

# 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 2078-0877

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)

**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)

**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)

**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. Khmel'nitskyi 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., Yakubovskiy 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-ударнику еластичних вставок, які мають наскрізні отвори. Обґрунтовано, що в крайніх положеннях амплітуди руху поршня-ударнику 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-ударнику, 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.

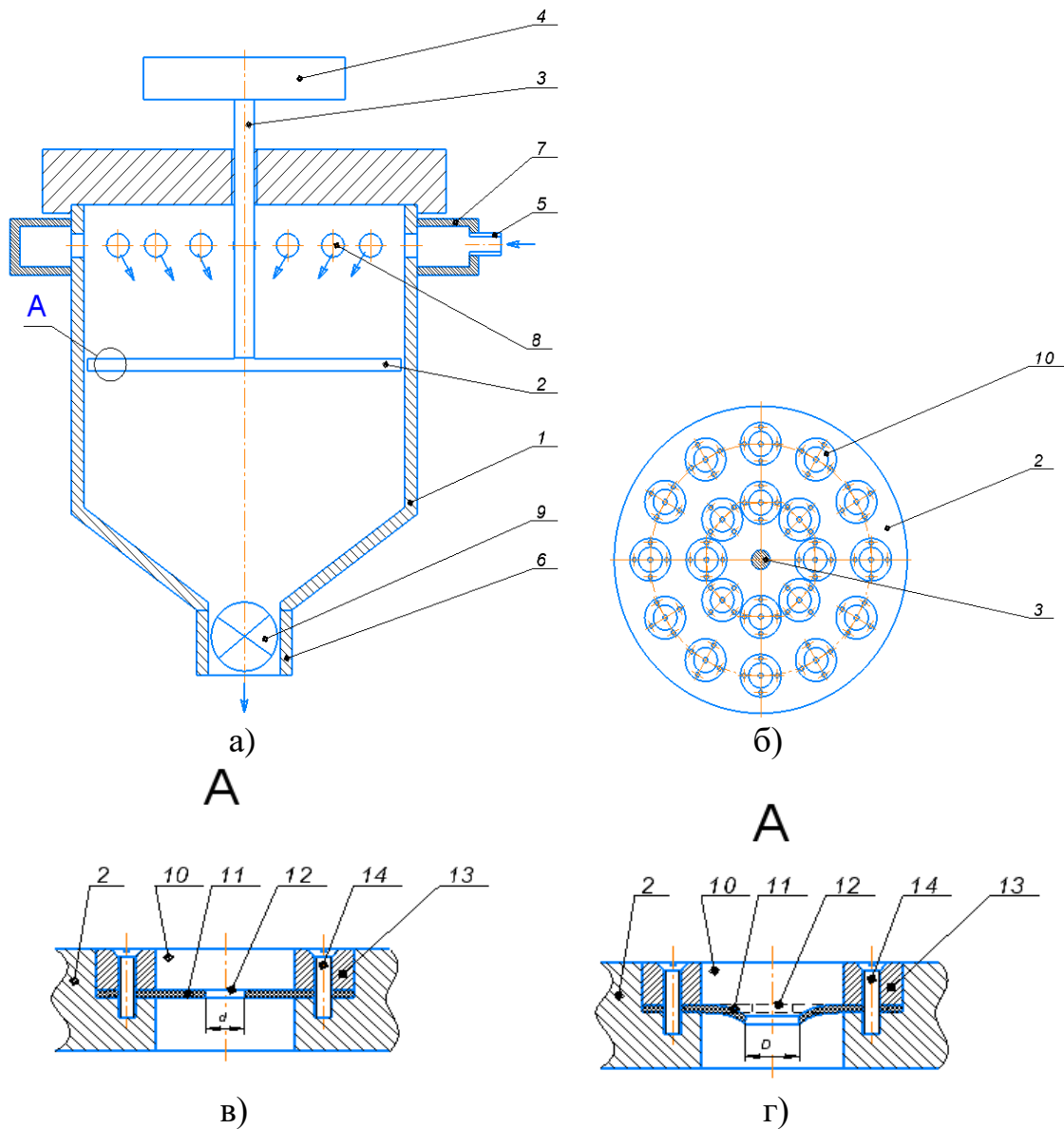


Рис. 1. Пульсаційний гомогенізатор для рідких продуктів а) загальний вигляд; б) вид зверху на поршень-ударник; в) отвір поршня-ударника з закріпленими вставки з еластичного матеріалу при русі поршня-ударника в зонах 1 і 3; г) отвір поршня-ударника з закріпленими вставки з еластичного матеріалу при русі поршня-ударника в зоні 2:  
1 – циліндр; 2 – поршень-ударник; 3 – імпульсний привод;  
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



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-2

УДК 631.372.004.6

Д. П. Журавель<sup>1</sup>, д-р техн. наук

ORCID 0000-0002-6100-895X

А. М. Бондар<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0002-4761-9084

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

e-mail: andriy.bondar@tsatu.edu.ua , тел.: +380969362877

## МОДЕЛЮВАННЯ КЕРОВАНОСТІ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ АДАПТИВНОГО РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ

*Анотація.* У статті проведено моделювання керованості колісних тракторів за допомогою адаптивного рульового керування. Виявлено, що найбільш важливі чинники, що впливають на керованість, включають швидкість руху, передаточне відношення рульового механізму, зовнішні фактори, чутливість рульового керування, тип рульового механізму і людський фактор. Розроблена математична модель адаптивного рульового керування дозволяє імітувати вплив збурюючих факторів на прямолінійність руху трактора, кут його повороту та геометричні параметри, а також швидкість руху, для забезпечення відповідності всім агротехнічним вимогам щодо обробки культурних рослин та якості виконання робіт. Наприклад, при виникненні збурюючих факторів під час міжрядної обробки кукурудзи, основним показником процесу є відхилення від прямолінійності на рівні 10 см при досягненні максимальної технологічної швидкості машинно-тракторного агрегату  $V_{max}=4$  м/с.

*Ключові слова:* колісний трактор, рульове керування, моделювання процесу, передаточне відношення, автоматичний режим, швидкість руху.

*Постановка проблеми.* В даний момент використання натурних експериментів вимагає попередньої апробації на різних симуляторах, що ефективно зберігає кошти та час, а також дозволяє виявити численні недоліки на етапі проектування. Ключовим є розвиток інтерактивних симуляторів, особливо для системи "людина-машинний". Важливо встановити взаємозв'язок між керованістю машинно-тракторного агрегату, умовами руху та параметрами рульового керування. З цієї причини моделюванню підлягає "людина-машинна" система, яка включає в себе різноманітні інформаційні, психологічні та фізичні аспекти. Оператор виступає як найбільш важлива та складна ланка цієї системи, оскільки йому потрібно одночасно враховувати зовнішні умови, підтримувати оптимальний режим роботи двигуна та коригувати роботу МТА згідно з технологічним процесом і змінами умов. Особливе навантаження



психологічне та фізичне отримує водій під час роботи вночі, на схилах та у горах.

*Аналіз останніх досліджень.* Адаптивне рульове керування може бути ефективним методом для підвищення керованості колісних тракторів. Цей підхід передбачає використання різних технологій та систем для адаптації роботи рульового механізму залежно від різних умов експлуатації та потреб водія. Основні можливі напрямки для підвищення керованості тракторів наступні: електронне рульове керування передбачає використання електроніки для керування рульовим механізмом, що дозволить реалізувати різні режими роботи, зокрема, адаптивне керування [1-8]. Електронні системи можуть аналізувати різні параметри, такі як швидкість руху, тип поверхні, кут нахилу, і на цій основі автоматично коригувати реакцію рульового механізму; вбудовані сенсори, такі як гіроскопи, акселерометри, GPS і інші, можуть надавати інформацію про рух та умови навколишнього середовища [9-12]. Ця інформація може використовуватися для автоматичного адаптивного керування; використання алгоритмів машинного навчання для аналізу даних і прийняття рішень щодо керування [13-18]. Моделі машинного навчання можуть навчатися на основі даних з сенсорів та досвіду водіїв, щоб автоматично підлаштовувати режим керування; використання силових приводів для незалежного керування кожним колесом. Це може дозволити різним колесам рухатися з різною швидкістю або навіть у протилежних напрямках, щоб покращити керованість в різних ситуаціях; використання алгоритмів оптимального керування, які автоматично підлаштовуються до змінних умов дороги та завдань, щоб максимізувати ефективність керування трактором. При впровадженні таких технологій важливо враховувати навчання водіїв та взаємодію цих систем з людьми для забезпечення безпеки та ефективності в реальних умовах експлуатації [19-23].

Існують спроби математично описати поведінку людини, але це часто призводить до недооцінки можливостей людини через спрощення. У сучасній складній техніці активно використовуються комп'ютерні моделюючі комплекси та тренажери. Вони не лише допомагають у тренуванні моторних навичок операторів, але й широко використовуються для отримання оптимальних експлуатаційних показників систем керування та оцінки можливостей нових типів таких систем [24-26].

Зазначений підхід дійсно дозволяє отримати достовірні оцінки керованості складних систем управління, а також синтезувати систему керування, яка враховує можливості людини-оператора та забезпечує високі показники керованості. Крім того, він дозволяє проводити

дослідження нетрадиційних рульових механізмів без необхідності створення складних конструктивних моделей. [27-31].

*Формулювання мети статті.* Мета математичного моделювання полягає у відтворенні крок за кроком руху транспортного засобу відносно базової лінії з метою отримання надійних показників керованості. Для досягнення цієї мети потрібно знати поточне значення курсового кута  $\alpha_1$  та зміщення визначеної точки транспортного засобу  $Y$ . Кожен наступний розрахунок положення проводиться враховуючи властивості рульового колеса, параметри руху (швидкість), поточні значення керуючого та збурюючих впливів. У цьому контексті математична модель повинна враховувати кінематичні характеристики транспортного засобу.

*Основна частина.* Побудова математичної моделі ґрунтується на двоточковій «велосипедній» моделі. Тому для визначення положення об'єкта на площині потрібно знати дві точки або одну точку разом з курсовим кутом. Відповідно до цього схема процесу керування МТА вздовж базової лінії матиме такий вигляд (рис. 1).

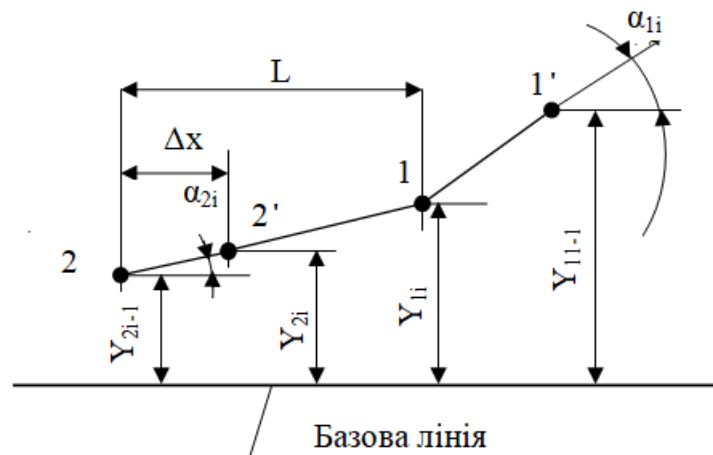


Рис. 1. Схема перетворювання координат для розрахунку параметрів дискретних моделей:  $L$  – довжина колісної бази трактора;  $\alpha_1$  – кут повороту передніх керуючих коліс;  $\alpha_2$  – поточне значення курсового кута;  $Y_1$ ,  $Y_2$  – поточне значення відхилень від базової лінії переднього та заднього коліс трактора відповідно;  $\Delta x$  – шаг квантування моделі по переміщенню.

Для побудови математичної моделі процесу руху транспортного засобу вздовж базової лінії були прийняті наступні припущення:

– швидкість реакції водія-оператора МТА є постійною і не перевищує 2.5 секунд.

– вплив факторів, таких як люфт у рульовому механізмі, зв'язок між еластичною шиною та дорожнім покриттям, коливання бічної сили на осях МТА, ураховується у вигляді кута уводу  $\delta$ , який має нормальний закон розподілення і генерується програмою.



Обмеження включають:

- зміна швидкості МТА від 1 до 4 м/с (3.6 – 14.4 км/год).
- передаточне відношення рульового механізму традиційного та експериментального варіантів.
- збурюючі впливи зовнішніх факторів на керуючі колеса.

Розроблена математична модель рульового керування з постійною чутливістю забезпечує сумісність високої маневреності і стабільності руху МТА на підвищених швидкостях.

Результатом є випадковий процес руху МТА вздовж базової лінії під керуванням оператора, який можна описати за допомогою дискретної математичної моделі.

$$\begin{cases} \alpha_{1i} = \frac{\alpha_i}{W}; & \Delta x = V_i \cdot \Delta t; \\ \alpha_{3i} = \frac{(Y_{1i-1} - Y_2)}{L}; \\ Y_{1i} = Y_{1i-1} + (\alpha_{3i} + \alpha_{1i} + \delta_i) \cdot \Delta x; \\ Y_{2i} = Y_2 + \alpha_{3i} \cdot \Delta x \end{cases} \quad (1)$$

де  $V$  – швидкість руху МТА;

$W$  – передаточне відношення рульового механізму;

$\Delta t$  – крок квантування по часу (0,05 с);

$\delta$  – значення збурюючого кута уводу еластичних шин.

Під час руху МТА відхиляється від заданої траєкторії через вплив зовнішніх збурюючих факторів, що вимагає постійних корегуючих дій оператора за допомогою рульового колеса.

У двохканальній схемі рульового керування передаточне відношення обчислюється таким чином:

$$W_i = W \left( 1 + \frac{V}{V_0} \right), \quad (2)$$

де  $V_0$  – середнє значення швидкісного діапазону МТА (const).

Для проведення досліджень математичної моделі був створений комп'ютерний симулятор, який дозволяє виконувати віртуальні заїзди в інтерактивному режимі. У процесі таких досліджень порівнювалися результати керування МТА з традиційним рульовим механізмом та адаптивним рульовим механізмом зі змінним передаточним відношенням.

Враховуючи рівняння (2), систему (1) можна записати у наступному вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta x = V_i \cdot \Delta t ; \\ W_i = W \left( 1 + \frac{V_i}{V_0} \right) \\ \alpha_{1i} = \frac{\alpha_i}{W_i} ; \\ \alpha_{2i} = \frac{(Y_{1i-1} - Y_2)}{L} ; \\ Y_{1i} = Y_{1i-1} + (\alpha_{3i} + \alpha_{1i} + \delta_i) \cdot \Delta x ; \\ Y_{2i} = Y_2 + \alpha_{3i} \cdot \Delta x \end{array} \right. \quad (3)$$

Розроблене програмне забезпечення надає можливість безперервно проводити всі три етапи дослідження:

– введення даних: користувач може вводити необхідні параметри та налаштування для проведення симуляцій.

– імітаційне моделювання: програма виконує симуляцію руху транспортного засобу згідно з введеними даними та параметрами.

– обробка результатів: отримані результати симуляцій підлягають аналізу та обробці, що дозволяє користувачеві отримати необхідну інформацію для подальшого аналізу та прийняття рішень.

Узагальненим показником, який відображає якість керування колісною машиною є величина добротності. Її можливо розрахувати наступним чином:

$$D = \frac{V}{\sigma_t}, \quad (4)$$

де  $D$  – добротність керування «людино-машинної» системи;

$V$  – швидкість руху МТА на контрольній ділянці;

$\sigma_t$  – середнє квадратичне відхилення фактичної траєкторії МТА від базової лінії.

Для отриманих у результаті моделювання даних були обчислені моменти й визначені числові характеристики.

Сутність експериментального моделювання полягає у визначенні максимальної добротності на підвищених швидкостях руху МТА. Для цього ми враховуємо наступні припущення та умовності:

– швидкість МТА буде змінюватися в діапазоні від 1 до 4 м/с (3.6–14.4 км/год).

– передаточне відношення рульового механізму для стандартного та експериментального варіантів.





– збурюючі впливи зовнішніх факторів впливають на керуючі колеса.

– початок збору даних відбувається лише після досягнення МТА визначеної швидкості руху.

– довжина колісної бази складає 2,7 метра.

Отримані в результаті експерименту дані піддаються обробці, де обчислюються моменти й визначаються числові характеристики за допомогою формул математичної статистики. [23-26].

Для вибірки об'єму  $N$  (одномірний масив  $x_i$ ) отримані:

– початкові моменти  $k$  – го порядку ( $k = 1 \div 4$ )

$$m_k(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^k, \quad (5)$$

– середнє значення абсолютних величин вибірки, (а також розмах вибірки)

$$m_1(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i|, \quad (6)$$

– центральні моменти  $k$  – го порядку ( $k = 1 \div 4$ )

$$M_2 = m_2 - m_1^2, \quad (7)$$

$$M_3 = m_3 - 3m_1m_2 + 2m_1^3, \quad (8)$$

$$M_4 = m_4 - 4m_1m_3 + 6m_1^2m_2 - 3m_1^4, \quad (9)$$

– середнє значення

$$\bar{x} = m_1(x), \quad (10)$$

– дисперсія

$$D = M_2, \quad (11)$$

– виправлена дисперсія

$$D_o = \frac{N}{N-1} \cdot M_2, \quad (12)$$

– стандартне відхилення

$$\sigma_o = \sqrt{D_o}, \quad (13)$$

– асиметрія

$$A_s = \frac{M_3}{\sigma^3}, \quad (14)$$

– ексцес

$$E = \frac{M_4}{\sigma^4} - 3, \quad (15)$$

Визначення відповідності розподілення даних нормальному закону було здійснене шляхом порівняння значень коефіцієнтів

асиметрії та ексцесу, а також стандартних відхилень на основі відповідних формул:

$$U_3 = \sqrt{\frac{6(N-1)}{(N+1)(N+3)}}, \quad (16)$$

$$U_4 = \sqrt{\frac{24(N-2)(N-3)N}{(N-1)^2(N+3)(N+5)}}, \quad (17)$$

При

$-|A_s| \leq 2 \cdot U_3$ ,  $|E| \leq 2U_4$  – розподіл досить близький до нормального (правило трьох сигм);

$-2U_3 < |A_s| \leq 3 \cdot U_3$ ,  $2U_4 < |E| \leq 3U_4$  – розподіл, близький до нормального за скошеністю та гострокутністю, можна вважати підкореним нормальному закону розподілу. У випадку, коли розподіл не відповідає цим характеристикам, він не підкоряється нормальному закону розподілу.

Для перевірки діючого стенда додатково були проведені розрахунки числових характеристик для випадкових величин  $X$  (відхилення трактора від базової лінії) і  $Y$  (відхилення рульового колеса від нейтрального положення) в пакеті Mathcad та перевірка на нормальний закон розподілу.

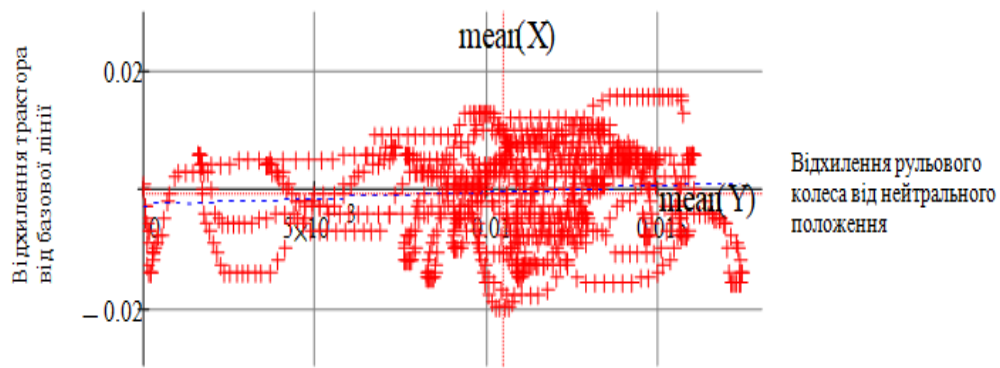
Крім того, був проведений регресійний аналіз і визначений коефіцієнт кореляції між двома випадковими величинами  $X$  і  $Y$ .

$$r_{xy} = \frac{m_2(X, Y) - m_1(X) \cdot m_1(Y)}{\sqrt{m_2(X) - m_1(X)^2} \cdot \sqrt{m_2(Y) - m_1(Y)^2}} \quad (18)$$

$$a = r_{xy} \frac{\sigma_Y}{\sigma_X}, \quad b = \bar{Y} - a\bar{X}. \quad (19)$$

Обробка даних розглядалася в пакеті Statistica 6 і Mathcad.

Для розглянутих вибірок можна зробити висновок, що випадкові величини підпорядковуються нормальному закону розподілу. У той же час, лінійні залежності для кореляційного аналізу мають низький коефіцієнт кореляції, що свідчить про слабку лінійну залежність між ними. На діаграмах розсіювання спостерігається нелінійна залежність, де крапки формують овальну "хмару", що підтверджує відсутність прямої лінійної залежності між випадковими величинами.



де +++ - відповідні значення X та Y;

..... - середнє значення величини X;

---- - середнє значення величини Y.]

Рис. 2. Регресійний аналіз значень X та Y

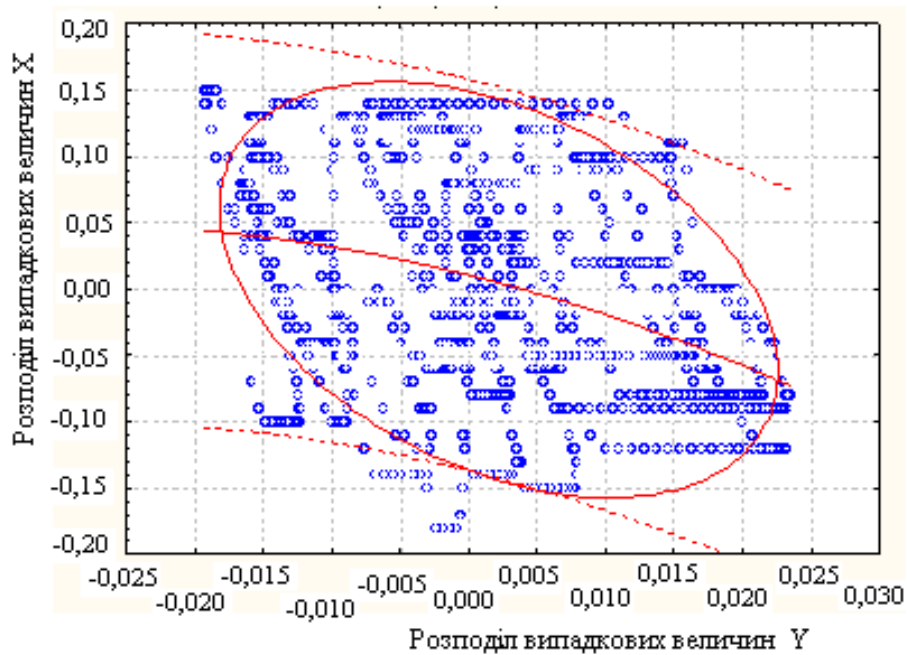


Рис. 3. Залежність розсіювання випадкових величин X і Y

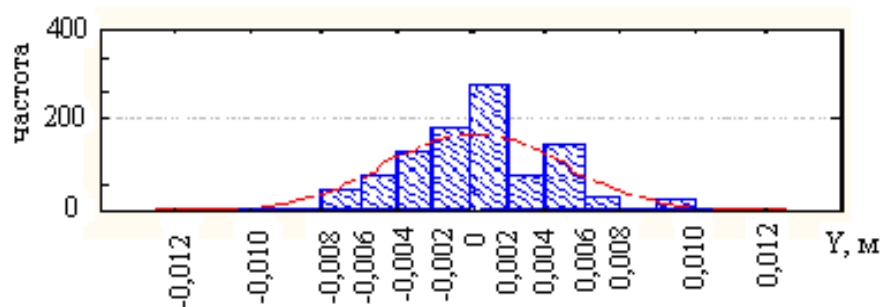


Рис. 4. Гістограма та вирівняна крива розподілу значень відхилення МТА від базової лінії Y

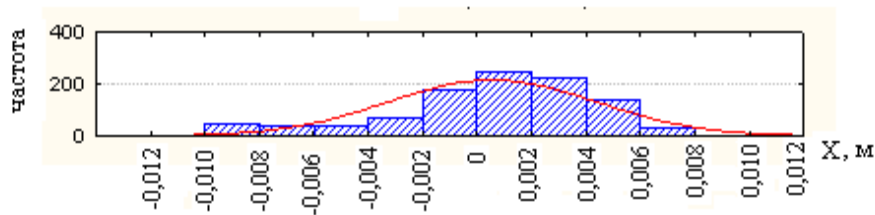


Рис. 5. Гістограма та вирівняна крива розподілу значень змінної кута повороту рульового колеса  $X$

Для випадкової величини  $Y$  відзначається гостровершинність щодо нормального закону розподілу, це може свідчити про те, що розподіл даних має виражену вершину (пікову частину) у порівнянні з нормальним розподілом.

