрямованих на подальше підвищення енергоефективності процесу було проаналізовано конструкції імпульсних гомогенізаторів рідких продуктів. Конструкції, розглянуті в якості аналогу та прототипу не забезпечують умов для ефективного диспергування на ділянках, наближених до верхньої та нижньої мертвих точок, що перешкоджає отриманню продукту високої якості. Розглянуті пристрої характеризуються високими значеннями енергетичних витрат, що пов'язані з високими величинами гідравлічного опору в середній ділянці амплітуди руху поршня-ударника.

Запропоновано корисну модель, в якій рекомендовано змонтувати в отворах поршня-ударника вставки з еластичного матеріалу, що мають наскрізні отвори. Завдяки цьому на ділянках, які наближені до верхньої та нижньої мертвих точок мінімальні значення тиску на еластичні вставки забезпечить підвищення швидкості руху рідини крізь отвори поршня-ударника, а відтак і якості диспергування. З іншого боку максимальний тиск на вставки з еластичного матеріалу, що буде спостерігатись на середній ділянці амплітуди руху поршню забезпечить деформацію матеріалу, що призведе до зниження гідравлічного опору, а отже енергетичних витрат диспергування.

Завдяки запропонованій сукупності конструктивних ознак використання вставок з еластичного матеріалу призводить до підвищення якості та зниження енерговитрат процесу гомогенізації рідких продуктів.

#### *Список використаних джерел*

1. Huppertz T. Homogenization of Milk|Other Types of Homogenizer (High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification). *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2nd Edition. 2011. P. 761–764.



2. Innings F., Trägårdh C. Visualization of the drop deformation and break-up process in a high pressure homogenizer. *Chem. Eng. Technol.* 2005. Vol. 28. P. 882–891.

3. Ковальов О. О. Обґрунтування параметрів струминно-щілинного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / ТДАТУ. Мелітополь, 2021. 20 с.

4. Liao Y. X., Lucas D. A literature review of theoretical models for drop and bubble breakup in turbulent dispersions. *Chem. Eng. Sci.* 2009. Vol. 64. P. 3389–3406.

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

6. Самойчук К. О. Розвиток наукових основ гідродинамічного диспергування молочних емульсій: автореф. дис ... док. техн. наук: 05.18.12. Харків, 2018 . 44 с.

7. Tartar L. The General Theory of Homogenization. *Lecture Notes.* 2009. Vol. 34. P. 470.

8. Dhankhar P. Homogenization fundamentals. *IOSR Journal of Engineering.* 2014. Vol. 4(5). P. 1-8.

9. Vladislavljevic G., Al Nuamani R., Nabavi S. Microfluidic production of multiple emulsions. *Micromachines.* 2017. Vol. 8. P. 75.

10. Самойчук К. О., Левченко Л. В., Циб В. Г. Обґрунтування параметрів отворів поршня пульсаційного гомогенізатора молока. *Праці ТДАТУ.* 2018. Вип. 18, т. 1. С. 274–280.

11. Walstra P., Wouters J. T. M. and Geurts T. J. Homogenization. *Dairy Science and Technology.* Second Edn. Boca Raton London, New York: Taylor & Francis Group LLC, 2006. P. 279.

12. Ward K., Fan Z. H. Mixing in Microfluidic Devices and Enhancement Methods. *J. Micromech. Microeng.* 2015. Vol. 25(9). P. 94001–94017.

13. 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 grudzień 2017 р. Lublin, 2017.* P. 176–179.

14. Hakansson A., Fuchs L., Innings F., Revstedt J., Trägårdh C., Bergenstehl 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>.

15. 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. *Наукові праці ХДУХТ*. 2016. Вип. 2(24). С. 226–233.

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

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

18. 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>.

19. 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>.

20. 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>.

*Стаття надійшла до редакції 01.04.2024 р.*

**S. Kiurchev<sup>1</sup>, K. Samoichuk<sup>1</sup>, A. Kovalyov<sup>1</sup>, N. Palianychka<sup>1</sup>, O. Viunyk<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University**

### **INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF DISPERSING IN A PULSATION LIQUID PRODUCTS HOMOGENIZER**

#### *Summary*

The decrease in the potential of energy producing companies in Ukraine associated with the terrorist actions of the aggressor country forces scientists and specialists in the food and processing industries to look for ways to increase the energy efficiency of industry processes. Homogenization is a normative process in the production of most dairy products. At the same time, dispersion for the most common valve homogenizers in industry has energy costs comparable to grain crushing processes.

The results of promising studies allow us to say that it is possible to achieve a 5-6-fold reduction in specific energy costs for dispersion by studying and implementing designs based on the intense impact of impulses generated as a result of the reciprocating movement of the piston-impactor. The article analyzed the designs of the analogue and the prototype of the utility model. The results obtained allow us to assert that the considered designs cannot provide high quality homogenization when the piston-impactor approaches the top and bottom dead centers. In addition, the considered designs have high energy costs for dispersion in the middle part of the amplitude of movement of the piston-impactor, which is associated with large values of hydraulic resistance when liquid products pass through the holes in the piston-impactor.



In the proposed utility model, it is recommended to install inserts made of elastic material that have through holes into the holes of the piston-impactor. The results of analytical studies indicate that such a measure will help improve the quality of homogenization at the extreme points of the amplitude of piston movement. On the other hand, the proposed measure makes it possible to reduce the energy costs for dispersion in the middle part of the amplitude of movement of the piston-impactor. The proposed measure avoids obliteration, increases the reliability of the design, ensuring the production of high quality products while simultaneously reducing the energy costs of the process.

**Keywords:** impactor piston, through holes, rod, elastic inserts, homogenized emulsion, dispersion

## **ПРАЦІ**