Тоді результати можна записати в наступному вигляді:

$$Y=0,0014+0,1813 \cdot x-27,5303 \cdot x^2$$

Такий підхід до дослідження діаграм розсіювання для вибору відповідного перетворення даних є важливим. Це дозволяє виявити форму залежності між змінними та вибрати оптимальне перетворення для "лінеаризації" дискретних значень змінних.

Швидко пряме перетворення Фур'є (ШПФ) дозволяє отримати спектральну характеристику даних.

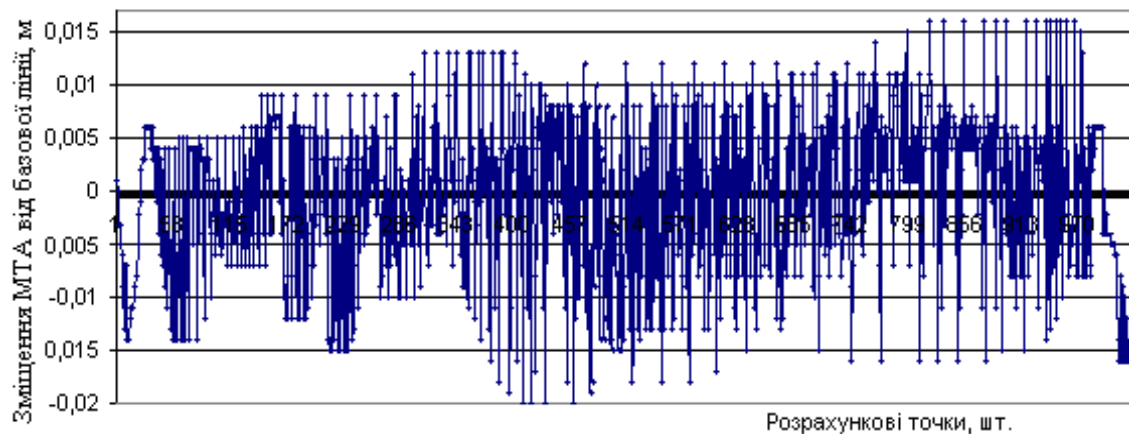


Рис. 6. Вихідні модельні дані для швидкого перетворення Фур'є

Лістинг демонструє розрахунок Фур'є спектра по  $N = 256$  точках, причому передбачається, що інтервал дискретизації даних  $y_i$  дорівнює  $\Delta$ .

У середині лістингу застосовується вбудована функція  $\text{fft}(V)$ , інша частина призначена для коректного перерахунку відповідних значень за результатами аналізу. Після виконання спектрального аналізу і отримання спектральних характеристик можна виконати перетворення або коригування вихідних даних для поліпшення їх точності або зменшення шуму  $\Omega_i$  частот.

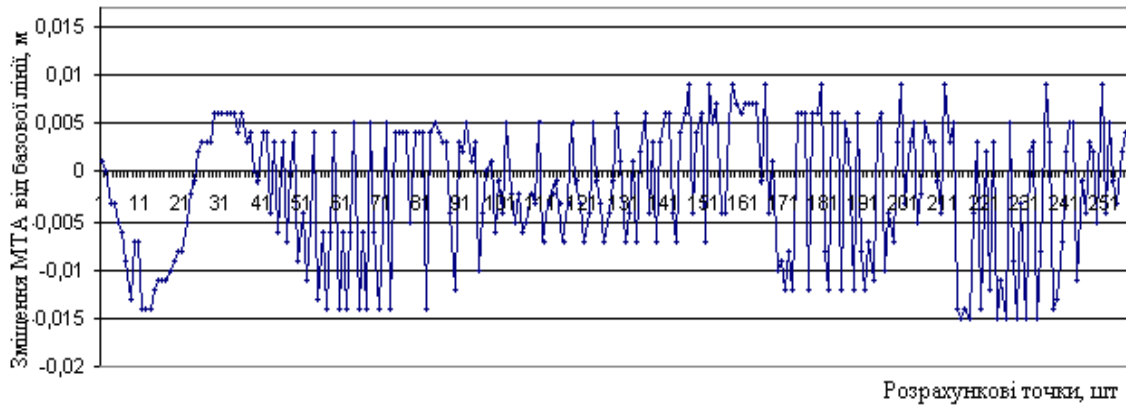


Рис. 7. Модельні дані для вибірки об'єму  $N = 256$

В передостанньому рядку лістингу два параметри, які називаються граничною частотою і частотою Найквіста. Гранична частота – це частота, на якій відсоток від максимальної амплітуди сигналу зменшується до певного значення (зазвичай 3 децибел), вказуючи на початок затухання сигналу у фільтрі. Гранична частота  $\Omega_0$  визначає нижню межу Найквіста,  $\Omega_N$  – верхню межу аргументу обчислення спектра.

Для розрахунку зворотнього Фур'є-перетворення (відновлення сигналу за його спектром) можна використовувати вбудовані функції для обробки сигналів або математичних обчислень. Ці функції дозволяють виконувати обернене перетворення Фур'є за допомогою зразка спектра:

$ifft(v)$  – вектор зворотнього дійсного перетворення Фур'є;

$v$  – вектор даних, Фурє-спектра, який береться через рівні проміжки значень частоти.

$\Omega D_i =$	$a_i =$	$z_i =$	$y_i =$
58.824	0.384	0	$3.376 \cdot 10^{-3}$
117.647	0.082	1	$6.976 \cdot 10^{-3}$
176.471	0.04	2	$6.445 \cdot 10^{-5}$
235.294	0.028	3	$3.491 \cdot 10^{-3}$
294.118	0.019	4	$6.323 \cdot 10^{-3}$
352.941	0.016	5	$6.819 \cdot 10^{-3}$
411.765	0.012	6	$2.775 \cdot 10^{-3}$
470.588	0.012	7	$3.16 \cdot 10^{-3}$
529.412	$9.679 \cdot 10^{-3}$	8	$3.472 \cdot 10^{-3}$
588.235	$8.672 \cdot 10^{-3}$	9	$1.169 \cdot 10^{-3}$
647.059	$4.127 \cdot 10^{-3}$	10	$2.26 \cdot 10^{-3}$
705.882	$9.52 \cdot 10^{-3}$	11	$7.852 \cdot 10^{-3}$
764.706	$8.24 \cdot 10^{-3}$	12	$1.883 \cdot 10^{-3}$
823.529	$5.365 \cdot 10^{-3}$	13	$1.215 \cdot 10^{-3}$
882.353	$7.627 \cdot 10^{-3}$	14	$6.027 \cdot 10^{-3}$
...	...	15	...

	0		0		
iff(a) =	0	1.618	iff(z) =	0	$3.672 \cdot 10^{-3}$
	1	1.513		1	0.339
	2	1.335		2	0.543
	3	1.219		3	0.648
	4	1.181		4	0.792
	5	1.087		5	1.036
	6	0.839		6	1.26
	7	0.516		7	1.328
	8	0.274		8	1.257
	9	0.159		9	1.195
	10	0.048		10	1.234
	11	-0.171		11	1.271
	12	-0.446		12	1.177
	13	-0.619		13	0.954
	14	-0.632		14	0.747
	15	...		15	...

Зворотнє Фур'є-перетворення може відновити сигнал з великою точністю, але при цьому може втрачатися інформація про фазу сигналу. Це через те, що Фур'є-перетворення перетворює сигнал з часового домену в частотний, а при зворотньому перетворенні ми отримуємо знову сигнал у часовому домені, але фазова інформація може бути втрачена.

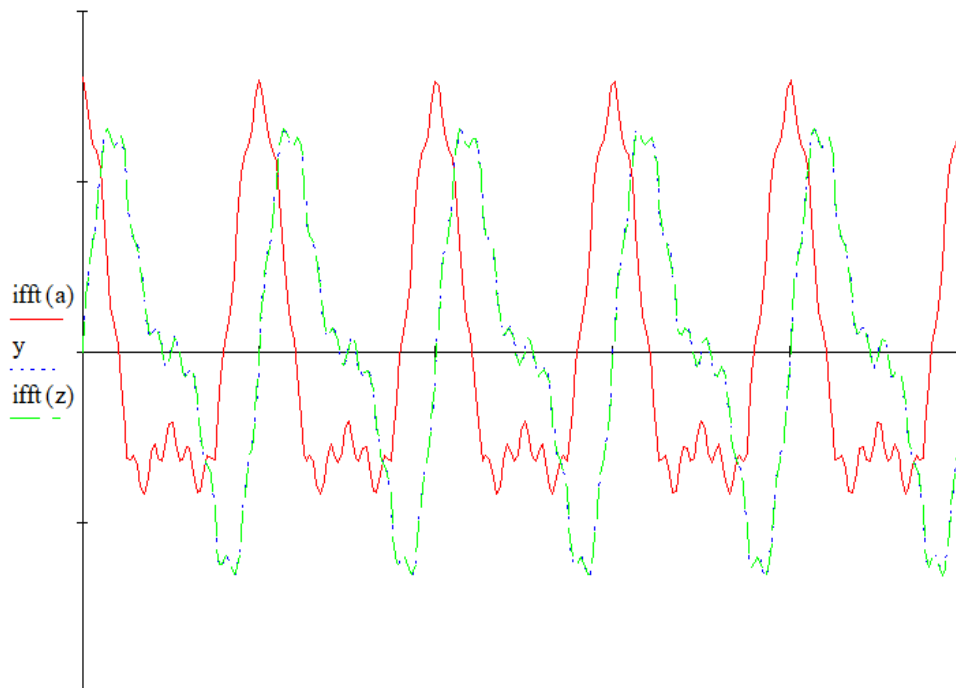


Рис. 8. Зворотнє перетворення Фур'є



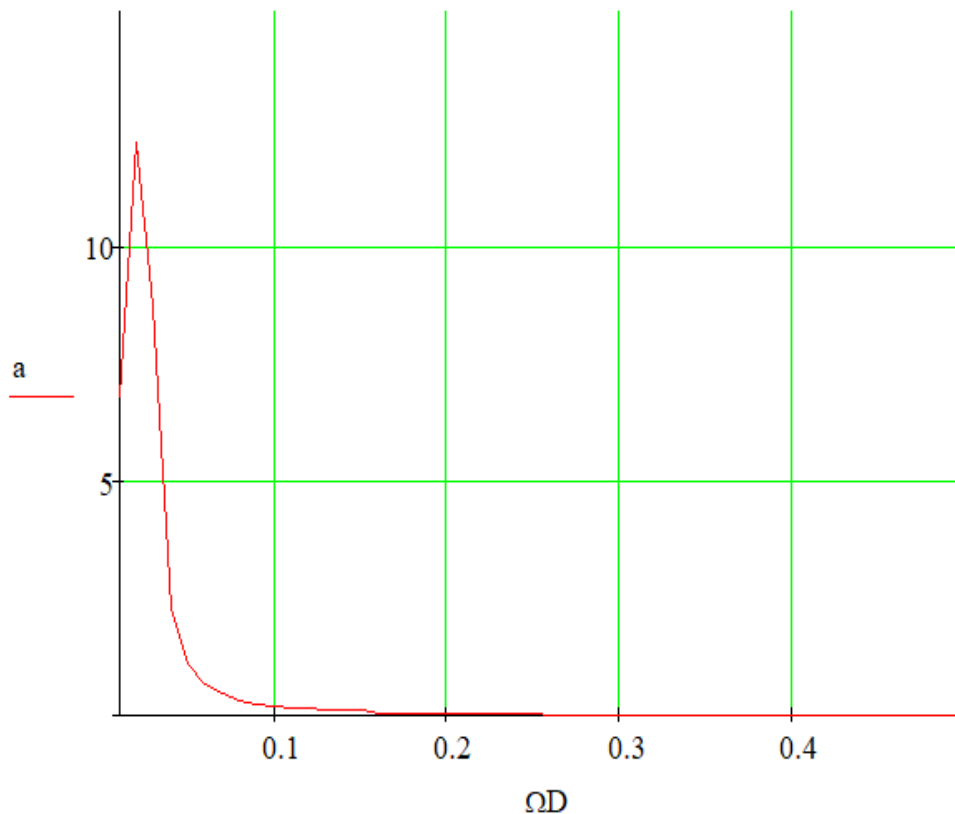


Рис. 9. Графік Фур'є-спектра даних

Алгоритм розрахунку спектра потужності за Фур'є-перетворенням кореляційної функції складається з наступних етапів:

- обчислення автокореляційної функції сигналу.
- проріджування і згладжування автокореляційної функції для зменшення впливу кінцівки вибірки.
- розрахунок Фур'є-перетворення згладженої автокореляційної функції.

Процедура згладжування може включати проріджування та фільтрацію автокореляційної функції для зменшення впливу шуму та кінцівки вибірки, що допомагає покращити якість отриманого спектра потужності. Зазвичай застосовуються методи згладжування за трьома та п'ятьма точками для отримання більш точних результатів.

Отриманий спектр потужності дає інформацію про розподіл потужності сигналу в залежності від частоти, що дозволяє провести детальний аналіз спектральних характеристик сигналу.

Крім цього виділені гармоніки з максимальною амплітудою по формулах:

$$T_1 = \sum_{i=0}^{N/2-1} A_i \cdot i, \quad (20)$$

$$T_2 = \sum_{i=0}^{N/2-1} A_i \quad (21)$$

$$\nu_{хар} = \frac{T_1 \cdot N}{T_2 \cdot \Delta t} \quad (22)$$

$$A_{хар} = \frac{2T_2}{N}, \quad (23)$$

де  $A_i$  – амплітуда гармоніки;

$i$  – номер гармоніки, що визначає число коливань за час  $N \cdot \Delta t$ ;

$N$  – число реалізацій аналізованого процесу;

$\Delta t$  – крок дискретизації за часом;

$\nu_{хар}$  – характерна частота в Герцах;

$A_{хар}$  – характерна амплітуда (середня) процесу.

Спектральний аналіз представлений на рисунку 10.

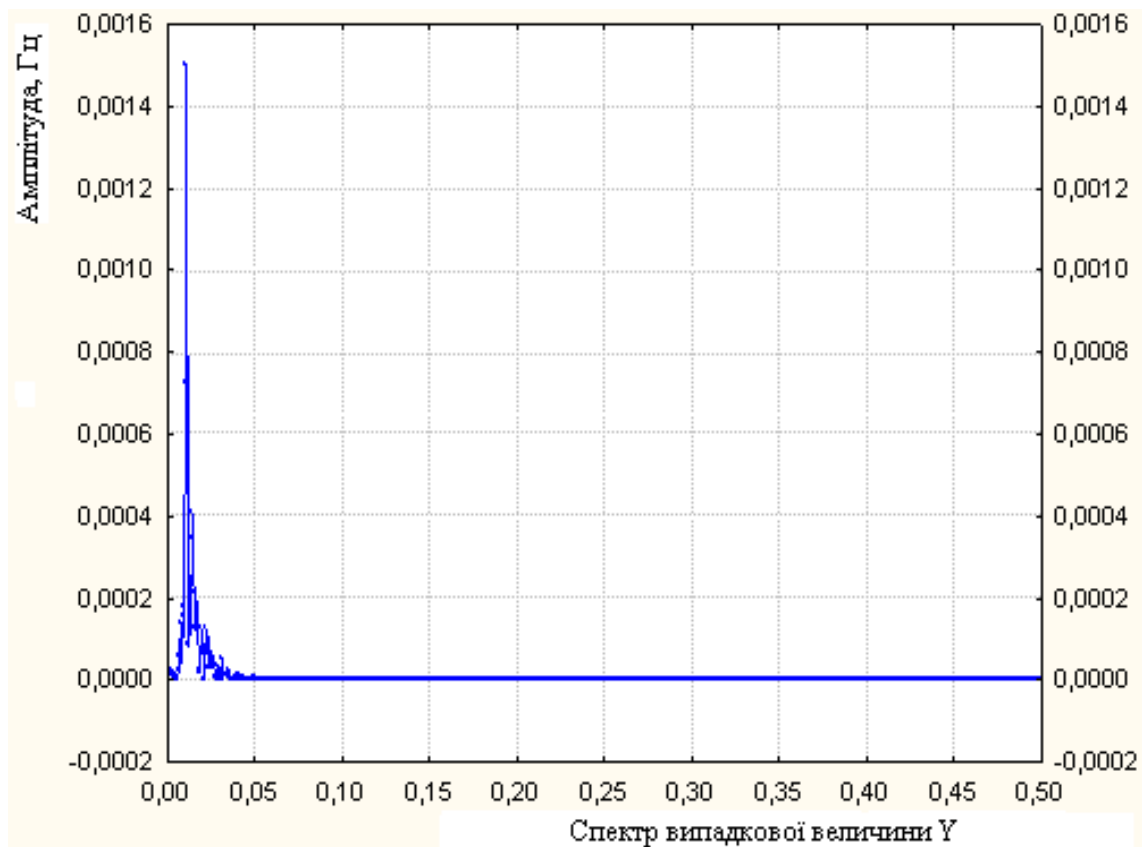


Рис. 10. Спектральний аналіз випадкової величини  $Y$

Значення автокореляційної функції представлені в таблиці 1

Таблиця 1

## Автокореляційні значення та похибки

№	Автокореляція	Стандартна похибка
1	0,98	0,03
2	0,96	0,03
3	0,93	0,03
4	0,90	0,03
5	0,85	0,03
6	0,80	0,03
7	0,75	0,03
8	0,69	0,03
9	0,63	0,03
10	0,57	0,03
11	0,50	0,03
12	0,43	0,03
13	0,36	0,03
14	0,29	0,03
15	0,23	0,03

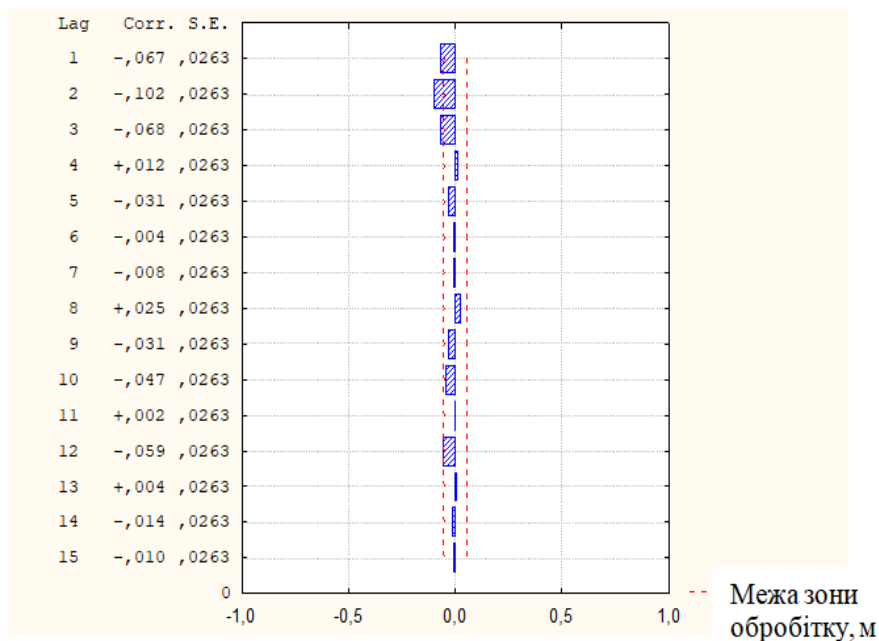


Рис. 11. Автокореляційна функції Y зсуву випадкових величин (зміщення трактора) від базової лінії

Автокореляційні функції X і Y дають можливість охарактеризувати зсув випадкових величин від базової лінії.

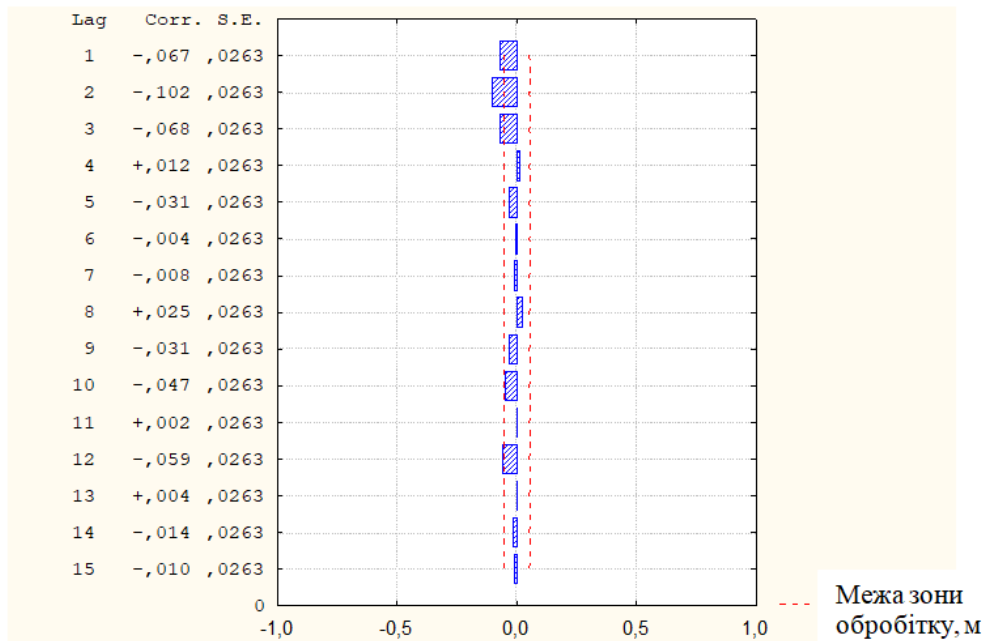


Рис. 12. Автокореляційна функції  $X$  зміщення рульового колеса відносно нейтрального положення

Процедура усунення постійного компонента «білий шум» процесу залежить від виду конкретної траєкторії. Сучасні обчислювальні пакети обробки даних (Statistika) дозволяють досить добре апроксимувати періодичну складову за допомогою поліномів різних ступенів або тригонометричних функцій (рис. 13).

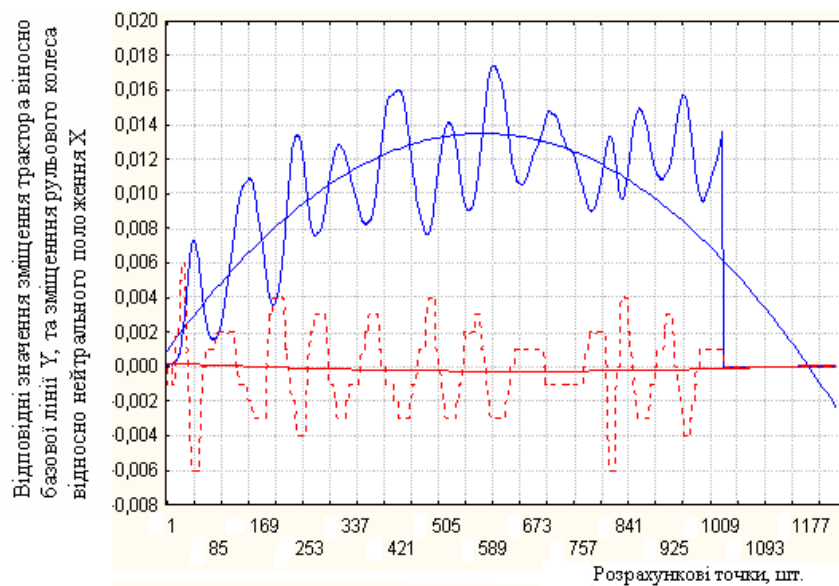


Рис. 13. Апроксимація періодичної складової за допомогою полінома другого порядку

У зв'язку з тим, що добротність залежить від швидкості й стандартного відхилення, при  $V = \text{const}$  основним фактором є відхилення від базової лінії. Основна задача – усунути максимальні амплітуди під час руху МТА.

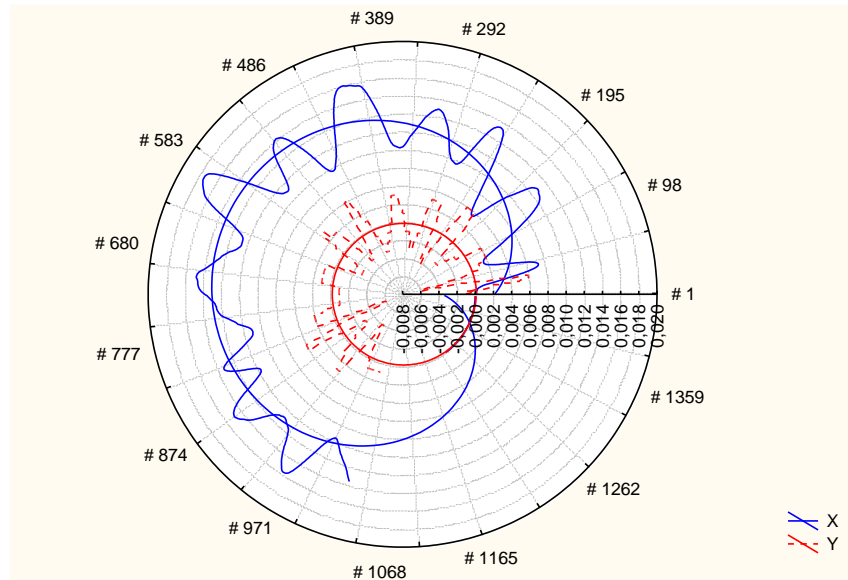


Рис. 14. Апроксимація періодичної складової за допомогою полінома другого порядку в полярній системі координат

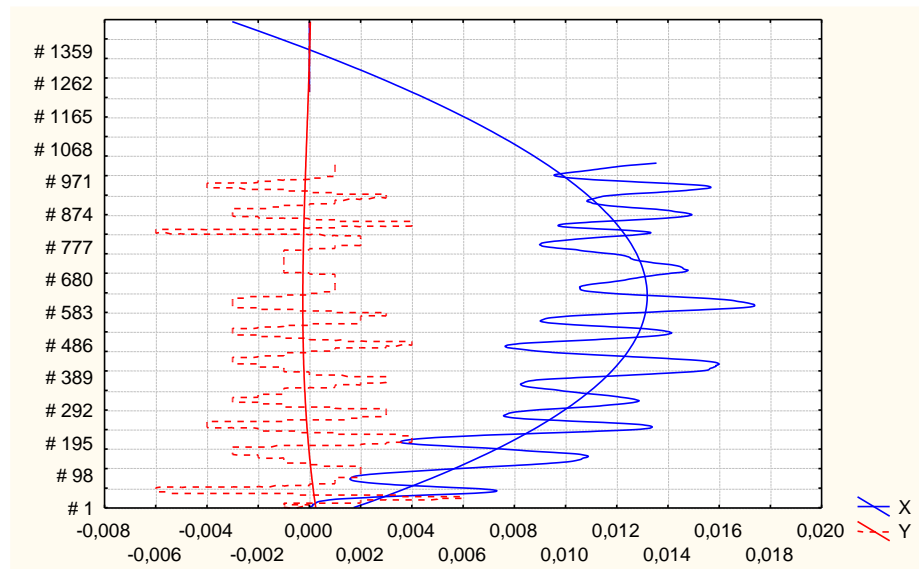


Рис. 15. Апроксимація періодичної складової за допомогою полінома третього порядку

При цьому рівняння змінних величин  $X$  та  $Y$  у даному випадку мають наступний вигляд:

$$X=0,0017+3,7752E-5x-3,2914E-8x^2+3,1272E-12x^3$$

$$Y=0,0003-1,9094E-6x+2,1664E-9x^2-6,5616E-13x^3$$

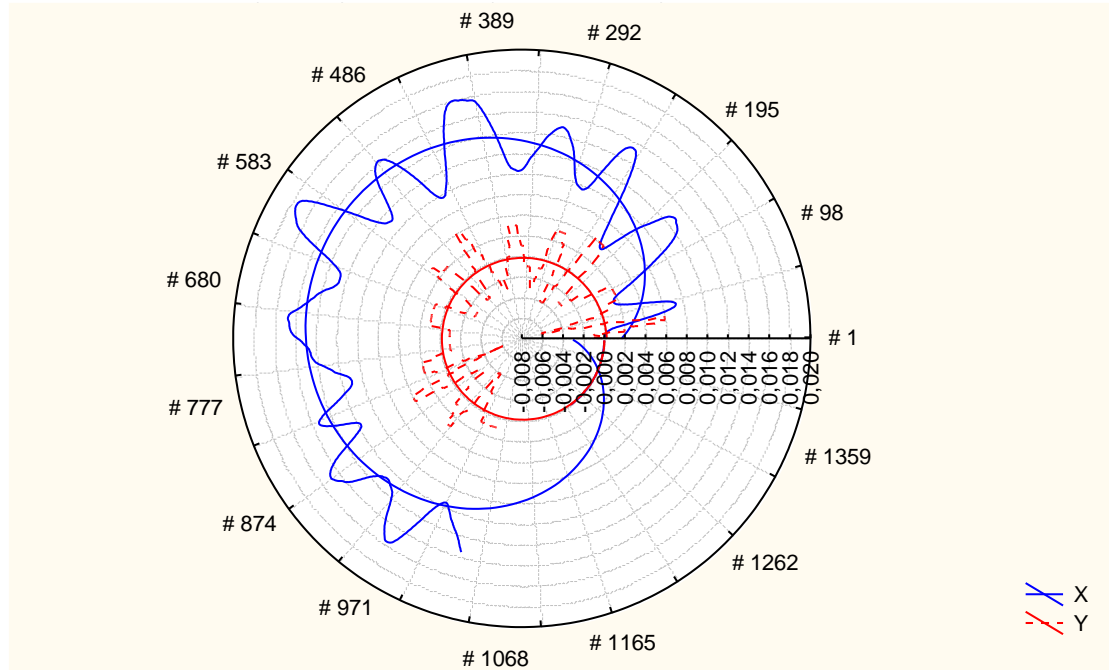


Рис.16. Апроксимація періодичної складової за допомогою полінома третього порядку в полярній системі координат

*Висновки.* 1. Розроблена методика для дослідження «людино-машинної» системи, яка є досить складною.

2. Розроблено комп'ютерний симулятор, який дозволяє оцінювати технічні показники керованості МТА, як існуючих так і гіпотетичних рульових керувань.

3. Для проведення польового експерименту доцільно провести польові випробування на комп'ютерному симуляторі, тому що натурні дослідження значно витратні.

4. Розроблений підхід дозволяє отримати достовірні оцінки керованості складної системи керування: приведену добротність та середньоквадратичну похибку відслідковування траєкторії руху МТА залежно від його швидкості.

5. Проведені дослідження моделей рульового керування з постійною чутливістю показали значні переваги порівняно з традиційними, особливо на підвищених швидкостях руху МТА.

6. Алгоритм досліджень дає змогу швидко отримати оцінки керованості моделі одразу після віртуального заїзду.

7. Можна рекомендувати підняти технологічну швидкість МТА при виконанні міжрядного обробітку ґрунту до значень, які дозволяє конструкція культиватора ( $V_p=4$  м/с (14,4 км/год)), тому що запас стійкості руху МТА при використанні запропонованої системи керування гарантований.



*Список використаних джерел*

1. Петров В. О. Постійна чутливість рульового керування мобільних машин у транспортному режимі. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2006. Вип. 43. С. 98 – 102.
2. Петров В. О. Постійна чутливість рульового керування мобільних машин у транспортному режимі. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2006. Вип. 43. С. 98.
3. Петров В. О. Синтез ергономічних рульових управлінь для мобільних машин. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2000. Вип. 1, т. 17. С. 60-64.
4. Лубяний М. М. Аналіз функціонування системи ”водій-рульове керування” МТА. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2000. Вип. 1, т. 17. С. 21-27.
5. Петров В. О. Рульове управління колісного шасі яке реалізує керування напрямком руху по положенню. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2001. Вип. 1, т. 24. С. 83-86.
6. Журавель Д. П., Бондар А. М. Обґрунтування показників експлуатаційної надійності енергетичних засобів. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 467-473.
7. Galina Gritsaenko, Igor Gritsaenko. Mechanism for the Maintenance of Investment in Agriculture. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. 2019. Ch. 1. P. 29-40.
8. Kyrylo Samoichuk, Olga Viunyk, Dmytro Milko. Research on milk homogenization in the stream homogenizer with separate cream feeding. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 142-148.
9. Dmytro Milko, Kyrylo Samoichuk, Yulia Postol. Revealing new patterns in resourcesaving processing of chromium-containing ore raw materials by solidphase reduction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 1/12(103). P. 24-29.
10. Dmytro Milko, Oleksandr Sclyar, Radmila Sclyar, Ganna Pedchenko. Results of the nutritional preservation research of the alfalfa laying on storage with two-phase compaction. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2020. Vol. 60(1). P. 269-274.
11. Kyrylo Samoichuk, Nadiya Palyanichka, Vadim Oleksiienko, Serhii Petrychenko. Improving the quality of milk dispersion in a counter-jet homogenizer. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 633-640.
12. Дашивець Г. І. Обґрунтування швидкісних параметрів роботи машино-тракторного агрегату. *Науковий вісник Таврійського*



державного агротехнологічного університету. 2021. Вип. 11, т. 2. 12 с. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-2-16>.

13. Dmytro Zhuravel. Research of lubricant properties of used tractor motor oils. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 11, т. 2. 18 с. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-2-5>.

14. Kuznetsov M., Lysenko O., Chebanov A. Ensuring power balance in a hybrid power system with a backup generator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 6(8 (114)). P. 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245557>.

15. Дашивець Г. І. Методика обробки емпіричних даних якісних показників роботи колісної машини. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2022. Вип. 12, т. 2. 13 с. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2022-2-2>.

16. Лебедев А. Т. Тракторная энергетика Украины в период реформирования АПК. *Сб. науч. трудов ХГТУСХ*. 2002. Вып. 6. С. 40-48.

17. Samoichuk K., Petrychenko S., Bondar A., Hutsol T., Kubo' n M., Niemiec M., Mykhailova L., Gródek-Szostak Z., Sorokin D. Modeling of Diesel Engine Fuel Systems Reliability When Operating on Biofuels. *Energies*. 2022. Vol. 15. P. 1795. <https://doi.org/10.3390/en15051795>.

18. Kapłan M., Klimek K., Maj G., Bondar A., Lemeshchenko-Lagoda V., Boltianskyi B., Boltianska L., Syrotyuk H., Syrotyuk S. [et al.]. Method of Evaluation of MaterialsWear of Cylinder-Piston Group ofDiesel Engines in the Biodiesel Fuel Environment. *Energies*. 2022. Vol. 15. P. 3416. <https://doi.org/10.3390/en15093416>.

19. Журавель Д. П. Вплив технічного обслуговування і ремонту на надійність машин та обладнання при використанні біологічних рідин. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. 2020. Вип. 10, т. 1. 9 с. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2020-1-3>.

20. Журавель Д. П. Раціональне використання біологічних олив для мобільних енергетичних засобів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. 2020. Вип. 10, т. 1. 17 с. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2020-1-9>.

21. Мілько Д. О. Методика складання раціону великої рогатої худоби на основі поживної цінності кормових компонентів. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2019. Вип. № 10(109). С. 91-96.

22. Дашивець Г. І. Дослідження адаптивної роботи рульового керування транспортного засобу в швидкісному режимі. *Сучасні наукові дослідження на шляху до Євроінтеграції: матеріали міжнар.*



наук.-практ. форуму (21-22 червня 2019 р.): у 2-х ч. / ТДАТУ. Мелітополь, 2019. Ч. 1. С. 203-204.

23 Бондар А. М. Фактори поліпшення керованості МТА. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2009. № 2-09. С. 150-160.

24. Бондар А. М. Надійність людини-оператора в складній технічній системі. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2009. Вип. 9, т. 5. С. 13-18.

25. Бондар А. М. Вдосконалення рульових механізмів із перемінним передаточним відношенням. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2010. Вип. 10, т. 2. С. 13-18.

26. Бондар А. М. Використання бальної оцінки для визначення економічної ефективності результатів наукової роботи. *Праці ТДАТУ*. 2012. Вип. 12, т. 1. С. 172-176.

27. Сухенко Ю. Г. [та ін.]. Надійність обладнання харчової галузі: навчальний посібник. Київ: ЦП «КомпрІнт», 2019. 372 с.

28. Дідур В. А. [та ін.]. Гідравліка: підручник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. 624 с.

29. Дідур В. А. [та ін.]. Технічна механіка рідини і газу: підручник для здобувачів ступеня вищої освіти закладів вищої освіти. Мелітополь: ТОВ «Колор Принт», 2019. 468 с.

30. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: підручник для здобувачів вищої освіти / Д. П. Журавель, І. П. Паламарчук, С. М. Уманський, В. І. Паламарчук; за ред. Д. П. Журавля. Київ: ЦП «КомпрІнт», 2021. 448 с., іл.

31. Паніна В. В. та ін. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання: навчально-методичний посібник до лабораторного практикуму для самостійної роботи. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2019. 84 с.

*Стаття надійшла до редакції 02.04.2024 р.*



D. Zhuravel<sup>1</sup>, A. Bondar<sup>1</sup>

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

## SIMULATION OF CONTROLLING WHEEL TRACTORS USING ADAPTIVE STEERING

### *Summary*

The article deals with the issue of controllability of wheeled tractors through the use of adaptive steering. It has been established that the most significant factors affecting the controllability of the machine-tractor unit are the speed of movement, the gear ratio of the steering mechanism, external disturbing factors, the sensitivity of the steering, the type of steering, as well as the human factor. A design scheme was developed and an experimental sample of adaptive steering control was developed, which provides a change in the gear ratio within 2...19, depending on the speed of movement of the machine-tractor unit when performing technological operations during the processing of any row crops grown in Ukraine. The developed mathematical model of adaptive steering control makes it possible to obtain process indicators that ensure compliance with all agrotechnical requirements for cutting cultivated plants and flip quality. For example, with the appearance of disturbing factors that occur during inter-row processing of corn, the main indicator of the process is a deviation from straightness of 10 cm when the machine-tractor unit reaches the maximum technological speed  $V_{max}=4$  m/s. Adaptive steering can be an effective method for improving the handling of wheeled tractors. This approach involves the use of various technologies and systems to adapt the operation of the steering mechanism depending on different operating conditions and the needs of the driver. The main possible directions for improving the controllability of tractors are as follows: electronic steering involves the use of electronics to control the steering mechanism, which allows implementing different modes of operation, in particular, adaptive control. Electronic systems can analyze various parameters, such as speed, type of surface, angle of inclination, and on this basis automatically adjust the response of the steering mechanism; built-in sensors such as gyroscopes, accelerometers, GPS and others can provide information about movement and environmental conditions. This information can be used for automatic adaptive control; using machine learning algorithms to analyze data and make management decisions. Machine learning models can learn from sensor data and driver experience to automatically adjust driving mode; Using power drives for independent control of each wheel. This can allow different wheels to move at different speeds or even in opposite directions to improve handling in different situations; using optimal control algorithms that automatically adjust to changing road conditions and tasks to maximize tractor control efficiency. When implementing such technologies, it is important to consider the training of drivers and the interaction of these systems with people to ensure safety and efficiency in real operating conditions.

**Keywords:** wheeled tractor, steering, process simulation, transmission ratio, automatic mode, speed of movement.

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

УДК 665.3:621.928.3

В. В. Дідур<sup>1</sup>, д.т.н. проф.

ORCID: 0000-0001-7584-5073

Є. А. Петриченко<sup>1</sup>, к.т.н.

ORCID 0000-0003-1037-077X

Г. І. Дашивець<sup>2</sup>, к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-2612-6077

<sup>1</sup> Уманський національний університет садівництва<sup>2</sup> Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: galyna.dashyvets@tsatu.edu.ua, тел: 0987240967

### МОДЕРНІЗАЦІЯ СЕПАРАТОРА СЦ-3

*Анотація.* Виробництво рослинних олій у сільськогосподарських підприємствах стримується відсутністю недорогого малогабаритного обладнання, що забезпечує випуск продукції, яка відповідає міжнародним стандартам якості. Розробка економічного недорогого вітчизняного обладнання та організація його виготовлення є актуальними.

Результати аналізу інформаційних джерел доводять можливість якісного очищення рослинних олій в умовах сільськогосподарських підприємств на вертикальних конічних центрифугах при використанні природного фільтруючого матеріалу – мінералу цеоліту. В даній роботі розглядається можливість модернізації сепаратора СЦ-3

Представлено розроблену схему барабана експериментальної центрифуги. Представлено принципову схему модернізації центрифуги СЦ-3, загальний вид переобладнаної центрифуги. Описано принцип роботи модернізованої центрифуги.

Встановлено, що модернізація сепаратора СЦ-3 у конічну фільтруючу центрифугу з цеолітовою фільтрувальною перегородкою можлива без істотних конструктивних змін, що дозволить виробникам сепараторів СЦ-3 підвищити ринок збуту та конкурентоспроможність своєї продукції.

*Ключові слова:* рослинні олії, актуальність, центрифугування, фільтрувальна перегородка, цеоліт, властивості, Сокирніт, теорія, переобладнання, сепаратор, пристрій.

*Постановка проблеми.* Виробництво рослинних олій у сільськогосподарських підприємствах стримується відсутністю недорогого малогабаритного обладнання, що забезпечує випуск продукції, яка відповідає міжнародним стандартам якості. У зв'язку з цим необхідні розробка економічного недорогого вітчизняного обладнання та організація його виготовлення.

*Аналіз останніх досліджень.* Результати аналізу інформаційних джерел доводять можливість якісного очищення рослинних олій в умовах сільськогосподарських підприємств на вертикальних конічних





центрифугах при використанні природного фільтруючого матеріалу – мінералу цеоліту [1-4].

Цеоліт може використовуватись у якості кормової добавки при годівлі тварин [5-7], що дозволить при використанні фільтруючих конічних центрифуг підвищити ефективність сільськогосподарських підприємств шляхом використання відпрацьованого та збагаченого фосфатидами цеоліту в якості кормової добавки.

*Формулювання цілей статті.* Модернізація конструкції вертикальної конічної центрифуги для якісної очистки рослинних олій.

*Основна частина.* Постановка на виробництво конічних фільтруючих центрифуг дає можливість вирішити такі проблеми: підвищення ефективності сільськогосподарських підприємств за рахунок глибокої переробки своєї продукції на місцях, нові робочі місця та зайнятість населення. В даній роботі розглядається можливість модернізації сепаратора СЦ-3 (який випускається серійно і призначений для очищення масла суднових двигунів) для використання його при очищенні рослинних олій.

Встановлено, що олії з насіння сучасних типів соняшнику відрізняються високою масовою часткою негідратованих фосфоліпідів, восків та золи [8, 9]. Сьогодні фосфати стали невід'ємним рецептурним компонентом продуктів на основі водно-жирових емульсій кондитерських виробів, швидкорозчинних напоїв, сумішей для дитячого харчування, морозива, сирів, м'ясних фаршів тощо.

Так, широке застосування фосфатидів у хлібопеченні обумовлено тим, що, адсорбуючись на частинках борошна, фосфати, як емульгатори, сприяють більшому його зв'язку з водою, а також взаємодіючи з білком підвищують еластичність тіста. Загалом додавання фосфатидного концентрату до тіста викликає зміну ступеня його дисперсності та структурно-механічних властивостей дисперсних структур елементів тіста, що зумовлює зміну пружно-пластично-в'язкісних властивостей тіста і в результаті цього – обсягу та структури хліба. При цьому збільшується обсяг хлібобулочних виробів, регулюється їхня міцність, покращується колір. Харчовий фосфатидний концентрат використовується також у виробництві вафель, фруктових кремів, шоколаду.

В якості емульгатора та фізіологічно активної добавки його широко використовують у виробництві маргарину та майонезу.

Кормовий фосфатидний концентрат входить до складу кормів для вигодовування молодняку великої рогатої худоби, свиней, овець та курей, де він відіграє роль фізіологічно активної добавки та емульгатора.





Технічні фосфатиди знайшли застосування в текстильній та шкіряній промисловості, де використовуються для просочення тканин, вовни та обробки шкіри з метою підвищення її еластичності. Їх також вводять до складу лаків і фарб з метою збільшення глибини їх відтінків, проте сфера застосування технічних фосфатидів все ж таки є обмеженою.

При водній гідратації, що застосовується в процесах очищення рослинних олій, виділяються тільки фосфатиди, що гідратуються, а негідратовані, складові 0,1-0,25% фосфатидів (у перерахунку на стеароолеолецитин), залишаються в маслі. Прагнення створити найбільш сприятливі умови для наступних етапів рафінації призвело до розробки численних способів і прийомів додаткової обробки масел, що гідратуються, з метою максимального видалення негідратованих фосфатидів [8, 9]. Так, поряд з використанням різних фізико-хімічних способів (парою, розчинами електролітів, мінеральними та органічними кислотами, електромагнітною активацією [10-16]) розвиваються також ферментні способи видалення фосфатидів, які спрощують технологічний процес, роблячи його безпечним, також дозволяють знизити втрату фосфатидів та отримувати якісну олію та фосфатиди із заданими властивостями. Однак усі ці способи трудомісткі та енергоємні і не можуть застосовуватися в сільськогосподарських підприємствах через їхню складність та дорожнечу [17-23].

Для вирішення проблеми очищення олій безпосередньо в сільськогосподарських підприємствах розроблено схему барабана експериментальної центрифуги та проведено дослідження фільтруючих конічних центрифуг на основі розробленої методологічної бази та теорії центрифугування. Основне завдання розробленої центрифуги – очищення олій від негідратованих фосфатидів [24].

Барабан (рис. 1) складається з основи 2, зовнішньої 5 і внутрішньої 11 конічних обичайок, кришки ротора 8, перфорованої втулки 15, циліндра заливного 13, кільця в зборі 12. Внутрішня 11 і зовнішня обичайки 5 кріпляться до основи 2 болтами 17 з використанням дисків 3 і 14, при цьому використовується перфорована втулка 15 для забезпечення зазору між обичайками. Кришка 8 кріпиться до обичайок болтами 6 і 8 з ущільненням гумовою маслостійкою прокладкою 9. Очищена олія виводиться через втулку 7 кільця 12 у зборі.

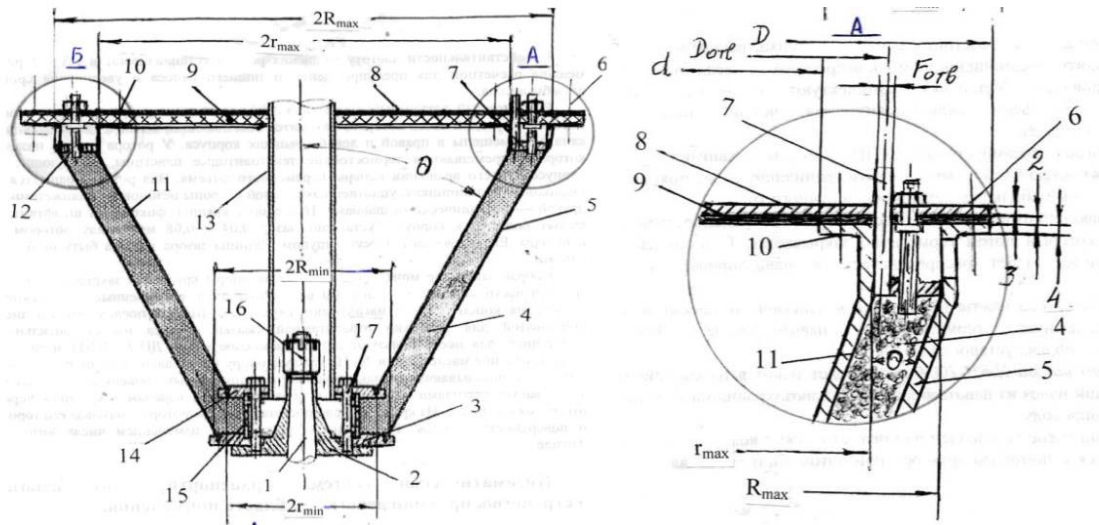


Рис. 1. Конструктивна схема вертикальної фільтруючої конічної центрифуги:

1 – вал приводу; 2 – основа ротора; 3 – диск для кріплення зовнішньої обичайки ротора; 4 – фільтруючий матеріал (цеоліт); 5 – зовнішня конічна обичайка ротора; 6 – болти кріплення зовнішньої обичайки ротора; 7 – трубка для виведення олії; 8 – кришка ротора; 9 – прокладка; 10 – болти кріплення внутрішньої обичайки ротора; 11 – внутрішня конічна обичайка ротора; 12 – кільце у зборі центрифуги; 13 – заливний циліндр; 14 – диск для кріплення внутрішньої обичайки ротора; 15 – перфорована втулка; 16 – гайка кріплення ротора; 17 – болти складальні; вузол А – кріплення кільця 12 у зборі з отворами для виведення олії

Олія для очищення подається через внутрішню порожнину заливного циліндра 13, через перфоровану втулку 15 потрапляє в простір між обичайками, заповнений фільтруючим матеріалом - цеолітом, де відбувається процес відцентрового очищення масла при проходженні через фільтруючий матеріал. Очищене масло виводиться з робочої зони через отвір 7.

У вертикальній конічній фільтруючій центрифугі процес поділу «сирої» рослинної олії відбувається в відцентровому полі при проходженні олії через фільтрувальну перегородку з природного цеоліту, розташовану між зовнішньою 5 і внутрішньою обичайками 11 (рис.1). Від гідравлічного опору фільтруючого матеріалу (цеоліту) залежить швидкість переміщення частинок до зовнішньої обичайки, тобто продуктивність. Матеріалом перегородки, що фільтрує, досліджених центрифуг є природний цеоліт (табл.). Це мінерал, який за дослідженнями багатьох авторів за відповідної обробки є цінною кормовою добавкою [1-4].



Таблиця 1

Фізико-механічні та хімічні властивості цеоліту «Сокирніт» [7]

Назва властивостей		Продовження	
Фізичні та механічні властивості		Адсорбційна ємність по воді	34-38%
Вид	Значення	Площа макропор	18-21 м <sup>2</sup> /г
Зовнішній вигляд	гранули світло-сірого кольору	Площа мікропор	1-2 м <sup>2</sup> /г
Запах	ні	Температура дегідратації	270-300 <sup>0</sup> С
Коефіцієнт пористості	0,38-0,46	Температура розм'якшення	1260 <sup>0</sup> С
Густина	2,2-2,3 г/см <sup>2</sup>	Температура плавлення	1340 <sup>0</sup> С
Механічна міцність		Хімічна та реактивна стійкість	
а) стирання	не більш 0,32-0,5%	приріст окислюваності	не більш 0,07-0,42мг/дм <sup>2</sup>
б) подрібнюваність	не більш 0,62-1,86%	приріст сухого залишку	не більш 0,9-11,0мг/дм <sup>2</sup>
Твердість по Моосу	3,4 – 4,0	приріст кремнекислоти	не більш 0,6-3,4мг/дм <sup>2</sup>
Об'ємна маса	1040-1080 кг/м <sup>3</sup>	Термічна стійкість	вище 450 <sup>0</sup> С
Ефективний діаметр пор	0,4nm	Розчинність у воді	ні
Значення рН	6,8 -7,2	Небезпечне розкладення	ні
		Небезпечні полімеризації	ні

Як видно з даних таблиці, цеоліт марки «Сокирніт» має площу макропор 18-21 м<sup>2</sup>/г, площа мікропор 1-2 м<sup>2</sup>/г, тобто його властивості відповідають вимогам фільтруючих центрифуг. Цеоліт, після відпрацювання протягом певного часу у фільтруючій центрифугі, втрачає фільтруючі здібності через заповнення мікро- і макро каналів фосфатидами і представляє готову високоефективну кормову добавку, збагачену маслом, фосфатидами та іншими елементами, характерними для рослинних олій.

Таким чином, використання конічних фільтруючих центрифуг у сільськогосподарських підприємствах дозволяє підвищити



рентабельність виробництва за рахунок переробки продукції та відходів виробництва у господарстві.

Відповідно до теорії процес очищення олії у вертикальній конічній фільтруючій центрифугі можна розділити на три періоди: утворення шару осаду в порах цеоліту; ущільнення осаду та зменшення обсягу пор цеоліту; витіснення рідини, що утримується капілярними та молекулярними силами [24].

Перший період можна порівняти зі звичайною фільтрацією в полі тяжіння, причому тиск фільтрації обумовлюється тут натиском, що розвивається завдяки дії суспензії поля відцентрових сил.

Другий період є специфічним, який не має аналогій серед інших процесів. Під час другого періоду центрифугована маса являє собою двофазну систему, причому спочатку тверді частини розташовані некомпактно, при мінімумі точок торкання один з одним. Зважаючи на те, що осад знаходиться під дією силового поля, його скелет прагне більш щільного розташування частинок. Однак зближення частинок пов'язане зі зменшенням об'єму пор в цеоліті, отже, з вичавлюванням рідкої фази з цих пор. В цьому випадку виникає рух рідкої фази до центру обертання. Швидкість процесу описується рівнянням Стокса. Тиск, який при цьому виникає, зумовлює фільтрацію рідини. Окрім тиску, викликаного дією скелету на рідку фазу, в останній розвивається тиск на неї відцентрового поля. Процес спливу рідкої фази протягом другого періоду обумовлений дією двох вищевказаних тисків; від них, а також від гідравлічного опору фільтруючого матеріалу, залежить швидкість переміщення частинок до центру (зовнішньої обичайки).

Після закінчення періоду ущільнення осаду в порах цеоліту починається перехідний період, під час якого відбувається рух рівня насичення осаду до зовнішньої обичайки ротора. Коли цей рівень досягне стану максимального заповнення пор цеоліту домішками, починає виявлятися у чистому вигляді третій період процесу. До цього моменту розташування частинок скелета стає найбільш компактним. До початку третього періоду в місцях зіткнення частинок між собою і з поверхнею пор цеоліту залишається рослинна олія, що утримується капілярними та молекулярними силами. Частина її поступово перетікає від одного стику до іншого – до центру центрифуги. Домішки, що у маслі, як тяжка фракція, витісняються до периферії.

З метою підвищення якості очищення виведення олії з простору між зовнішньою та внутрішньою обичайками ротора центрифуги здійснюється через отвори, розташовані ближче до центру центрифуги. Як видно з малюнка, центрифуги за такою схемою мають істотний недолік, тому що внутрішній об'єм конуса не



використовується повністю. Модернізована центрифуга на базі сепаратора СЦ-3 позбавлена цього недоліку.

В результаті теоретичних досліджень для центрифуги за схемою рис. 1 отримано наступне рівняння продуктивності [1]

$$W = 3,16 q F_2 \cdot F_r k_c C_m = 3,16 q \Sigma k_c C_m, \quad (1)$$

де  $F_2$  – площа поверхні осадження ротора центрифуги,  $m^2$ .

$$F_2 = r_{\min} \left\{ \left[ (r_{\min} + H \operatorname{tg} \theta_o) r_{\min} \right]^5 + \left[ (r_{\min} + H \operatorname{tg} \theta_o + \ell_2) (r_{\min} + \ell_2) \right]^5 \right\}^{21} / \left[ (r_{\min} r_{\max})^5 \operatorname{tg} \theta_o \right], \quad (2)$$

$F_r$  – фактор поділу

$$F_r = \omega^2 r_{cp} / q = (\omega^2 / q) (r_{\min} r_{\max})^s \quad (3)$$

Коефіцієнт проникності:

$$k_c = 0,0068 d^2 \varepsilon \zeta^3 / (1 + \zeta) \quad (4)$$

Показник, що характеризує вплив властивостей оброблюваного мастила,  $C_m, \text{кг} \cdot \text{с} / \text{м}^5$ :

$$C_m = (\rho_s - \rho_f) / \nu = \Delta \rho / \nu \quad (5)$$

Індекс продуктивності центрифуги:

$$\Sigma = 0,196 \omega F_{ome} \left[ (R_{\max} R_{\min})^s + (r_{\max} r_{\min})^s \right] \cdot \left[ \rho_f \nu / \rho_s - \rho_f \right] / [q k_c] \quad (6)$$

Вирішуючи щодо різниці густин дисперсної та дисперсійної фаз  $\Delta \rho$ , отримаємо

$$\Delta \rho = (\rho_s - \rho_f) = \frac{0,196 \omega F_{ome} \cdot \nu \rho_f \left[ (R_{\max} R_{\min})^s + (r_{\max} r_{\min})^s \right]}{q k_c \Sigma}. \quad (7)$$

У наведених формулах використані такі позначення:

$\omega$  – частота обертання ротора центрифуги,  $s^{-1}$ ;

$(\rho_s - \rho_f)$  – різниця густин дисперсної та дисперсійної фаз рослинної олії,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\rho_f$  – густина дисперсійного середовища (очищеного масла),  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\mu$  – динамічна в'язкість суспензії,  $\text{кг}/\text{м} \cdot \text{с}$ ;

$r_{\min}$  – мінімальний радіус внутрішньої обичайки ротора центрифуги, м;

$d$  – середньозважений розмір гранулометричного складу цеоліту, м;

$\varepsilon$  – пористість фільтруючого матеріалу;

$\zeta$  – коефіцієнт порізності;

$H$  – висота ротора центрифуги, м;

$\theta_o$  – кут між осьюовою лінією та твірною ротора центрифуги, град.;  $i$

$\ell_2$  – радіальна відстань між обичайками ротора центрифуги, м;



$\rho_s$  – густина суспензії, кг/м<sup>3</sup> ;

$\nu$  – кінематична в'язкість масла, що фільтрується, м<sup>2</sup>/с.

На рисунку 2 наведена принципова схема, а на малюнку 3 загальний вигляд модернізованого сепаратора СЦ-3 для очищення рослинних олій з фільтруючою перегородкою з природного цеоліту.

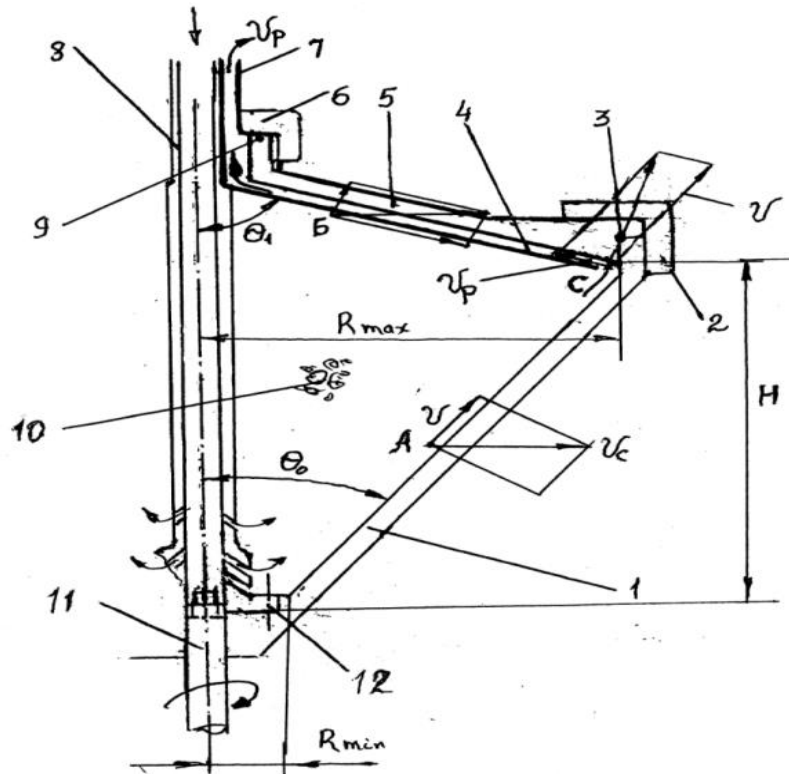


Рис. 2. Принципова схема модернізації центрифуги СЦ-3:  
1 – корпус барабана; 2, 6 – гайка; 3, 9 – кільце ущільнювача;  
4 – тарілка; 5 – кришка; 7 – напрямна; 8 – тарілотримач; 9 – вал приводу; 10 – цеоліт; 11 – вал приводу; 12 – штифт;  $R_{max}$ ,  $R_{min}$  – максимальний та мінімальний радіуси внутрішньої порожнини центрифуги;  $\theta_0$  – кут конуса внутрішньої порожнини центрифуги;  $\theta_f$  – кут конуса тарілки центрифуги;  $\nu_c$  – радіальна швидкість спливання масла;  $\nu_p$  – швидкість подачі очищеної олії;  $\nu$  – проекція швидкості спливу на внутрішню конічну поверхню барабана

При використанні переобладнаної центрифуги з урахуванням сепаратора СЦ-3 процес очищення олії відбувається у полі відцентрових сил і підпорядковується закону Стокса (рис. 2). Частинки домішок, що досягли корпусу центрифуги (дисперсна фаза), переміщуються до центру (випливають), витісняючи дисперсійне середовище до периферії центрифуги. На максимальному радіусі центрифуги, біля основи конуса, дисперсійне середовище матиме мінімальну густину  $f$ , тобто масло буде максимально очищене для





даної конструкції центрифуги. Під дією тиску відцентрового поля і насоса подачі вихідної маси через зазор між тарілками 4 і 7 масло подається в систему вивантаження, причому кількість олії, що виводиться, регулюється перекриттям насоса на вивантажувальній магістралі центрифуги, чим досягається регулювання якості очищення.

Після відповідного перетворення рівняння продуктивності (1) отримано наступне рівняння продуктивності переобладнаної центрифуги на базі СЦ-3:

$$W = \frac{0,0136\zeta^2 d^2 (\rho_s - \rho_f) R_{\max} R_{\min} \omega^2}{\gamma \rho_f (R_{\max} - R_{\min})(1 + \zeta)} F \rho_f \sin \theta_0 \cdot \sin(90 - \theta_1 - \theta_0), \quad (8)$$

де  $R_{\max}$  – максимальний радіус внутрішньої порожнини корпусу барабана, м;

$R_{\min}$  – мінімальний радіус внутрішньої порожнини корпусу барабана, м;

$F$  – площа поверхні вивантажувального отвору на максимальному радіусі, м<sup>2</sup>;

$\theta_0$  – кут конуса внутрішньої поверхні корпусу 1 барабана, град.;

$\theta_1$  – кут конуса внутрішньої поверхні кришки 6 корпусу барабана, град.

Прийнято такі значення величин, що входять у формулу:

$$\zeta = 0,48; \quad d = 0,004 \text{ м}; \quad \rho_f = 903 \text{ кг/м}^3; \quad \rho_s = 944 \text{ кг/м}^3;$$

$$R_{\max} = 0,165 \text{ м}; \quad R_{\min} = 0,060 \text{ м}; \quad \sin \theta_0 = 0,42; \quad \omega = 700 \text{ с}^{-1};$$

$$F = 0,016 \text{ м}^2; \quad \sin(90 - \theta_1 - \theta_0) = 0,34; \quad \gamma = 36,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с}.$$

Підставивши значення зазначених параметрів центрифуги, отримано продуктивність  $W=135$ кг/год, що цілком влаштовує фермерські господарства.

Модернізована центрифуга (рис. 3) відрізняється від серійного сепаратора зміною конструкції тарілотримача 3 об'єднанням конструкції шайби і отриманням у зв'язку з цим горловини 9 конструкцією тарілки 13 конструкцією корпусу барабана за рахунок створення конічної поверхні внутрішньої порожнини. Внутрішня порожнина заповнюється цеолітом, пакет тарілок видаляється.

При використанні переобладнаної центрифуги на базі сепаратора СЦ-3 (рис. 2) процес очищення олії відбувається у полі відцентрових сил і підпорядковується закону Стокса. Частки домішок (дисперсна фаза), що досягли корпусу центрифуги, розташовуються біля периферії, витісняючи дисперсійне середовище (дисперсійне середовище спливає).

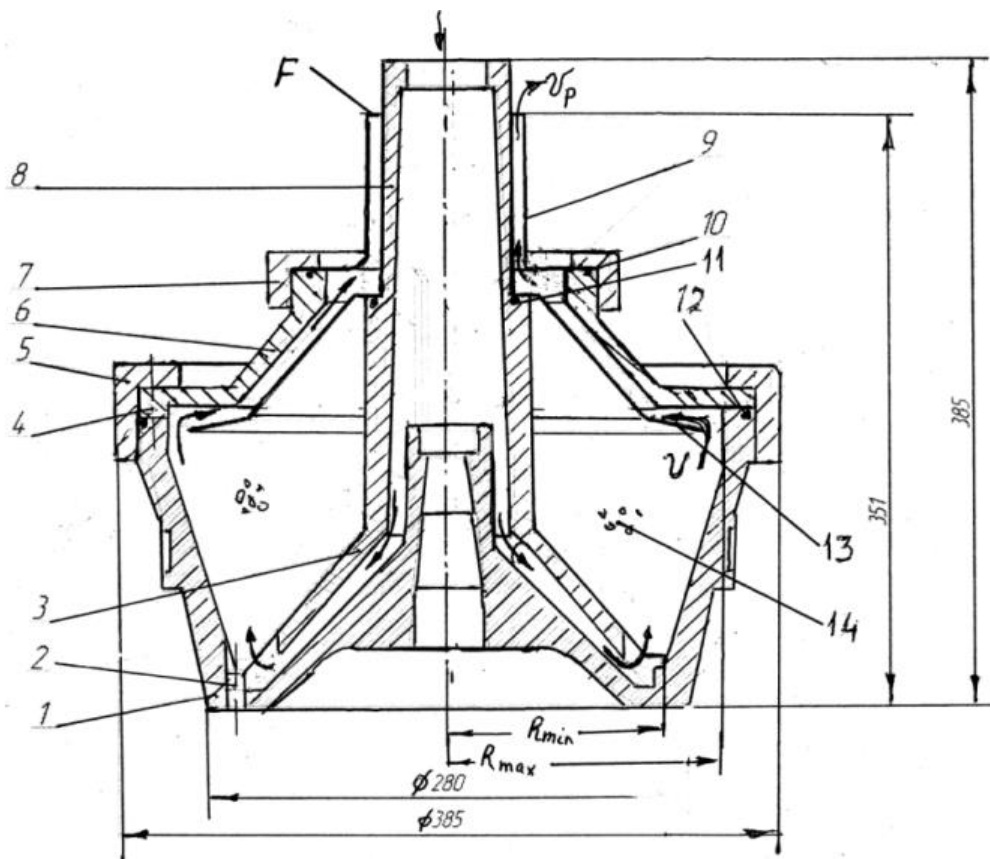


Рис. 3. Загальний вид переобладнаної центрифуги:

1 – корпус барабана; 2 – штифт; 3 – тарілотримач; 4 – кришка; 5 – велика гайка; 6 – кришка; 7 – мала гайка; 8 – вихідний отвір площі  $F$ ; 9 – горловина; 10–12 – кільця ущільнювачів; 13 – спеціальна тарілка; 14 – цеоліт;  $R_{max}$ ,  $R_{min}$  – максимальний та мінімальний радіуси внутрішньої порожнини центрифуги

Оскільки дисперсійне середовище має меншу густину, ніж дисперсна фаза, і меншу в'язкість, вона переміщається вгору, досягаючи внутрішню поверхню кришки 6 на максимальному радіусі центрифуги  $R_{max}$ . На максимальному радіусі центрифуги  $R_{max}$  біля основи конуса дисперсійне середовище матиме мінімальну густину  $f$ , тобто масло буде максимально очищене для даної конструкції центрифуги. По зазору між кришкою 6 і тарілкою 13 дисперсійне середовище під впливом тиску подачі і розрядження насоса, що відкачує, надходить у зазор між тарілотримачем 8 і горловиною 9 і відкачується вивантажувальним насосом. Причому кількість олії, що виводиться, регулюється перекриттям насоса на вивантажувальній магістралі центрифуги, чим досягається регулювання якості очищення.



*Висновки.* Природний цеоліт марки «Сокірніт» має велику кількість макро- (18-21 м<sup>2</sup>/г) та мікропор (1-2 м<sup>2</sup>/г), що підтверджує можливість утримання фосфатидів у порах при його використанні як фільтруючий матеріал у фільтруючих центрифугах.

Застосування конічних фільтруючих центрифуг у сільськогосподарських підприємствах дозволяє переробляти сільськогосподарську продукцію в господарствах, що сприяє підвищенню економічних показників сільгоспвиробників як за рахунок переробки продукції на місцях виробництва (насіння соняшнику), так і за рахунок використання відходів (цеоліту під час годування тварин).

Модернізація сепаратора СЦ-3 у конічну фільтруючу центрифугу з цеолітовою фільтрувальною перегородкою можлива без істотних конструктивних змін, що дозволить виробникам сепараторів СЦ-3 підвищити ринок збуту та конкурентоспроможність своєї продукції.

#### *Список використаних джерел*

1. Пісчанська В. В., Медведовська В. М. Механічні процеси і апарати хімічних виробництв: навчальний посібник. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. 52 с.

2. ДСТУ 4492:2017 Олія соняшникова. Технічні умови. [Чинний від 2019-01-01]. Київ: Держстандарт України, 2018. 19 с. (Інформація та документація).

3. Marie Wong, Laurence Eyres, Leandro Ravetti Modern Aqueous Oil Extraction-Centrifugation Systems for Olive and Avocado Oils. *Green Vegetable Oil Processing, AOCs Press*. 2014. Vol. 2. P. 19-51. <https://doi.org/10.1016/B978-0-9888565-3-0.50005-4>.

4. Eberle S., Börnick Hilmar, Stolte Stefan. Granular Natural Zeolites: Cost-Effective Adsorbents for the Removal of Ammonium from Drinking Water. *Water*. 2022. Vol. 14(6). P. 939. <https://doi.org/10.3390/w14060939>.

5. Цеоліти: властивості та галузь застосування. URL: <http://shop.znakomlu.com.ceolit/html> (дата звернення 12.03.2024).

6. Cheshmedzhiev V., Mircheva D., Dzhorova V. Effect of zeolite in ration containing carbamide established by experiments with rams. *Zhivotnovod. nauki*. 1981. Vol. 18(6). P. 64-68.

7. Salahudeen N. A Review on Zeolite: Application, Synthesis and Effect of Synthesis Parameters on Product Properties. *Chemistry Africa*. 2022. Vol. 5. P. 1889–1906. <https://doi.org/10.1007/s42250-022-00471-9>.

8. Аналіз технологій отримання олії з олійних культур / В. В. Дідур, Д. П. Журавель, О. М. Шокарев, О. В. В'юник, А. С. Комар. *Науковий вісник Таврійського державного*



агротехнологічного університету. 2022. Вип. 12, т. 3. С. 180-189. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2022-3-17>.

9. Farooq S., Ngaini Z. Introduction to Vegetable Oils. Part of the books eries: Composites Science and Technology. *Bhawani S. A., Khan A., Mohmad Ibrahim M. N., Jawaid M.(eds). Vegetable Oil-Based Composites*. Singapore, 2024. 590 p. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-9959-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-99-9959-0_1)

10. Паламарчук І. П., Бандура В. М., Фіалковська Л. В., Пазюк В. М. Обґрунтування технології та розробка обладнання для первинного очищення соняшникової олії. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2017. № 1(84). С. 128 – 132.

11. Marvin Winkler, HeikoSonner, MarcoGleiss, Hermann Nirschl Fractionation of aultrafineparticles: Evaluation of separation efficiency by UV–visspectroscopy, *Chemical Engineering Science*. 2020. Vol. 213. no115374. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.115374>.

12. Dellapiane Juan & Pelloso Jose. (2014). Process for purification of vegetable oils upon withdrawal of solids by centrifugation in the miscella stage. *Patent: US8692004B2*, 2014. URL: [https://www.researchgate.net/publication/302724382\\_Process\\_for\\_purification\\_of\\_vegetable\\_oils\\_upon\\_withdrawal\\_of\\_solids\\_by\\_centrifugation\\_in\\_the\\_miscella\\_stage](https://www.researchgate.net/publication/302724382_Process_for_purification_of_vegetable_oils_upon_withdrawal_of_solids_by_centrifugation_in_the_miscella_stage) (дата звернення 15.03.2024).

13. Клименко О. Д., Селезньов Е. Л. Хімічна технологія та обладнання підприємств: навч. посібник для студентів спец. 133 «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання. Луцьк: Луцький НТУ, 2018. 136 с.

14. Resasco D., Crossley S., Wang B., White J. Interaction of water with zeolites: a review. *Catalysis Reviews*. 2021. Vol. 63(2). P. 302–362. <https://doi.org/10.1080/01614940.2021.1948301>.

15. Shihab Jenan, Rashid Khalid, Toma Manal. A review on membrane technology application for vegetable oil purification processes. *International Journal of Food Engineering*. 2022. Vol. 18(10-11). <https://doi.org/10.1515/ijfe-2022-0058>.

16. Erkaeva N., Akhmedov A., Normurodova U. Effective technology for cleaning mechanical compounds in vegetable oils. *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. 2022. Vol. (1-2). P. 13-17. <https://doi.org/10.29013/AJT-22-1.2-13-17>.

17. Процеси та апарати харчових виробництв: підручник / А. М. Поперечний, О. І. Черевко, В. Б. Гаркуша, Н. В. Кирпиченко; за ред. А. М. Поперечного. Київ : Центр учбової літератури, 2007. 304 с.

18. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва : навч. посібник / П. С. Берник [та ін.]. Львів : Львівська політехніка, 2004. 336 с.



19. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / В. Г. Мирончук [та ін.]. Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.
20. Малезик І. Ф. Процеси і апарати харчових виробництв: лабораторний практикум. Київ: НУХТ, 2006. 224 с.
21. Навчально-методичний посібник до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Експлуатація техніки в переробці» для студентів спеціальності 6.100102 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» денної форми навчання / Укладачі: В. М. Пазюк, О. Д. Пазюк, О. В. Цуркан. Вінниця: ВНАУ, 2013. 81 с.
22. Лабораторний практикум з дисципліни «Процеси і апарати»: навч. посібник / В. Ф. Ялпачик [та ін.]. Мелітополь : Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. 275 с.
23. Процеси і апарати харчових виробництв : лабораторний практикум : навч. посібник. / О. І. Черевко [та ін.]. Харків : Світ Книг, 2013. 168 с.
24. Tantray Javeed, Mansoor Sheikh, Choh Wani Rasy, Nissa Nighat. *Basic Life Science Methods*. 2023. P. 15-20. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-19174-9.00005-2>.

*Стаття надійшла до редакції..15.04.2024.*

**V. Didur<sup>1</sup>, I. Petrychenko<sup>1</sup>, G. Dashyvets<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Uman National University of Horticulture

<sup>2</sup>Dmytro Motorny Tavria state agrotechnological university

## **MODERNIZATION OF THE CIJ-3 SEPARATOR**

### *Summary*

The production of vegetable oils in agricultural enterprises is held back by the lack of inexpensive, small-sized equipment that ensures the production of products that meet international quality standards. The development of economical, inexpensive domestic equipment and the organization of its production are relevant. The results of the analysis of information sources prove the possibility of high-quality purification of vegetable oils in the conditions of agricultural enterprises on vertical conical centrifuges when using a natural filter material - the mineral zeolite. This work considers the possibility of modernizing the CIJ-3 separator (which is produced in series and is intended for cleaning the oil of marine engines) for its use in the cleaning of vegetable oils. Examples of the use of oil production waste in various branches of production are described - in the food industry, in the manufacture of fodder for cattle. Technical phosphatides are used in the textile and leather industry, where they are used to impregnate fabrics, wool and leather in order to increase its elasticity. They are also introduced into the composition of varnishes and paints in order to increase the depth of their shades. The work presents methods of cleaning oils from phosphatides that are hydrated and from those that are not hydrated. The developed scheme of the drum of the experimental centrifuge is presented and the research of filtering conical centrifuges is



carried out on the basis of the developed methodological base and the theory of centrifugation. The principle of operation of the laboratory installation is described. The plant performance equation is provided. The schematic diagram of the modernization of the ЦЦ-3 centrifuge, the general view of the converted centrifuge, is presented. The principle of operation of the modernized centrifuge is described. It was established that the modernization of the ЦЦ-3 separator into a conical filter centrifuge with a zeolite filter partition is possible without significant structural changes, which will allow the manufacturers of ЦЦ-3 separators to increase the sales market and the competitiveness of their products.

**Keywords:** vegetable oils, topicality, centrifugation, filtering membrane, zeolite, properties, Sokirnit zeolite, theory, re-equipment, separator, design.





DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-4

УДК 631.363.28

В. І. Склабінський<sup>1</sup>, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0001-9388-5861

О. Г. Гусак<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-4372-5776

О. Ю. Юрченко<sup>1</sup>, аспірант

ORCID: 0000-0002-3047-6654

К. В. Нічволодін<sup>1</sup>, аспірант

ORCID: 0000-0002-1055-0722

<sup>1</sup> Сумський державний університет

e-mail: aleksyurchenko110917@gmail.com, тел.: +380966106782

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗТАШУВАННЯ ДЕКІЛЬКОХ ОБЕРТОВИХ ВІБРАЦІЙНИХ ГРАНУЛЯТОРІВ (ОВГ) У ОДНІЙ ГРАНУЛЯЦІЙНІЙ БАШТІ

*Анотація.* Процес гранулювання мінеральних добрив реалізується за рахунок спеціального обладнання – обертового вібраційного гранулятора мінеральних добрив. Відома конструкція установки, що є неодноразово вдосконаленою, дає можливість отримання готового продукту грануляції необхідної якості, головним чином – необхідного розміру гранул. Одночасно із цим, оптимальна конструкція з точки зору окремих параметрів, серед яких швидкість обертання корзини та рух плаву не завжди може задовольняти умови виробництва. В даній роботі представлено кілька негативних явищ, що можуть бути виявленими внаслідок роботи такої установки. Серед основних із них підкреслено явище пересікання струменів рідини, що не може бути допустимим. Таке явище призводить до зміни розміру крапель, а, отже, і гранул, що впливає на якість кінцевого продукту. В такий спосіб описано неможливість прояву такого фактору, що не є допустимим, та представлено теоретичні рішення щодо покращення стану готового продукту шляхом набору математичних рівнянь та їх вирішення.

*Ключові слова.* Гранулятор, тиск, корзина гранулятора, швидкість обертання, якість, готовий продукт, грануляція.

*Постановка проблеми.* Процес гранулювання проводиться у грануляційних баштах різних розмірів та різної форми перетину [1]. В основному це круглі башти (рис.1а) та башти прямокутної форми перетину (рис.1 б). У баштах з поперечним перетином круглої форми рівномірний розподіл добре забезпечується за рахунок обертання кошика обертового вібраційного гранулятора (ОВГ), конструкцію якого було розроблено на кафедрі хімічної інженерії Сумського державного університету (СумДУ) [2] та схема якого показано на рис. 2. Тоді, під дією відцентрових сил факел розпилу, що являє собою всю сукупність потоку гранул, що рухаються у грануляційній башті, збільшує або зменшує свій діаметр, що залежить від швидкості обертання кошика гранулятора, і загалом факел «вписується» у

робочий простір башти. При цьому запобігають потраплянню ще не сформованих гранул на стінки грануляційної башти (рис. 1 в), що супроводжується налипанням плаву мінеральних добрив на стінках та приводить до необхідності зупинки башти та усього виробництва мінеральних добрив для ремонтних робіт по очищенню внутрішньої поверхні башти від плаву, що застиг на ній.

Схема розташування ОВГ у грануляційних баштах різної форми приводиться на рис. 1.

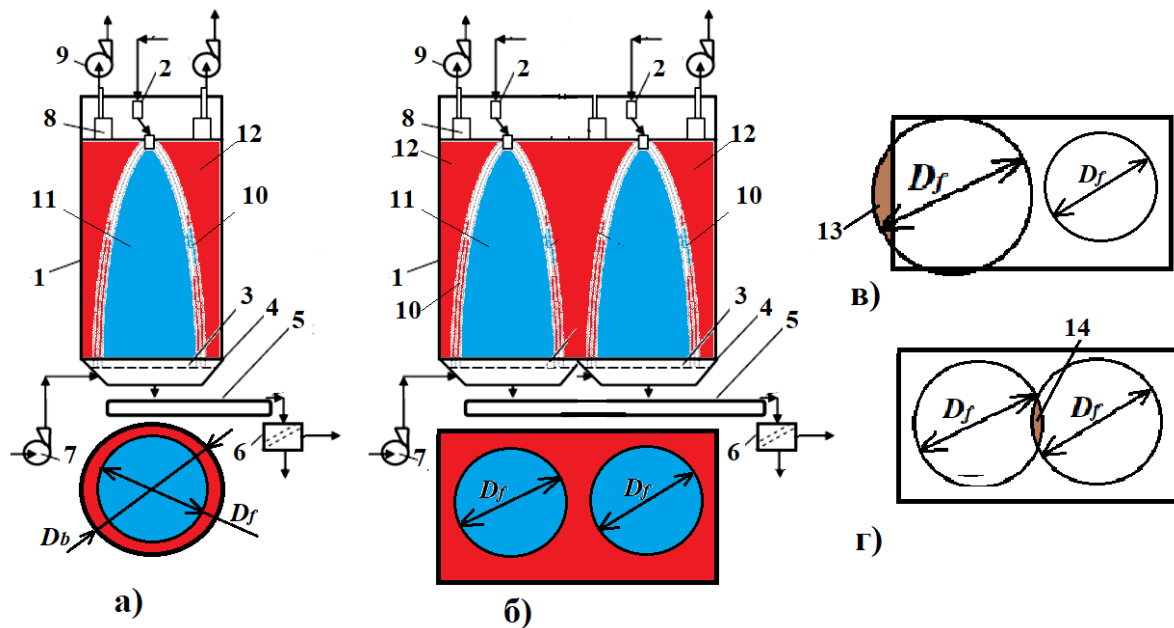


Рис. 1. Схематичне зображення факелу розпилу баштового виробництва мінеральних добрив: а) башта круглої форми. б) башта прямокутної форми. в) факел гранул потрапляє на стінки башти. г) факели гранул сусідніх грануляторів перехрещуються між собою. 1 – грануляційна башта; 2 – плаву у гранулятор; 3 – «киплячий шар»; 4 – конуси для збору гранул; 5 – транспортер; 6 – розділювач гранул по розмірам; 7 – напірний вентилятор; 8 – обладнання для очистки повітря; 9 – витяжні вентилятори; 10 – зовнішня границя факелу гранул; 11 – потік гранул; 12 – зона башти де відсутній контакт гранул з повітрям; 13 – зона потрапляння плаву на внутрішні стінки грануляційної башти; 14 – зона пересікання двох сусідніх факелів гранул

Ще до одного негативного явища може привести невірний розрахунок або неввірна налагодка технологічного режиму роботи ОВГ. Явище пересікання двох сусідніх факелів гранул (рис. 1 г) виникає у тому випадку, коли один з факелів має більший діаметр за той, що потрібен. Таке пересікання двох сусідніх факелів гранул приводить до того, що ще на стадії не сформованих крапель у гранули ці краплі

стикаються одна з одною. Такі краплі або у результаті зіткнення руйнуються і виникають краплі меншого розміру, або виникає їх злиття і виникають краплі більшого розміру.

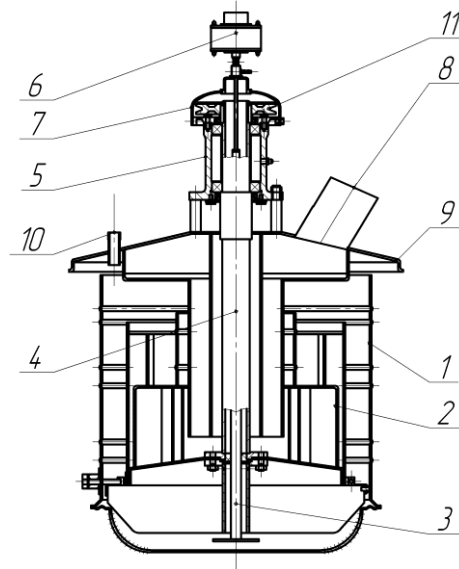


Рис. 2. Схема обертового вібраційного гранулятора (ОВГ):

- 1 - корзина, 2 – розподільник плаву по корзині, 3 – шток вібратора,
- 4 – вал, 5 – підшипниковий вузол, 6 – вібратор, 7 – металевий ковпак,
- 9 – кришка (корпус), 8 і 10 – патрубки для введення плаву і пари,
- 11 – шків

У обох випадках це приводить до негативних наслідків [3]. При подрібненні крапель потім з цих малих крапель формуються гранули малого розміру. Такі малі гранули, особливо діаметром менше 1 мм, забираються разом з повітрям у атмосферу забруднюючи її та збільшуючи втрати кінцевого продукту у вигляді готових мінеральних добрив. У випадку коли з'являються краплі збільшеного діаметру це приводить до того, що такі краплі формуються у гранули за більший проміжок часу, аніж потрібно для формування їх потрібних властивостей, що недостатню для повного «застигання» їх у вигляді гранул та набуття потрібної міцності. Такі гранули, при попаданні у зважений шар або на транспортер, що знаходяться у нижній частині башти, деформуються або зовсім руйнуються, що також приводить до втрат продукції та зниження її якості.

*Аналіз останніх досліджень.* Імовірнісні фактори впливу на отримання гранул необхідного розміру описано в дослідженнях [4-6]. Підкреслено, що додатковий тиск в забезпеченні широкого факелу розпилу плаву створюють за допомогою лопатевої системи у внутрішньому просторі корзини ОВГ, що конструктивно є важливим технічним рішенням [4]. Також указано, що діаметр та розміщення



отворів у корзині гранулятора з додатковим фактором, таким як швидкість обертання кошику гранулятора, впливають на діаметр факелу розпилу плаву. Підкреслено, що це є важливим тоді, коли башта матиме форму прямокутника і завширшки буде малою. Приведені деякі аспекти досліджень є основою подальших робіт по вдосконаленню методів з розрахунку діаметру струменя рідини, а також зміни радіуса струменя уздовж його осі з виходом на створення методик з прогнозування форми струменю до його розпаду на краплі. Тому, дослідження [7] містить розрахунки, що представляють актуальність при аналізі роботи вібраційних грануляторів для промислових масштабів з метою оцінки їх грануляційного складу продукту. Спираючись на отриманий досвід, в роботі [8] розроблено методику визначення діаметра факела розпилу плаву мінеральних добрив для напрацювання рекомендацій щодо зміни швидкості обертання гранулятора у залежності від зміни навантажень по плаву у промислових умовах та форми кошика за умови потрібного початкового напрямку введення струменів та гранул у повітряний потік.

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* У обох випадках запобігти потраплянню плаву на стінки башти і зіткненню гранул між собою з двох сусідніх факелів гранул можна вірним підбором параметрів роботи грануляторів. За мету в даній роботі ставиться вирішення задачі зниження імовірності виникнення негативних явищ у роботі грануляційного обладнання.

*Основна частина.* Для вирішення задачі зниження імовірності виникнення негативних явищ у роботі грануляційного обладнання, які було описано вище, було проведено дослідження та пошук чинників при роботі ОВГ, впливом на які можна запобігати цим негативним явищам.

Зовнішній контур факелу гранул обмежений траєкторіями гранул, що формуються з крапель, які виникають зі струменів із отворів розташованих на найбільшому радіусі кошика ОВГ, що обертається. Під дією статичного тиску стовпа плаву  $H_{st}$  (у метрах стовпа плаву або рідини, що витікає) у грануляторі відбувається витікання крапель з початковою швидкістю  $W_0$ , від величини якої у подальшому і залежить діаметр факелу гранул:

$$W_0 = \psi \sqrt{2 g H_{st}}, \quad (1)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт витрати рідини (плаву), що витікає.

Додатковим фактором, що впливає на швидкість, є число обертів кошика гранулятора  $n$ , що приводить до виникнення відцентрової сили і додатковому відцентровому тиску:



$$H_{\omega} = \left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 \frac{(2 R_a)^2}{8 g} \quad (2)$$

і тоді повна величина тиску, під яким відбувається процес витікання дорівнює  $H_a = H_{st} + H_{\omega}$ , а величина швидкості під дією цього тиску дорівнює:

$$W_{0a} = \psi \sqrt{2 g \left( H_{st} + \left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 \frac{(2 R_a)^2}{8 g} \right)} \quad (3)$$

З огляду на те, що струмені плаву витікають під кутом від горизонту то складова швидкості гранули у горизонтальному напрямку дорівнює:

$$W_{x0} = \psi \sqrt{2 g \left( H_{st} + \left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 \frac{(2 R_a)^2}{8 g} \right)} \cos \left( \frac{\pi \alpha}{180} \right), \quad (4)$$

а рівняння для визначення складової швидкості гранули у вертикальному напрямку має вигляд:

$$W_{y0} = \psi \sqrt{2 g \left( H_{st} + \left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 \frac{(2 R_a)^2}{8 g} \right)} \sin \left( \frac{\pi \alpha}{180} \right), \quad (5)$$

Знання початкових умов руху гранули у робочому просторі грануляційної башти, якими є рівняння (4) та (5) дозволяють чисельними методами вирішити диференційні рівняння руху гранули, рішенням яких можна знайти швидкість руху гранули:

$$\begin{cases} \frac{d}{d\tau} W_x(\tau) = -\frac{\xi S_g \rho_{voz} (W_x(\tau) + V_x)^2}{2 m} \\ \frac{d}{d\tau} W_y(\tau) = g - \frac{\xi S_g \rho_{voz} (W_y(\tau) + V_y)^2}{2 m} \end{cases} \quad (6)$$

де  $\tau$  – час руху гранули;  $W(\tau)_i$  – відповідно осям координат складові швидкості руху краплі;  $\xi$  – коефіцієнт опору гранули;  $S_g$  – площа поперечного перетину гранули;  $\rho_{voz}$  – щільність повітря;  $V_i$  – відповідно до осі швидкості повітря;  $m$  – маса гранули, а потім знайти траєкторію руху гранули.

Або, визначивши початкові умови шляху гранули уздовж горизонтальної осі  $x$  як  $S_{x0} = 0$ , а уздовж вертикальної осі  $y$  як  $S_{y0} = 0$  та вирішивши відповідні диференційні рівняння:

$$\begin{cases} \frac{d^2}{d\tau^2} S_x(\tau) = \frac{-3\xi_x(\tau) \rho_{voz} \left( \frac{d}{d\tau} S_x(\tau) + V_x \right)^2}{4 d_k \rho_g} \\ \frac{d^2}{d\tau^2} S_y(\tau) = g - \frac{3\xi_y(\tau) \rho_{voz} \left( \frac{d}{d\tau} S_y(\tau) + V_y \right)^2}{4 d_k \rho_g} \end{cases} \quad (7)$$

де  $S_x(\tau)$  та  $S_y(\tau)$  – відповідно шлях, що долає гранула уздовж горизонтальної та вертикальної осі;  $\xi_x(\tau)$  та  $\xi_y(\tau)$  – коефіцієнт опору гранулі відповідно по осям,

Можна визначити траєкторію руху гранули та побудувати відповідний графік (рис. 3).

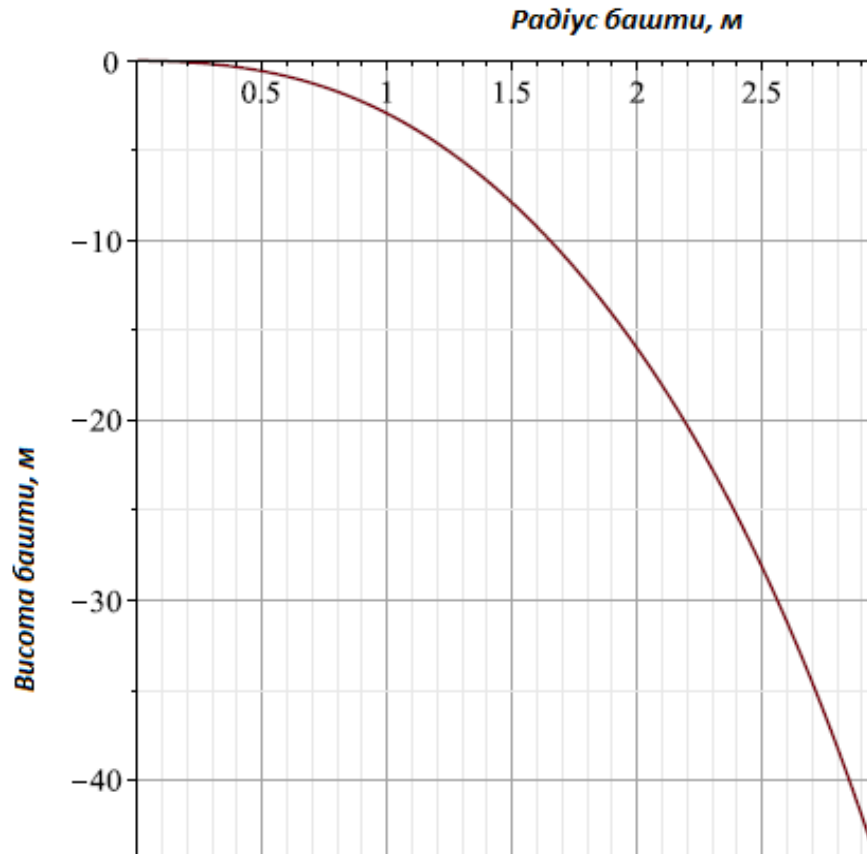


Рис. 3. Траекторія руху гранули  $d_k = 1,4$  мм для башти виробництва карбаміду висотою 42 м.

Необхідно також відмітити, що у випадку неповного розподілу гранул по перетину башти (рис.1 а) не весь повітряний потік контактує з гранулами. Очевидним є те, що фактична кількість повітря, що контактує з гранулами  $V_f$  буде меншою ніж кількість повітря  $V_B$ , що подається вентиляторами до башти  $V_f < V_B$ . Це негативно позначається на охолодженні гранул та пояснюється за допомогою наступного теоретичного опису.

Розглянемо рівняння теплового балансу, що є математичним описом кількості тепла, що передається від гранул до холодного теплоносія, яким є повітря:

$$\begin{cases} G_{plava} (C_p(T_{pn} - T_{pk}) + z_f + C_g(T_{pk} - T_{gk})) = G_v C_v (T_{vk} - T_{vn}), \\ K F \left( \frac{(T_{pn} - T_{vk}) + (T_{gk} - T_{vn})}{2} \right) = G_{plava} (C_p(T_{pn} - T_{pk}) + z_f + C_g(T_{pk} - T_{gk})), \end{cases} \quad (8)$$

де  $G_v = V_B \rho_{voz d}$  та  $G_{plava}$  - відповідно масова витрата повітря та плаву;  $C_p$  - питома теплоємність плаву;  $z_f$  - питома теплота фазового переходу у результаті кристалізації плаву;  $C_g$  - питома теплоємність





гранули;  $C_v$  – питома теплоємність повітря;  $T_{pn}$  та  $T_{pk}$  – початкова та кінцева температура плаву;  $T_{gk}$  – кінцева температура гранули;  $T_{vn}$  та  $T_{vk}$  – початкова та кінцева температура повітря;  $F$  та  $K$  – площа теплопередачі між гранулами і повітрям та коефіцієнт теплопередачі.

Якщо вирішити цю систему рівнянь та визначити від яких параметрів залежить кінцева температура гранули після закінчення контакту з повітрям:

$$T_{gk} = (2C_g C_v G_v T_{pk} G_{plava} + C_g F K T_{pk} G_{plava} - 2C_p C_v G_v T_{pk} G_{plava} + 2C_p C_v G_v T_{pn} G_{plava} - C_p F K C_p F K T_{pk} G_{plava} + C_p F K T_{pn} G_{plava} - C_v F G_v K T_{pn} + 2C_v F G_v K T_{vn} + 2C_v G_v Z_f G_{plava} + F K Z_f G_{plava}) / (2C_g C_v G_v G_{plava} + C_g F K G_{plava} + C_v F G_v K) \quad (9)$$

то можна побачити, що заміна у цьому рівнянні (9) значення витрати повітря на менше по величині число приведе до підвищення температури гранул, що є небажаним з точки зору погіршення якості продукції.

*Висновки.* Таким чином, у результаті проведених теоретичних досліджень та різних розрахунків з урахуванням практичного досвіду, що отримали співробітники кафедри хімічної інженерії на різних виробництвах мінеральних добрив на вітчизняних та закордонних підприємствах, було обґрунтовано необхідність врахування параметрів ОВГ, які впливають на розміри факелу гранул у грануляційній башті для запобігання перехресненню факелів гранул двох сусідніх грануляторів та недопущення потрапляння плаву на внутрішні стінки башти. Розроблено методику визначення параметрів гранулятора, що впливають на діаметр факела розпилу плаву мінеральних добрив, для ОВГ, які впроваджуються у виробництві мінеральних добрив у промислових умовах.

#### *Список використаних джерел*

1. Скиданенко М. С., Артюхов А. Є., Склабінський В. І. Перспективи отримання мікрогранул у вібраційних грануляторах. *Сучасні технології в промисловому виробництві*: матер. наук.-техн.ї конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій (Суми, 18-22 квітня 2011 року). Суми: СумДУ, 2011. Ч. 1. С. 117.
2. Холин Б. Г. Центробежные и вибрационные грануляторы пластов и распылители жидкости. Москва : Машиностроение, 1977. 182 с.
3. Казакова Е. А. Гранулирование и охлаждение азотсодержащих удобрений. Москва : Химия, 1980. 288 с.



4. Юрченко О. Ю., Склабінський В. І., Гусак О. Г. Теоретичний аналіз дії механічних та гідродинамічних чинників на утворення крапель у вібраційному грануляторі. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матер. V Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Запоріжжя, 01-24 листопада 2023 р.). Запоріжжя, 2023. С. 22-24.

5. Юрченко О. Ю., Склабінський В. І., Гусак О. Г. Вплив форми днища вібраційного гранулятора мінеральних добрив на основні параметрів технологічного процесу. *Промислова гідравліка і пневматика*: матер. XXIII Міжнар. наук.-техн. конференції (Київ, 15–16 грудня 2022 р.). Київ: Глобус-Прес, 2023. С. 164-166.

6. Юрченко О. Ю., Скиданенко М. С., Гусак О. Г., Склабінський В. І. Вплив гідродинаміки внутрішніх течій у корзині вібраційного гранулятора на струмені плаву. *Матер. ІХ Всеукр. наук.-техн. конференції (Суми, 19–22 квітня 2022 р.)*. Суми: СумДУ, 2022. С. 170-171.

7. Yurchenko O. Y., Ostroha R. O., Sklabinskyi V. I., Gusak O. G., Bocko J. Formation of liquid droplets at the prilling bucket outlet under free oscillations of the liquid jet. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2023. Ch. 18. P. 2-18. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-32774-2\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-32774-2_18)

8. Yurchenko O., Sklabinskyi V., Ochowiak M., Ostroha R., Gusak O. Rational choice of a basket for the rotational vibropriller. *Journal of Engineering Sciences*. 2022. Vol. 9(1). P. 16-20. [https://doi.org/10.21272/jes.2022.9\(1\).f3](https://doi.org/10.21272/jes.2022.9(1).f3).

*Стаття надійшла до редакції 18.04.2024 р.*

**V. Sklabinskyi<sup>1</sup>, O. Gusak<sup>1</sup>, O. Yurchenko<sup>1</sup>, K. Nichvolodin<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Sumy State University

## **FEATURES OF PLACEMENT OF SEVERAL ROTATING VIBRATING GRANULATORS (OVG) IN ONE GRANULATION TOWER**

### *Summary*

The process of granulating mineral fertilizers is implemented using special equipment - a rotating vibrating granulator of mineral fertilizers. The well-known design of the installation, which has been repeatedly improved, makes it possible to obtain a finished granulation product of the required quality, mainly of the required size of granules. At the same time, the optimal design from the point of view of individual parameters, among which the speed of rotation of the basket and the movement of the float, cannot always satisfy the conditions of production. This work presents several negative phenomena that can be detected as a result of the operation of such an installation. Among the main ones, the phenomenon of crossing liquid jets, which cannot be admissible, is emphasized. Such a phenomenon leads to a change in the size of the droplets, and, therefore, the granules, which affects the quality of the final



product. In this way, the impossibility of manifesting such a factor, which is not admissible, is described and theoretical solutions are presented to improve the state of the finished product by means of a set of mathematical equations and their solution. The spray torch of tower production of mineral fertilizers with a round tower and a rectangular tower is shown schematically. In addition, it is shown how the torch of pellets falls on the walls of the tower and the phenomenon of the torch of pellets of neighboring granulators colliding with each other. The need to take into account the parameters of granulator, which affect the dimensions of the pellet torch in the granulation tower, is substantiated to prevent the pellet torches of two neighboring granulators from crossing and to prevent the liquid from falling on the inner walls of the tower. A technique for determining the parameters of the granulator, which affect the diameter of the spray torch of floating mineral fertilizers, has been developed for OVG, which are implemented in the production of mineral fertilizers in industrial conditions.

**Key words:** Granulator, pressure, granulator basket, rotation speed, quality, finished product, granulation.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-5

УДК 662.767.2

О. Г. Скляр<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-0456-2479

Р. В. Скляр<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-1547-5100

А. С. Комар<sup>1</sup>, інженер<sup>1</sup>, аспірант<sup>1</sup> Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного

e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua, тел.: +38067-916-85-80

## УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ З РЕКУПЕРАЦІЄЮ ТЕПЛОТИ ЗБРОДЖЕНОЇ БІОМАСИ

*Анотація.* В статті запропоновано установку та технологію для рекуперації теплоти збродженої біомаси, намічено основні вимоги до процесу тепловідбору та шляхи його інтенсифікації. Проведений аналіз витрат енергії на системи забезпечення процесу метаногенезу дозволив зробити висновок про те, що головну увагу при пошуку шляхів зниження енергоємності метанового зброджування слід приділяти системам рекуперації теплоти збродженого гною і перемішування біомаси в біореакторах. При цьому з огляду на інтенсивний спосіб обробки біомаси в термофільному режимі обрано рекуператор інтенсивної дії. Крім того, апарати, що вибираються, повинні задовольняти вимогам, які ставляться до установок, працюючих з неньютонівським характером рідини, до яких відноситься біомаса. Також наведено схему рекуператора, що працює в режимі зворотно-поступального руху фаз з пульсуючим завантаженням та вивантаженням біомаси.

*Ключові слова:* рекуператор, теплообмін, гній, метанове зброджування, біомаса, інтенсифікація.

*Постановка проблеми.* Застосування типових теплообмінників для утилізації теплоти гною, який перероблюється в біогазовій установці має наступні складнощі: складна експлуатація через неньютонівський характер рідин; необхідно автономне обладнання, що перекачує; технологічно обмежений час завантаження метантенка визначає великі об'єми теплообмінних апаратів [1-3]. Останнє призводить до тривалого знаходження гною в цих апаратах і як наслідок – до великих амортизаційних витрат, що суттєво знижує ефективність їх застосування. Для зменшення габаритів рекуператора необхідно максимально інтенсифікувати процес теплообміну – у межах, які допускаються технологічним режимом зброджування. З огляду на вищенаведені специфічні властивості гною (висока в'язкість, схильність до адгезії) теплообмінну поверхню рекуператора в біогазових установках слід виконувати гладкою [4,5].



Необхідною умовою інтенсивного протікання метанового зброджування є також вільний обмін речовин на поверхнях розподілу фаз (шарів), які повинні періодично переміщатися у метантенку в режимі ідеального витіснення за рахунок перепаду тиску біогазу (без перемішування шарів біомаси між собою) [6]. При цьому в метантенку створюються різні зони, для кожної з яких є свого роду адаптована метаногенна асоціація. Ці умови повинні враховуватись при конструктивному виконанні процесу рекуперації теплоти зброженої біомаси [7].

*Аналіз останніх досліджень.* В Україні питання енергетичної ефективності біогазових установок та теплообмінним процесам в них займалися наступні науковці: Ратушняк А. А., Лялюк О. Г., Коцеев І. А., Гелетуха Г. Г., Желих В. М., Кучерук П. П., Голуб Г. А., Калетнік Г. М., Матвеев Ю. Б., Маляренко В. А., Токарчук Д. М., Скорук О. П., Пришляк Н. В., Коваленко В. Л. та ін. [8-13] Проведені дослідження фізико-механічних властивостей гною показують, що специфічні особливості маси, що обробляється, при вологості 93% зумовлюють неньютоновський характер його течії в поєднанні з великими значеннями в'язкості. Структура гною і таксонометрична залежність між різними видами мікроорганізмів обмежує застосування різних типів рекуператорів і конструкцій біореакторів, а також методів перемішування і підвищених швидкостей руху гною при анаеробному зброджуванні. Автори [5,6,8,14] вважають, що механічне перемішування біомаси, що зброджується, негативно впливає на нормальне культивування метанових бактерій. Аналогічний вплив має наявність кисню у вихідній біомасі, що змішується зі зброженою по всьому об'єму реактора, так як при цьому починає проявлятися його інгібуюча дія [14].

Ці особливості процесу слід враховувати при доборі теплообмінників-утилізаторів теплоти переробленої біомаси.

*Формулювання мети статті.* Підвищення ефективності процесу метанового зброджування рідкого гною тварин в біогазовій установці шляхом інтенсифікації процесу рекуперації теплових відходів.

*Основна частина.* Можна навести наступні потенційні можливості для інтенсифікації процесу тепловідбору зброженої біомаси та покращення енергоефективності біогазових установок [14-18]:

1) використання мікрохвильового опромінення для підвищення тепловіддачі від зброженої біомаси. Деякі дослідження показали, що мікрохвильове оброблення може руйнувати клітинні стінки біомаси та підвищувати її теплопровідність, що призводить до покращення тепловіддачі під час процесу бродіння;



2) використання наноматеріалів, таких як наночастинки оксиду цинку або графен, для поліпшення ефективності теплообміну. Ці матеріали мають високу теплопровідність і можуть бути використані для збільшення теплової поверхні та покращення теплопередачі;

3) використання комп'ютерного моделювання та оптимізації для визначення оптимальних параметрів процесу тепловідбору, таких як температура, тиск, швидкість потоку тощо. Це дозволить зменшити експериментальні витрати та швидше досягти оптимальних результатів.

4) розробка нових теплообмінних конструкцій, таких як мікроканалні теплообмінники або теплові насоси, які забезпечать ефективніший теплообмін та зменшують втрати тепла.

5) використання електрооптичних систем контролю теплового процесу, що дозволить в реальному часі контролювати та регулювати параметри тепловідбору для підвищення ефективності.

Так, проведений аналіз витрат енергії на системи забезпечення процесу метаногенезу [2,8,9,10,15,16] дозволив зробити висновок про те, що головну увагу при пошуку шляхів зниження енергоємності метанового зброджування слід приділяти системам рекуперації теплоти збродженого гною і перемішування біомаси в біореакторах. При цьому з огляду на інтенсивний спосіб обробки біомаси в термофільному режимі доцільно вибирати рекуператори інтенсивної дії. Крім того, апарати, що вибираються, повинні задовольняти вимогам, які ставляться до установок, працюючих з неньютонівським характером рідини, до яких відноситься біомаса [17-19].

З метою усунення недоліків відомих біогазових установок [20-26], запропоновано та розроблено установку та технологію для рекуперації теплоти збродженої біомаси [27], намічено основні вимоги до процесу тепловідбору та шляхи його інтенсифікації [28].

Принципову схему біогазової установки із рекуперацією теплоти збродженої біомаси представлено на рисунку 1. Запропонована установка включає вертикальний циліндричний метантенк 1, з коаксіально розташованими всередині нього камерою змішування 2, що має газову порожнину 5, і теплообмінник 3, розміщений в метантенці 1 з витримувачами 4,17. Внутрішню порожнину останніх суміщено з камерою змішування 2, причому верхню частину одного з витримувачів сполучено з газовою порожниною камери 5 та рекуператором 22. Трубопроводи 23, 18 завантаження вихідної біомаси в метантенк 1 також сполучені з рекуператором 22 [29].

Установка працює наступним чином. Вихідний (холодний) гній через вхідний патрубок 21 подається у трубний простір А рекуператора 22. В останньому відбувається попереднє нагрівання



вихідного гною за рахунок скидної теплоти переробленого гною.

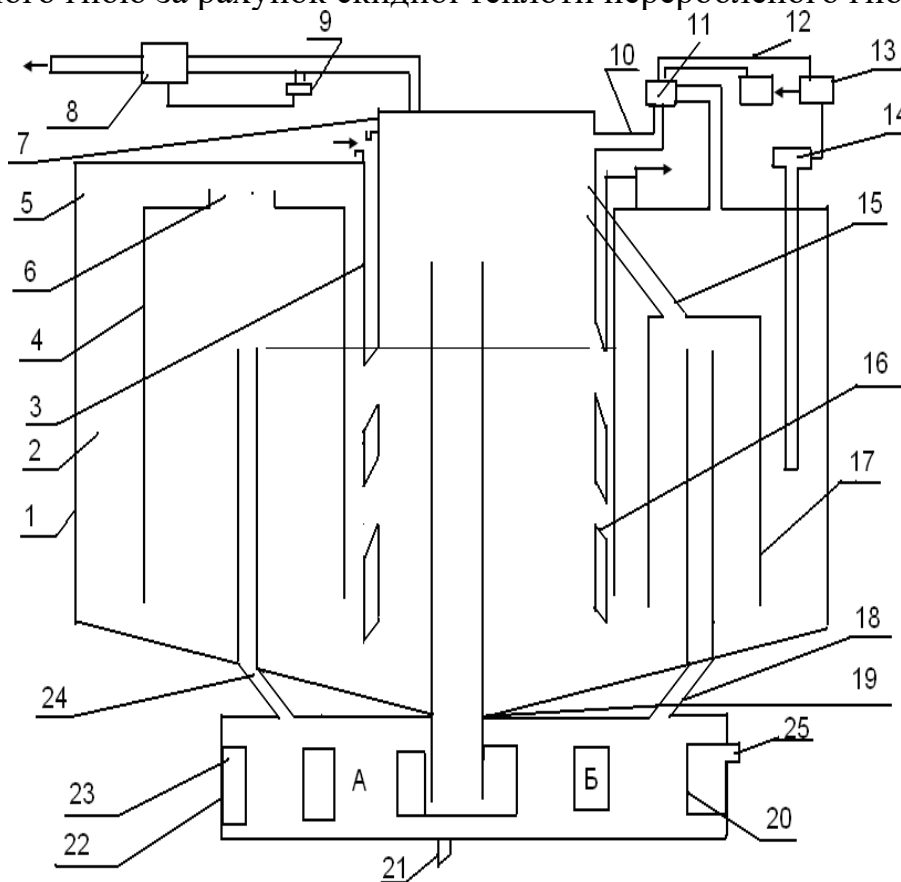


Рис. 1. Принципова схема біогазової установки з рекуператором теплоти переробленого гною: 1 – метантенк; 2 – камера змішування; 3 – теплообмінник; 4, 17-витримувачі; 5 – газова порожнина; 6 – отвір; 7 – труба-розділювач; 8, 12 – вакуумні насоси; 9 – датчик розрядження; 10, 15 – патрубки; 11 – електромагнітний клапан; 13 – програмний пристрій; 14 – регулятор температури; 16, 20 – теплообмінні трубки; 18, 23 – трубопроводи завантаження; 19 – вивантажувальна труба; 21 – вхідний патрубок; 22 – рекуператор; 24 – вивантажувальний патрубок рекуператора; 25 – вивантажувальна труба для відпрацювання. А і В – трубний та міжтрубний простір рекуператора

За рахунок періодичного підключення рекуператора 22 до вакуум-системи в його трубному (А) і міжтрубному (Б) просторі здійснюється зворотно-поступальний рух біомаси зі змінною амплітудою. Завантаження та вивантаження біомаси здійснюється періодично (порційно). При черговій подачі порції вихідного гною в рекуператор 22 одночасно здійснюється рівне за обсягом завантаження нагрітого зброженого гною через завантажувальні трубопроводи 23 і 18 у верхню частину витримувачів 4, 17, вбудованих в метантенк 1, при цьому у витримувачах 4, 17



відбувається поглинання кисню семіанаеробними мікроорганізмами та перетворення органічних речовин на органічні кислоти. Процес поглинання кислотовмісної маси у вихідному гної і перетворення органічних речовин на органічні кислоти в даному випадку відбувається інтенсивніше, ніж у витримувачах, окремо розташованих від метантенка, так як нижню частину витримувачів 4, 17 суміщено з нижньою частиною камери змішування 2, де у великій кількості накопичуються та розвиваються семіанаеробні мікроорганізми [29]. При завантаженні-вивантаженні гній, що витримується, не змішується зі зброджуваним гноєм по всьому об'єму метантенка 1, а надходить в нижню частину камери змішування 2, що істотно покращує роботу метантенка.

Після подачі вихідного попередньо нагрітого гною у витримувачі 4 і 17 з автоматичним підключенням засобів підтримання температурного режиму бродіння в метантенку 1 починається перемішування, і одночасно з ним здійснюється подача порції витриманого гною знизу в камеру змішування 2, що дорівнює об'єму порції завантаженого вихідного гною. На заданому рівні шару біомаси в метантенку відбувається анаеробний розпад органічних речовин з виділенням метановмісного газу. При цьому в нижній частині камери змішування 2 розвиваються семіанаеробні мікроорганізми, і навіть осідають тверді компоненти. В середній частині розвиваються метаноутворюючі мікроорганізми, а у верхній частині накопичується зброджений гній, який видаляється через труби 19, а разом з ним і тверді компоненти (у міру їх розкладання).

Перероблений гній з метантенку 1 через вивантажувальну трубу 19 надходить у міжтрубний простір рекуператора 22 для рекуперації теплоти. Завантаження вихідного гною в рекуператор 22 і розвантаження переробленого гною з метантенка здійснюється в режимі ідеального витіснення.

Тиск у верхній частині труби 19 і метантенку 1 підтримується нижче атмосферного на рівні 6000 – 7000 Па вакуумним насосом 12, керованим датчиком розрідження 9, причому перепад гідростатичного тиску у вивантажувальній трубі 19 відповідає прийнятій величині розрідження газоподібних продуктів.

Перемішуванням гною, що знаходиться в метантенку 1, керує програмний пристрій 13, заблокований з регулятором температури 14, який розташовано в камері змішування 2. Цей пристрій забезпечує в заданому інтервалі часу відкриття або закриття електромагнітного клапану 11 і включення вакуумного насосу 12. Останній здійснює відбір газоподібних продуктів з верхньої частини труби 7, а також з вивантажувальної труби 19. Біогаз, що відбирається, надійде у верхню частину метантенку 1 і, відповідно, у верхню частину



витримувача 4 через отвори 6. При цьому у верхню частину труби 7 і у вивантажувальну трубу 19, а також витримувач 17 піднімається маса, що нагнітається з верхньої частини метантенку 1 і витримувача 4, з'єданого з міжтрубним простором патрубками 18, 23, а також з нижньою частиною камери змішування 2. Коли рівень зброджуваного гною доходить до верхнього рівня верхнього ряду трубок 16, які розташовано в теплообміннику 3, що розділяє на дві рівні частини метантенк 1, починається часткове обвалення рідинних стовпів гною, що зброджується.

Після заданих малоамплітудних циклів обвалення рідинних стовпів гною програмний пристрій 13 відкриває електромагнітний клапан 11, і відключає вакуумний насос 12. В результаті цього верхня частина труби 7 через патрубок 15 сполучається з верхньою частиною метантенку 1 і відбувається повне обвалення зброджуваного гною в трубі 7 через нижній її торець і тангенціальні трубки 16, а також обвалення вивантажуваного гною у вивантажувальній трубі 19 і у витримувачі 22 (в обох порожнинах окремо) до заданого рівня. При цьому забезпечується підйом осілих твердих компонентів, збільшується ефективність тепловідбору в рекуператорі 22, запобігається налипання гною до стінок теплообмінних трубок 20 і утворення кірки у верхній частині камери змішування 2. Крім того, в останній забезпечується максимальна амплітуда коливань при зворотно-поступовому перемішуванні. Через заданий проміжок часу цикл повторюється, при цьому частота пульсацій зворотно-поступального перемішування гною в метантенку 1 може регулюватися шляхом зміни режиму роботи вакуумного насоса 12.

Перероблений шлам з рекуператору вивантажується через вивантажувальну трубу 19. Одночасне перемішування теплоносіїв в обох порожнинах рекуператора здійснюється в пульсуючому режимі за допомогою вакуумного насоса. Схема роботи трубчастого рекуператора при зворотно-поступальному переміщенні біомаси показано на рис. 2.

В рекуператорі 22 розташовані знімні трубки – теплообмінники 20, причому їх можна замінити незалежно один від одного, не зупиняючи процес зброджування в метантенку.

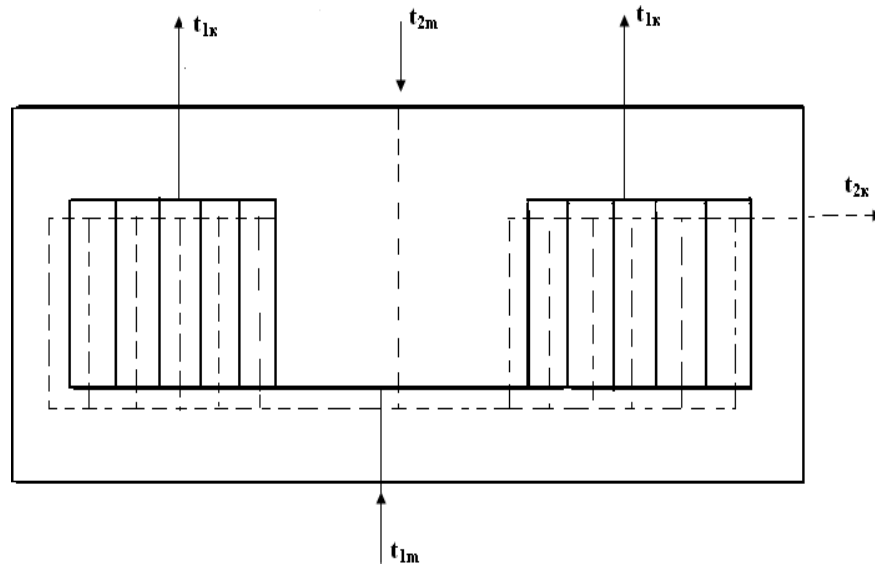


Рис. 2. Схема рекуператора, що працює в режимі зворотно-поступального руху фаз з пульсуючим завантаженням та вивантаженням біомаси

*Висновки.* З метою усунення недоліків відомих біогазових установок, запропоновано та розроблено установку та технологію для рекуперації теплоти зброженої біомаси, намічено основні вимоги до процесу тепловідбору та шляхи його інтенсифікації.

*Список використаних джерел.*

1. Григоренко С. М. Удосконалення технології метаногенерації пташиного посліду. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: мат. II Міжнар. наук.-практ. конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 94-99.

2. Скляр О. Г. Аналіз роботи біогазових установок. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2019. Вип. № 10(109). С. 132-138.

3. Курашкін О. С. Анаеробна утилізація сільськогосподарських відходів в біогазових установках. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матер. II Міжнар. наук.-практ. конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 55-59.

4. M. Marchionni, G. Bianchi, A. Karvountzis-Kontakiotis, A. Pesiridis, S.A. Tassou. Dynamic modeling and optimization of an ORC unit equipped with plate heat exchangers and turbomachines. *Energy Proc.* 2017. Vol. 129. P. 224-231.

5. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Інтенсифікація теплообміну та термостабілізація біореакторів. *Вісник ВПІ*. 2006. № 2. С. 26-32.

6. Ігнатенко Д. Г. Аналіз оптимальних умов ферментації в біогазових установках. *Технічне забезпечення інноваційних технологій*



в агропромисловому комплексі: матер. I Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 196-199.

7. Теплообмінні процеси та обладнання переробних та харчових виробництв / І. П. Паламарчук [та ін.]. Львів: Бескид Біт, 2006. 368 с.

8. Ратушняк Г. С., Кощесєв І. А. Енергоефективність біоконверсії при термостабілізації анаеробного бродіння субстрату в біогазовій установці з тепловим насосом. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2012. № 2. С. 145-152.

9. Когенераційні технології в малій енергетиці: монографія / В. А. Маляренко, О. Л. Шубенко, С. Ю. Андреев, М. Ю. Бабак, О. В. Сенецький; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Ін-т проблем машинобуд. ім. А. М. Підгорного. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 454 с.

10. Желих В. М., Дзерин О. І., Сподинюк Н. А., Желих В. М. Енергоефективні системи теплозабезпечення виробничих приміщень. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2012. № 2. С. 152-157.

11. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. 132 с.

12. Geletukha G., Kucheruk P., Matveev Y. Prospects of biomethane production and use in Ukraine. UABio Position Paper. 2014. № 11. URL: <https://jntes.tu.kielce.pl/wp-content/uploads/2023/02/prospects-of-biomethane-production-in-ukraine.pdf> (дата звернення 01.03.2024).

13. Григоренко С. М. Адаптивні методи утилізації відходів птахівництва. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2021. Вип. 11, т. 1. №18. URL: [http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/14158/1/18\\_be.pdf](http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/14158/1/18_be.pdf) (дата звернення 04.03.2024).

14. Скляр Р. В., Скляр О. Г. Обґрунтування способу перемішування субстрату для експериментальної біогазової установки. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2020. Вип. 10, т. 1. URL: [http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/11287/1/06.80\\_2.pdf](http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/11287/1/06.80_2.pdf) (дата звернення 04.03.2024).

15. Забарний Г. М., Шурчков А. В. Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України. Київ, 2002. 211 с.

16. Скляр О. Г. Аналіз енергетичної ефективності метантенка. *Праці ТДАТУ*. 2015. Вип. 15, т. 2. С. 316-322.

17. Nichols C. E. Overview of anaerobic digestion technologies. *Europe. BioCycle*. 2014. Vol. 45(1). P. 47-53.

18. Cagatay Varis, Selin Ozcira Ozkilib. In a biogas power plant from waste heat power generation system using Organic Rankine Cycle and multi-criteria optimization. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2023. Vol. 44. no 102729. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102729>.



19. D. Prando, M. Renzi, A. Gasparella, M. Baratieri, Monitoring of the energy performance of a district heating CHP plant based on biomass boiler and ORC generator. *Appl. Therm. Eng.* 2015. Vol. 79. P. 98-107.

20. Y. Cao, H. N. Rad, D. H. Jamali, N. Hashemian, A. Ghasemi, A novel multi-objective spiral optimization algorithm for an innovative solar/biomass-based multigeneration energy system: 3E analyses, and optimization algorithms comparison. *Energy Convers. Manag.* 2020. Vol. 219. no 112961.

21. Skliar O. G., Skliar R. V. Substrate management in biogas plants. *Молодь і технічний прогрес в АПК: Мат. Міжнар. науково-практичної конференції. Харків: ХНТУСГ. 2021. Т. 2. Інноваційні розробки в аграрній сфері. С. 260-262.*

22. Komar A. Definition of priority tasks for agricultural development. *Multidisciplinary research: Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Bilbao, Spain 2020. P. 431-433.*

23. Скляр О. Г. Біоконверсні технології прискореної переробки відходів тваринництва в екологічно безпечні добрива. *Науковий вісник ТДАТУ. 2021. Вип. 11, т. 2. № 3. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/16047/1/Skliar.pdf> (дата звернення 05.03.2024).*

24. Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plan. *MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa. 2014. Vol.16. No 2b. P. 183-188.*

25. M. Persson, O. Jonsson, A. Wellinger. Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection. IEA Bioenergy. Task 37 – Energy from biogas and landfill gas. December 2006.

26. Eder B., Schultz H. Biogas plants. A practical guide edited by IA Reddich, Zorg Biogas, 2011. P. 175.

27. Скляр Р. В., Скляр О. Г. Теоретичні дослідження режимів і параметрів метантенку біогазової установки. *Науковий вісник ТДАТУ 2020. Вип. 10, т. 1. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/11292/1/14.80.pdf> (дата звернення 09.03.2024).*

28. Скляр Р.В. Методи інтенсифікації процесів метанового зброджування. *Науковий вісник ТДАТУ. 2014. Вип. 4, т. 1. С. 3-9. URL: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf4t1/3.pdf> (дата звернення 11.03.2024).*

29. Скляр Р. В. Аналіз методів визначення часу перебування та навантаження на метантенк. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. 2014. Вип. 148. С. 405-412.*

*Стаття надійшла до редакції 04.04.2024 р.*





O. Skliar<sup>1</sup>, R. Skliar<sup>1</sup>, A. Komar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrrotechnological University

## IMPROVING THE DESIGN OF A BIOGAS PLANT WITH HEAT RECOVERY OF FERMENTED BIOMASS

### *Summary*

The use of typical heat exchangers for heat utilization of manure, which is processed in a biogas plant, has the following difficulties: difficult operation due to the non-Newtonian nature of liquids; autonomous pumping equipment is required; the technologically limited loading time of the methane tank determines large volumes of heat exchangers. The structure of manure and the taxonomic dependence between different types of microorganisms limit the use of different types of recuperators and bioreactor designs, as well as mixing methods and increased manure movement speeds during anaerobic fermentation. Mechanical mixing of the fermenting biomass negatively affects the normal cultivation of methane bacteria. The presence of oxygen in the original biomass, which mixes with the fermented biomass throughout the entire volume of the reactor, has a similar effect, as its inhibitory effect begins to manifest in this case. The article proposes an installation and technology for heat recovery of fermented biomass, outlines the main requirements for the heat extraction process and ways of its intensification. The conducted analysis of energy costs for systems supporting the methanogenesis process made it possible to conclude that the main attention when searching for ways to reduce the energy intensity of methane fermentation should be given to systems for recovering the heat of fermented manure and mixing biomass in bioreactors. At the same time, taking into account the intensive method of processing biomass in thermophilic mode, an intensive recuperator was chosen. In addition, the devices selected must meet the requirements for installations working with non-Newtonian fluids, which include biomass. Also given is the scheme of the recuperator operating in the mode of reciprocating phase movement with pulsating loading and unloading of biomass.

**Key words:** recuperator, heat exchange, manure, methane fermentation, biomass, intensification.



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

УДК 637.134.001.57

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

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

*імені Дмитра Моторного*

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

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДИСПЕРГУВАННЯ МОЛОЧНОГО ЖИРУ В ІМПУЛЬСНОМУ ГОМОГЕНІЗАТОРІ

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

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

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



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

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

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

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

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

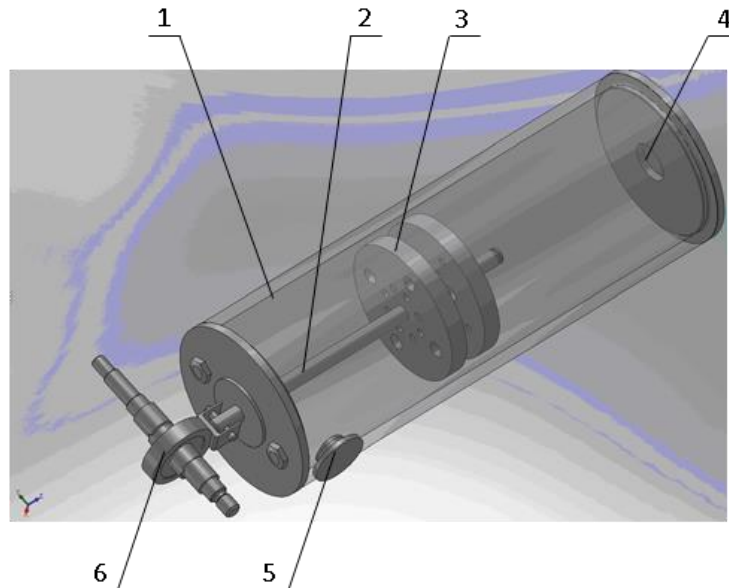


Рис. 1. Модель робочої камери імпульсного гомогенізатора виконана в Solidworks: 1 – циліндр; 2 – шток; 3 – поршні-ударники; 4 – патрубок підведення вихідного молока; 5 – патрубок відведення гомогенізованого молока; 6 – кривошипний механізм

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$d_k$  – критичний діаметр частки, м;

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

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



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

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

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

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

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

$\frac{dv}{dx}$

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

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

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

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

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

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

$\sigma_n = 0,054 \text{ Н/м}$ ;

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

$\sigma_{ж} = 0,030 \text{ Н/м}$ .

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

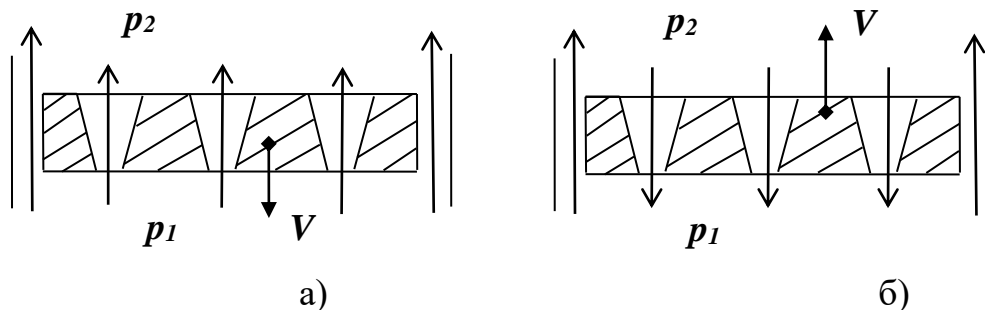


Рис. 2. Схема руху продукту крізь отвори поршня-ударника імпульсного гомогенізатора: а) при коливальному русі поршня-ударника вниз; б) при коливальному русі поршня-ударника вгору

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

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

При русі поршня вгору процес повторюється у зворотньому напрямку.

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

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

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



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

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

*Список використаних джерел:*

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



3. Homogenizer Handbook Processing of Emulsions and Dispersions. APV, An SPX Brand, 2009. P. 23.
4. Wilbey R. A. Homogenization of Milk: Principles and Mechanism of Homogenization, Effects and Assessment of Efficiency: Valve Homogenizers. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2011. P. 750–754.
5. Liu C., Li M., Liang C., Wang W. Measurement and analysis of bimodal drop size distribution in a rotor-stator homogenizer. *Chemical Engineering Science*. 2013. Vol. 102. P. 622–631.
6. Ahmad T. Homogenization-Centrifugation. *Dairy Plant Engineering and Management*. 2012. Ch. 10. P. 237–247.
7. Håkansson A., Fuchs L., Innings F., Revstedt J., Trägårdh C. & Bergenståhl B. Turbulent Velocity Fields Measurements of Two Phase Flow in a High Pressure Homogenizer Scale Model. *Submitted to journal*. 2016. Vol. 69. P. 320-342.
8. Innings F., Trägårdh C. Visualization of the Drop Deformation and Break-Up Process in a High Pressure Homogenizer. *Chemical Engineering & Technology*. 2015. Vol. 28(8). P. 882–891. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ceat.200500080> (дата звернення 11.03.2024).
9. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Івженко А. О., Левченко Л. В. Аналіз конструкцій гомогенізаторів молочної промисловості. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2016. Вип.16, т. 1. С. 9–15.
10. Peng J., Dong W., Li L., Xu J., Jin D., Xia X., Liu Y. Effect of high-pressure homogenization preparation on mean globule size and large-diameter tail of oil-in-water injectable emulsions. *Journal of Food and Drug Analysis*. 2015. Vol. 23(4). P. 828-835. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.04.004>.
11. Postelmans A., Aernouts B., Jordens J., Van Gerven T., Saeys W. Milk homogenization monitoring: Fat globule size estimation from scattering spectra of milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. Vol. 60. no 102311. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102311>.
12. Ashokkumar M., Rink R., Shestakov S. Hydrodynamic cavitation – an alternative to ultrasonic food processing. *Technical Acoustics*. 2011. Vol. 9. P. 156–166.
13. Brivibaa K., Gräfc V., Walzc E., Guamisd B., P. Butz P. Ultra high pressure homogenization of almond milk: Physico-chemical and physiological effects. *Food Chemistry*. 2016. Vol. 192. P. 82–89.
14. Rayner Marilyn, Dejmek Petr. Engineering Aspects of Emulsification and Homogenization in the Food Industry. CRCpress Taylor Ftancis group London, 2015. 322 p.



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Стаття надійшла до редакції 15.04.2024



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

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

#### *Summary*

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

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





---

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА  
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

---

**DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-7**

УДК 621.31:[65.015+65.011.56]

І. М. Трунова <sup>1</sup> , канд. техн. наук	ORCID: 0000-0001-7510-4291
А. І. Середа <sup>1</sup> , канд. техн. наук	ORCID: 0000-0002-7670-6822
С. М. Дудніков <sup>1</sup> , канд. техн. наук	ORCID: 0000-0002-0337-0707
В. Г. Пазій <sup>1</sup> , ст. викладач	ORCID: 0000-0002-7336-0854
О.М. Мороз <sup>1</sup> , д-р техн. наук	ORCID: 0000-0002-8520-9211
О.А. Савченко <sup>1</sup> , канд. техн. наук	ORCID: 0000-0002-6401-0852
С.А. Попадченко <sup>1</sup> , ст. викладач	ORCID: 0000-0003-2537-9769
С. В. Галько <sup>2</sup> , канд. техн. наук	ORCID: 0000-0001-7991-0311
І. В. Ладижинський <sup>1</sup> , магістр	ORCID: 0009-0009-1538-4776

<sup>1</sup> Державний біотехнологічний університет, м. Харків<sup>2</sup> Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного

e-mail: trunova\_iryana@btu.kharkov.ua, тел.: +380965906690

**ІНЖЕНЕРНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ  
НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

*Анотація* Запропоновані рекомендації щодо інженерного менеджменту на прикладі бізнес-аналізу проекту автоматизованої системи контролю якості технічної експлуатації розподільних мереж. Визначені вимоги державних органів регулювання та контролю, на основі яких формуються певні бази звітних даних Операторів систем розподілу, що можуть бути інтегровані до автоматизованої системи контролю якості технічної експлуатації розподільних мереж. Визначені цілі та очікувані результати від впровадження автоматизованої системи контролю якості технічної експлуатації розподільних мереж та обґрунтована функціональна декомпозиція задач проекту. Розроблена блок-схема економічного обґрунтування реконструкції повітряної лінії електропередачі з використанням бази даних економічних витрат попереднього року перед реконструкцією.

*Ключові слова:* розподільна мережа електропостачання, автоматизована система, контроль якості, технічна експлуатація, інженерний менеджмент, бізнес-аналіз.

*Постановка проблеми.* Надійність електропостачання залежить, насамперед, від технічного стану енергетичного обладнання, зокрема, систем розподілу. Проблема погіршення технічного стану розподільних електромереж особливо загострюється в останні роки.





Внаслідок ракетних обстрілів потребують відновлювального ремонту об'єкти генерації та розподілення електроенергії в умовах обмеженого фінансування. Для підвищення надійності електропостачання дуже важливо застосовувати комплексні заходи щодо підвищення якості технічної експлуатації енергетичного обладнання. З метою регулювання та зменшення ризиків подальшої експлуатації енергетичного обладнання, наприклад, доцільно створити автоматизовану систему контролю якості технічної експлуатації розподільних мереж на основі обробки великих масивів даних від Операторів системи розподілу (ОСР) усіх рівнів щодо технічного стану обладнання, рівня фінансування робіт тощо. Створення такої системи не можливе без попереднього комплексного бізнес-аналізу, який є одним з інструментів інженерного менеджменту. Інженерний менеджмент має значну роль у подоланні розриву між інженерною діяльністю та організаційними цілями, у комплексному вирішенні багатьох проблем, так як це можливість ефективного управління бізнес-операціями, маючи досвід у технічній галузі.

*Формулювання мети статті.* Метою дослідження є розробка рекомендацій інженерного менеджменту щодо попереднього комплексного бізнес-аналізу проекту автоматизованої системи контролю якості технічної експлуатації розподільних мереж.

*Аналіз останніх досліджень.* В останні роки напередодні війни в Україні відбувалося реформування енергетичної галузі, зокрема, електроенергетики, впроваджено ринок електричної енергії [1] та стимулююче регулювання [2], особливо за впровадження і розвиток “зеленої” енергетики на основі відновлюваних джерел енергії, які використовують енергію сонця [3-5], вітра [6-9], тощо. Це передбачає обґрунтування тарифів на електричну енергію з врахуванням цільових значень показника надійності – індексу середньої тривалості довгих перерв в електропостачанні System Average Interruption Duration Index (SAIDI) згідно з [10]. Як і в багатьох інших європейських країнах, що показав бенчмаркінг-звіт CEER про якість електро- та газо постачання [11], в нашій країні створена система регулювання якості електропостачання, де передбачено підвищення надійності електропостачання та підтримання стандартних характеристик напруги завдяки інвестиційним рішенням [12-14], передбачені компенсації споживачам за недотримання гарантованих стандартів якості електропостачання згідно [15, 16], що має враховуватися в обґрунтуванні оптимізації за економічною складовою доцільності робіт технічної експлуатації енергетичного обладнання.

Питання оптимізації діяльності ОСР є одним з актуальних на сьогодні питань. Зокрема, питання оптимізації технічного обслуговування системи розподілення електроенергії досліджувалися



у [17] на прикладах трансформаторних підстанцій високої/середньої напруги, як найбільш відповідального обладнання системи розподілу. В освітніх закладах також багато уваги приділяють оптимізації системи технічної експлуатації розподільних мереж, насамперед, для підвищення надійності електропостачання. Наприклад, як відмічається в [18, 19] в шведському Королівському технологічному інституті проводяться багато досліджень з цього питання з різними вихідними даними для врахування в розрахунках надійності систем розподілу електричної енергії. Зокрема, акцентувалася увага на ефективному керуванні активами.

В [20] відмічалось, що впровадження мотиваційної моделі для територіальних підрозділів ОСР з врахуванням розподілу інвестицій згідно технічного стану обладнання на початку її дії також може бути фактором оптимізації технічного обслуговування системи розподілу електричної енергії. Ця мотиваційна модель передбачає підвищення надійності електропостачання з врахуванням технічного стану обладнання розподільних мереж територіальних підрозділів ОСР, повноти виконання інвестиційного плану та середньої тривалості довгих перерв електропостачання, що зумовлені технологічними порушеннями в електричних мережах. А в [21, 22] були опубліковані рекомендації щодо інтеграції певних баз даних ОСР для створення консолідованої інформації, що може використовуватися в процесах підтримки прийняття рішень у інвестиційних планах забезпечення виконання робіт технічної експлуатації об'єктів розподільних мереж, але при цьому не враховані зміни у останніх постановках Національної комісії що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) та деякі можливі розширення переліку баз даних та їхнього використання в автоматизованій системі контролю якості технічної експлуатації розподільних мереж. І хоча ОСР на сьогодні використовують автоматизовані системи управління активами, але, як правило, вони застосовуються не в повній мірі - це обґрунтовувалося у [23], однак не запропоновані рекомендації щодо зміни цієї ситуації. При цьому, як відомо за роботами [24, 25] сучасні сервісно-орієнтовані ERP-системи дозволяють компаніям (в тому числі ОСР) адаптувати та налагоджувати інформаційні потоки та інтегрувати різноманітні інформаційні системи, інтегрувати дані різних баз, що створені на підприємстві.

*Основна частина.* Обґрунтування доцільності робіт технічної експлуатації, наприклад, реконструкції об'єктів розподільних мереж, базується на певних технічних та економічних показниках, інформація про які накопичується в певних базах даних ОСР. Розглянемо попередній бізнес-аналіз проекту автоматизованої системи контролю якості технічної експлуатації розподільних мереж. Бізнес-аналіз як



діяльність, складається з таких етапів, як аналіз бізнес-потреб, вивчення та формалізації вимог до майбутньої системи, розробка бізнес-моделі, функціональна декомпозиція по задачам, аналіз ризиків бізнес-середовища та галузі роботи системи тощо [26].

Перший етап в бізнес-аналізі в даному проекті — аналіз бізнес-потреб замовників. Вивчаються вимоги верхнього рівня від державних, контролюючих органів, менеджменту організацій, відповідальних за прийняття рішень. Наприклад, таким органом є НКРЕКП (Регулятор, який затверджує тарифи, затверджує Плани розвитку систем розподілу та накладає штрафи за невиконання стандартів якості електропостачання). Також є вимоги від Держенергонагляду – контролюючого органу держави з точки зору енергетичної безпеки (під їх контролем перебувають такі питання, як технічний стан обладнання, виконання норм та правил експлуатації тощо). Бази даних, які формуються для звітності цим державним органам регулювання та контролю зведені до таблиці 1

Таблиця 1

Бази даних ОСР, які формуються для звітності державним органам регулювання та контролю

Умовне позначення бази даних ОСР	Характеристика бази даних ОСР
DB-56	база даних для складання форми звітності 56-енерго до Держенергонагляду
DB-1175	база даних для розрахунку тарифу на розподіл електричної енергії згідно з Постановою НКРЕКП №1175 [10]
DB-375	база даних сум компенсацій з реєстру надання компенсацій споживачам згідно з Постановою НКРЕКП №375 [12]
DB-11 <sub>010,020</sub>	база даних для складання форми звітності 11-НКРЕКП-якість-розподіл за графами 010 та 020 для врахування часу на проведення планових ремонтних робіт, відповідно з попередженням та без попередження споживачів
DB-11 <sub>060</sub>	база даних для складання форми звітності 11-НКРЕКП-якість-розподіл за графою 060 для врахування часу на проведення аварійних відновлювальних робіт
DB-11 <sub>130,140</sub>	база даних для складання форми звітності 11-НКРЕКП-якість-розподіл за графами 130 та 140 (недовідпуск електричної енергії внаслідок запланованих перерв на проведення ремонтів з відключенням споживачів, відповідно, з попередженням та без попередження)
DB-11 <sub>180</sub>	база даних для складання форми звітності 11-НКРЕКП-якість-розподіл за графою 180 (недовідпуск електричної енергії внаслідок технологічних порушень в електричних мережах ліцензіата)



Наступний етап бізнес-аналізу – постановка цілей та очікуваного результату від впровадження та функціонування автоматизованої системи контролю якості технічної експлуатації розподільних мереж. Наприклад, такими цілями можуть бути:

- побудова моделі пріоритетів об'єктів розподільних мереж для майбутньої реконструкції, та створення узагальнених бюджетів реконструкції, виявлення оцінки впливу витрат на капітальні ремонти на строк окупності інвестицій, сукупну дохідність проекту;
- формування баз даних розрахункових та довідникових технічних та економічних показників для використання в обґрунтуванні доцільності робіт технічної експлуатації об'єктів розподільних мереж (див. таблицю 2);
- введення в роботу алгоритму економічного обґрунтування реконструкції об'єктів розподільних мереж;
- створення системи стимулювання досягнення кращих результатів технічної експлуатації об'єктів розподільної мережі підрозділами ОСР тощо.

Таблиця 2

Бази даних ОСР, які формуються за результатами розрахунків, вимірювань, з довідникової інформації

Умовне позначення бази даних ОСР	Характеристика бази даних ОСР
DB-ΔW <sup>(P)</sup>	база даних результатів розрахунку технологічних втрат електричної енергії
DB-K	база даних щодо вартості складових об'єктів реконструкції
DB-W	база даних щодо прогнозованих (очікуваних) обсягів споживання електричної енергії по об'єктам споживачів
DB-ACKOE	база даних щодо фактичного споживання електричної енергії
DB-PM	бази даних DB-PM модулю PM «Техобслуговування й ремонт обладнання» ERP-системи (до розрахунків можна залучати занесу до цієї бази даних інформацію типових технологічних карт, зокрема, зі стандарту [13] щодо норм часу та необхідної кількості електромонтерів для усунення причини відмови)
DB-ΔU	база даних результатів розрахунку втрат напруги

Так, наприклад, капітальні витрати на реконструкцію розподільних мереж (*K*) розраховуються з врахуванням типів, кількості (з бази даних DB-56), вартості складових об'єктів реконструкції та витрат, пов'язаних з демонтажем старого обладнання та монтажем нового обладнання (з бази даних DB-K). При цьому враховуються податки, витрати на амортизацію та на експлуатацію об'єктів розподільних мереж. Також враховують економічні витрати



$B_{AW}$  на компенсацію технологічних витрат активної електричної енергії з бази даних DB- $\Delta W^{(p)}$  за відповідним тарифом на купівлю електричної енергії з метою компенсації  $\Delta W^{(p)}$ . До складових доходу від реконструкції розподільних мереж відносять, насамперед, дохід від розподілу електричної енергії ( $D_p$ ). Визначається він з врахуванням тарифу ( $T$ ) та річного обсягу розподілення електричної енергії ( $W$ ) з бази даних DB- $W$ . Якщо для розрахунку використовувати дані попереднього року, то можна скористатися базою даних DB-АСКОЕ. Якщо розрахунки виконувати з врахуванням перспективної зміни обсягів розподілу електричної енергії, то можна скористатися базою даних DB-1175.

Вхідними даними для аналізу й прийняття подальших рішень також можуть бути зафіксована кількість відмов об'єктів розподільних мереж за звітні роки, та прогнозовані дані на наступні роки; значення цільових показників з надійності електропостачання SAIDI; надійність електропостачання за таким показником, як ENS - Energy Not Supplied (розрахунковий обсяг недовідпущеної електроенергії); Плани розвитку систем розподілу; інвестиційні плани та звіти з їхнього виконання тощо.

Наприклад, аналіз показав, що як дохід ОСР використовують також звітні дані щодо витрат на виконання ремонтних робіт в попередньому році на об'єктах майбутньої реконструкції. Вважаємо це недоцільним, так як, проведення ремонтів відновлює працездатний стан об'єкта, тому не можна відносити ці витрати попереднього року як дохід року після реконструкції, так як цей дохід отримується не внаслідок запланованої на наступний рік реконструкції, а внаслідок ремонтів попереднього року. Крім того, усуваючи дефекти ремонтом, впливають на коефіцієнт дефектності (КД), відповідно, цей об'єкт може на кінець звітного року не потребувати реконструкції. Однак, як дохід можна врахувати у разі реконструкції вилучення прогнозних витрат на планові ремонти, використовуючи бази даних DB-56, DB-PM та сформовану для звітності до НКРЕКП базу прогнозних даних DB-11<sub>010</sub>. Або (у випадку відмови від планових ремонтних робіт у наступному році) – сформовану базу даних DB-11<sub>060</sub>. (див. таблицю 1).

Реконструкція розподільних мереж може впливати на показники якості електропостачання. Як відомо, за невиконання гарантованих стандартів якості електропостачання чинним законодавством передбачені компенсації споживачам ( $B_k$ ). Використовуючи базу даних DB-375, можна оцінити такий дохід від реконструкції, як вилучення цієї статті розходів. Як показав аналіз, ОСР застосовують спрощений підхід визначення спочатку питомого значення суми компенсацій на 1 км розподільних мереж, а потім, помножуючи це значення на довжину повітряних ліній (ПЛ), що підлягають реконструкції, отримують  $B_k$  для





даного об'єкту реконструкції. Однак, створюючи базу даних DB-375, можна передбачити занесення до неї інформації щодо точок приєднання споживачів, яким надана компенсація, що дозволить більш точно визначати цю статтю доходу внаслідок того, що після реконструкції відповідні суми компенсацій не будуть виплачуватися (використовуючи, наприклад, базу даних DB-ΔU).

Також можна враховувати як дохід вилучення після реконструкції складової витрат, що пов'язана з недоотриманням прибутку внаслідок недовідпуску електричної енергії споживачам під час аварійних перерв в електропостачанні ( $B_{ENS}$ ). В цих розрахунках можна використовувати базу даних DB-11<sub>180</sub>. Як і в попередньому випадку, можна розраховувати питоме значення за звітними даними попереднього року перед реконструкцією, а потім його використовувати для отримання  $B_{ENS}$  для даного об'єкту реконструкції. Також можна визначати більш точно цю складову, якщо буде додаткова інформація щодо недовідпуску електроенергії конкретним споживачам внаслідок технологічних порушень в електричних мережах з бази даних DB-АСКОЕ. До бази даних DB-11<sub>180</sub> також можна заносити результати прогнозних розрахунків  $B_{ENS}$ , які можуть бути, якщо не робити реконструкцію.

Маючи інформацію щодо ймовірної тривалості аварійної перерви в електропостачанні з бази даних DB-11<sub>060</sub> та інформацію щодо обсягів розподілу електричної енергії  $W_j$  з бази даних DB-W можливо визначити прогнозні значення цієї складової ENS та значення  $B_{ENS}$ . Аналогічно у випадку прогнозних планових ремонтів відбувається формування бази даних DB-11<sub>130</sub> на основі інформації з баз даних DB-11<sub>010</sub> та DB-W. Використовуючи бази даних DB-11<sub>130</sub> та DB-11<sub>180</sub> можна визначити прогнозовані збитки від недовідпуску електроенергії конкретним споживачам.

Приведемо на рис. 1 приклад розробки спрощеної блок-схеми алгоритму розрахунків доходу за розрахунковий період (рік) для обґрунтування реконструкції ПЛ з  $J$  ділянками на основі використання даних попереднього року перед реконструкцією за наведеними прикладами використання наявних баз даних DB-АСКОЕ, DB-375, DB-11<sub>180</sub> та з умовними позначеннями, що приведені вище.

Етап бізнес-аналізу збір функціональних та нефункціональних вимог може проходити в виді інтерв'ю з співробітниками обленерго, встановлення особливостей роботи працівників з інформацією, виявлення бажаних параметрів та вимог до зручності роботи в середовищі нової системи. Бізнес-модель майбутньої системи має бути створена з урахуванням інтересів та потреб таких стейкхолдерів та ролей як: технічні керівники підрозділів ОСР, адміністратори створюваних та існуючих баз даних, менеджери середньої та вищої



ланки, відповідальні за висновок технічної експертизи щодо реконструкції об'єктів систем розподілу тощо. Ця бізнес модель також має відтворювати систему надходження, обробки даних, зберігання на серверах та зв'язків між базами даних. Маються на увазі дані щодо технічних характеристик ПЛ, трансформаторних підстанцій (ТП); кількісної та якісної оцінки технічного стану ПЛ та ТП; обсягів постачання електричної енергії; обсягів фінансування інвестиційних програм тощо.

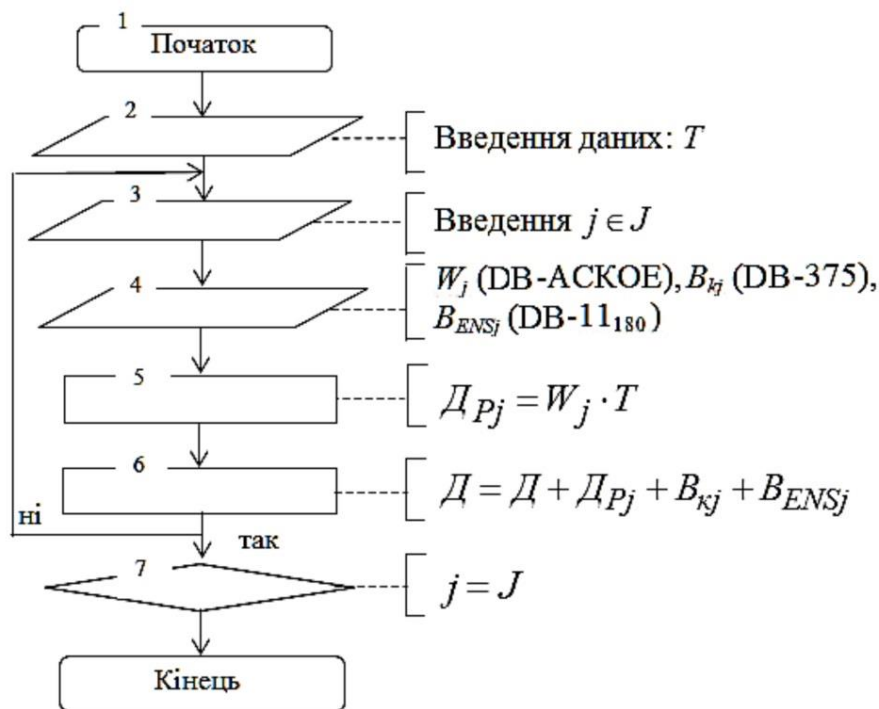


Рис. 1. Блок-схема алгоритму розрахунків доходу за розрахунковий період для прикладу обґрунтування реконструкції ПЛ з  $J$  ділянками на основі використання даних попереднього року перед реконструкцією

Функціональна декомпозиція задач проекту може бути наступною:

– фаза ініціації проекту:

1) аналіз повноти та змістовності наявних баз даних;

2) визначення можливості використання наявних баз даних у системі контролю якості технічної експлуатації розподільних мереж;

3) визначення вимог до системи контролю якості технічної експлуатації розподільних мереж;

– фаза планування: збір вимог зі сторони користувачів системою та зацікавлених сторін; формулювання функціональних та не функціональних вимог до системи;

– фаза виконання основних робіт проекту: розробка автоматизованої системи контролю якості технічної експлуатації



розподільних мереж; проектування архітектури системи контролю якості технічної експлуатації розподільних мереж; розробка програмного забезпечення для збору, аналізу та відображення даних для контролю якості технічної експлуатації розподільних мереж; інтеграція системи з існуючими системами збору та обробки даних;

– фаза контролю результатів та завершення проекту (тестування та валідація, моніторинг та аналіз результатів): виконання функціонального та інтеграційного тестування системи; перевірка відповідності системи встановленим вимогам та стандартам; інсталяція та налаштування обладнання та програмного забезпечення; підготовка персоналу до роботи з системою; моніторинг та аналіз результатів. постійний моніторинг та аналіз даних, зібраних автоматизованою системою контролю якості; виявлення аномалій та неполадок у роботі системи контролю якості технічної експлуатації розподільних мереж.

Основними інтерфейсами майбутньої системи можуть бути:

– детальні розрахунки для ПЛ та ТП для кожного територіального підрозділу ОСР, як правило, це підприємства районів електричних мереж (РЕМ), як до реконструкції, так і після, в разі обґрунтування її необхідності;

– деталізація алгоритмів розрахунків втрат активної електричної енергії та втрат напруги;

– деталізація показників кількісної оцінки технічного стану ПЛ та ТП для окремих територіальних підрозділів ОСР;

– деталізація частки дефектного устаткування в загальній кількості обладнання для окремих підрозділів ОСР;

– бюджети реконструкції об'єктів розподільних електромереж;

– аналіз фінансування реконструкції;

– розрахунок точки беззбитковості, тобто, розрахунку тарифу на розподіл електричної енергії з обладнанням після реконструкції;

– розрахунок та аналіз динаміки економічного коефіцієнту прогнозованих технологічних витрат електричної енергії (ЕКПТВ);

– визначення рейтингу територіальних підрозділів (РЕМ) за розробленою моделлю рейтингування.

Основними ризиками, що можуть вплинути на швидкість розробки автоматизованої системи контролю якості технічної експлуатації розподільних мереж можуть бути: зміни в законодавстві, створення нових законодавчих вимог до гравців ринку електроенергії, впровадження нових показників та звітів, що мають надсилатися ОСР до центрів прийняття управлінських та технічних рішень, організацій контролю, зміни порядку пріоритетності введення в експлуатацію обладнання (в тому числі й внаслідок руйнівних дій з боку



військового агресора), зміни в ціноутворенні на ринку електроенергії, зміни в цінах на виконання робіт, вартість обладнання.

*Висновки.* Запропоновані етапи попереднього комплексного бізнес-аналізу проекту автоматизованої системи контролю якості технічної експлуатації енергетичного обладнання систем розподілу є підґрунтям успішної його реалізації для підвищення надійності електропостачання. Також може бути корисною для цієї мети розроблена та запропонована до використання блок-схема прикладу розрахунків доходу для економічного обґрунтування реконструкції ПЛ на основі використання баз даних попереднього року перед реконструкцією.

*Список використаних джерел.*

1. Про ринок електричної енергії: Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення 15.03.2024).

2. Про встановлення параметрів регулювання, що мають довгостроковий строк дії, для цілей стимулюючого регулювання: Постанова НКРЕКП від 23.07.2013 № 1009. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z1266-13> (дата звернення 15.03.2024).

3. Галько С. В. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій. *Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень*: матеріали Міжнар. наук. конф. (10 квітня 2020 р.). Луцьк: МЦНД, 2020. Т. 1. С. 83-90. <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10>.

4. Галько С. В. Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки акумуляторів електромобілів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 130-141. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-3-130-141>.

5. Halko S., Halko K. Research of electrical and physical characteristics of the solar panel on the basis of cogeneration photoelectric modules. *Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial: Colección de documentos científicos «ΛΟΓΟΣ» con actas de la Conferencia Internacional Científica y Práctica*, 24 de abril de 2020. Barcelona, España: Plataforma Europea de la Ciencia, 2020. Vol. 2. P. 39-44. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.10>.

6. Qawaqzeh M. Z., Szafraniec A., Halko S., Miroshnik O., Zharkov, A. Modelling of a household electricity supply system based on a wind



power plant. *Przeegląd Elektrotechniczny*. 2020. Vol. 96(11). P. 36-40. <https://doi.org/10.15199/48.2020.11.08>.

7. Szafraniec A., Halko S., Miroshnik O., Figura R., Zharkov A., Vershkov O. Magnetic field parameters mathematical modelling of wind-electric heater. *Przeegląd Elektrotechniczny*. 2021. Vol. 97(8). P. 36-41. <https://doi.org/10.15199/48.2021.08.07>.

8. Галько С. В., Жарков В. Я., Жарков А. В. Технології та засоби перетворення відновлюваних джерел енергії для приватних домогосподарств: монографія. Мелітополь: Люкс, 2019. 215 с.

9. Savchenko O., Miroshnyk O., Moroz O., Trunova I., Sereda A., Dudnikov S., Kozlovskiy O., Buinyi R., Halko S. Improving the efficiency of solar power plants based on forecasting the intensity of solar radiation using artificial neural networks. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2021. P. 137-140. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570009>.

10. Про затвердження Порядку встановлення (формування) тарифів на послуги з розподілу електричної енергії: Постанова НКРЕКП від 05.10.2018 № 1175. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v1175874-18#Text> (дата звернення 15.03.2024).

11. 6th CEER Benchmarking Report on the Quality of Electricity and Gas Supply – 2016, CEER, August 2016.

12. Song H., Lee S. Study on the Systematic Design of a Passive Balancing Algorithm Applying Variable Voltage Deviation. *Electronics*. 2023. Vol. 12(12). P. 2587. <https://doi.org/10.3390/electronics12122587>.

13. Yingyuan Z. L., Zhao L. L., Fan Y. Study on Influence of Voltage Deviation on Loss of Low Voltage Distribution Network. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 440(3). P. 032030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/440/3/032030>.

14. Tang Z. The Influence of Decentralized Charging Pile Connection on Voltage Deviation of Distribution Network. *Journal of Physics Conference Series*. 2023. Vol. 2592(1). no 012095. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2592/1/012095>.

15. Про затвердження Порядку забезпечення стандартів якості електропостачання та надання компенсацій споживачам за їх недотримання: Постанова НКРЕКП від 12.06.2018 № 375. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0375874-18#Text> (дата звернення 15.03.2024).

16. Самойленко І. О. Методичні засади щодо економічної оцінки впливу якості електроенергії на організацію економічної діяльності на регіональному рівні. *Сталий розвиток економіки*. 2013. № 2. С. 153-158.

17. Mahmoudi M., Barkany A.E., Khalfi A.E. A maintenance optimization policy for an electric power distribution system: case of the



HV/MV substations. *Engineering*. 2014. Vol. 6(5). P. 236-253. <https://doi.org/10.4236/eng.2014.65028>.

18. Trunova I., Miroshnyk O., Moroz O., Savchenko O., Pazyi V., Sereda A., Halko S., Buinyi R. The substantiation of reconstruction of power distribution networks objects. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2021. P. 126-131. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570107>.

19. Hilber P. Maintenance Optimization for Power Distribution Systems: Ph.D. Thesis, Department of Elect. Power Engineering, KTH, Stockholm, 2008.

20. Trunova I., Miroshnyk O., Ladyzhynskii I. The Motivational Model for Improvement of Electricity Supply Continuity in Post-War Ukraine. *IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2023. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312937>.

21. Al Issa H. A. A., Trunova I., Miroshnyk O. Databases Case Study in Substantiation of Reconstruction of Power Distribution Networks Objects. *IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*. 2021. <https://doi.org/10.1109/MEES52427.2021.9598684>.

22. Bertling L., Allan R., Eriksson R. A reliability-centered asset maintenance method for assessing the impact of maintenance in power distribution systems. *IEEE Trans. Power Syst.* 2005. Vol. 20(1). P. 75–82. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2004.840433>.

23. Трунова І. М., Дишлевський А. В., Куліш Л. О. Вдосконалення методики обґрунтування реконструкції об'єктів розподільних мереж. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Енергетика, надійність та енергоефективність. 2020. Вип. 1(1). С. 84-88.

24. Georges E. K. Building a Service-Oriented ERP from an Open Source Software. *Fourth International Conference on Software Engineering Advances*, Porto, Portugal. September 2009. <https://doi.org/10.1109/ICSEA.2009.14>.

25. Arachchi S. M., Chong S. C., Kathabi A. System Implementation Failures in the ERP Development Process. *Journal of Computer and Communications*. 2019. Vol. 7. P. 112-127. <https://doi.org/10.4236/jcc.2019.712011>.

26. Типові технологічні карти на капітальний ремонт та технічне обслуговування електричних мереж напругою 0,4-20 кВ: СОУ-Н МПЕ 40.1.20.663:2005. Офіц. вид. Київ: М-во палива та енергетики України, 2005. 167 с.

*Стаття надійшла до редакції 21.03.2024 р.*





I. Trunova<sup>1</sup>, A. Sereda<sup>1</sup>, S. Dudnikov<sup>1</sup>, V. Pazii<sup>1</sup>, O. Moroz<sup>1</sup>, O. Savchenko<sup>1</sup>,  
S. Popadchenko<sup>1</sup>, S. Halko<sup>2</sup>, I. Ladyzhynskiy<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>State Biotechnological University  
<sup>2</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

## ENGINEERING MANAGEMENT TO INCREASE THE POWER SUPPLY CONTINUITY

### *Summary*

Recommendations for the use of one of the tools of engineering management - business analysis are proposed. An example of business analysis of the project of an automated quality control system for the technical operation of energy equipment of distribution systems is given. The requirements of state regulatory and control bodies (the National Commission for State Regulation in the Fields of Energy and Utilities and the State Inspectorate for Energy Supervision) are defined, based on which certain reporting databases of distribution system operators are formed, which can be integrated into the automated quality control system of technical operation of energy equipment. The goals and expected results from the implementation of the automated quality control system for the technical operation of distribution networks are defined. A well-founded functional decomposition of the tasks of the project of the automated system of quality control of the technical operation of distribution networks, namely, the phases of project initiation, planning, execution of the main works of the project, control of results and completion of the project. The main components of the processes of installation and configuration of equipment and software, monitoring and analysis of results, the main interfaces of the automated quality control system of the technical operation of distribution networks are defined. A block diagram of the economic justification of the reconstruction of the overhead power line using the database of economic costs of the previous year before the reconstruction was developed. It was concluded that the proposed stages of the preliminary comprehensive business analysis of the project of the automated quality control system of the technical operation of the energy equipment of distribution systems are the basis for its successful implementation to increase the reliability of electricity supply. The proposed stages of the preliminary comprehensive business analysis of the project of the automated quality control system of the technical operation of the energy equipment of distribution systems are the basis for its successful implementation to increase the reliability of electricity supply. A flowchart of an example of income calculations for the economic justification of the reconstruction of the PL based on the use of the databases of the previous year before the reconstruction can also be useful for this purpose.

**Keywords:** power distribution network, automated system, quality control, technical operation, business analysis.





DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-8

УДК 621.316

А. О. Панов<sup>1</sup>, аспірант

ORCID: 0000-0002-0688-1430

С. Д. Гриценко<sup>1</sup>, ст. викладач

ORCID: 0009-0005-2204-6119

С. В. Галько<sup>2</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0001-7991-0311

<sup>1</sup> Державний біотехнологічний університет<sup>2</sup> Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: panovanton1994@gmail.com, тел.: +380632134380

## РОЗРОБКА НЕЧІТКОГО АЛГОРИТМУ РЕГУЛЮВАННЯ КОЕФІЦІЕНТІВ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ ЗА ЗВОРотноЮ І НУЛЬОВОЮ ПОСЛІДОВНОСТЯМИ

*Анотація.* У цій роботі наведено результати дослідження застосування нечітких алгоритмів керування для нормалізації коефіцієнтів несиметрії напруги за зворотною і нульовою послідовностями в електромережі. Розроблено моделювання системи у нечіткій логіці, де представлено функції приладдя для термі вхідної і вихідної змінних. Представлене графічне регулювання правил вхідних змінних, де чітко видно перемикання комутації. Наведені евристичні знання аналізованої проблемної галузі логічного висновку для нормалізації коефіцієнтів несиметрії напруги по зворотній та нульовій послідовності. Показано ефективність представлених алгоритмів з урахуванням моделювання.

*Ключові слова:* якість електроенергії, коефіцієнт несиметрії напруги, нечіткість, алгоритм регулювання, зворотна та нульова послідовності.

*Постановка проблеми.* Однією з актуальних проблем трифазних електричних мереж напругою 0,4 кВ є несиметрія напруги. Несиметрія напруги виражається в нерівності між собою модулів векторів фазних напруг і кутів зсуву між ними. З теоретичних основ електротехніки відомо, що несиметричну систему напруг можна представити як геометричну суму трьох симетричних систем напруг: так званих складових прямої, зворотної та нульової послідовностей [1]. Складова прямої послідовності є шуканою, при додаванні до якої складових зворотної та нульової послідовностей виходить несиметрична система напруг. Основною причиною несиметрії напруги у сільських електричних мережах є поява складової нульової послідовності, оскільки наявність цієї складової обумовлено перебігом струму в нульовому дроті, який, своєю чергою, виникає при нерівномірній навантаженні фаз мережі – звичайному явище у сільській місцевості.



Несиметрія напруги є одним із показників, за яким оцінюють якість електричної енергії у трифазних електричних мережах напругою 0,4 кВ відповідно до ДСТУ EN 50160:2014 [2]. За цими нормами коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою послідовністю не повинен перевищувати 4%. Несиметрія напруги призводить до різкого зниження ефективності трифазних асинхронних двигунів. Оскільки асинхронні двигуни становлять найбільшу частину промислових навантажень, то несиметрію напруги слід ретельно вивчати та контролювати [3].

*Аналіз останніх досліджень.* Одним із варіантів усунення несиметрії напруг у сільських електричних мережах напругою 0,4 кВ є використання спеціальних пристроїв симетрування напруги [4]. Воно дозволяє знижувати несиметрію напруг у трифазній мережі, безпосередньо впливаючи на величину фазної напруги. Пристрій симетрування напруги включається в лінію електропередачі і коригує величину напруги і зсув фаз між ними шляхом здійснення вольтодобавки. Завдяки цьому пристрою є можливість активно впливати на несиметрію напруги пропорційно її величині. На входи А1, В1, С1 подається фазна напруга, а з виходів А2, В2, С2 знімається симетрична трифазна система напруг. Теоретично пристрій здатний усувати несиметрію напруги до 100% і може ефективно застосовуватися як для індивідуального, так і для групового поліпшення якості електроенергії за величиною несиметрії, підвищуючи таким чином рівень енергозбереження та ресурсозбереження в сільських електричних мережах в цілому.

Також одним із способів зниження несиметрії напруг є вирівнювання навантажень по фазах [5]. Технічним рішенням цього способу є запровадження додаткового міжфазного змінного опору. У роботі [6] виявлені залежності дозволяють визначитися з напрямом та порядком зміни значень опорів. При цьому стає відомим, як зміняться значення лінійних напруг, що дозволить знайти правильний напрямок для зменшення коефіцієнта несиметрії напруг по зворотній послідовності. Варіюючи даними залежностями, можна підібрати кінцеві значення міжфазних опорів, при яких значення коефіцієнта несиметрії напруг по зворотній послідовності стане в межах, що нормуються ДСТУ EN 50160:2014. У роботах [7] досліджуються залежності коефіцієнтів несиметрії напруг по зворотній [8] послідовності для високої та низької напруги від потужності силового трансформатора. У ході експерименту при зменшенні потужності трансформатора на низькій нарузі коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності збільшується, а на високій – зменшується. Причому дані залежності спостерігаються при різних потужностях джерела напруги, різниця лише в тому, що при вищій потужності



джерела залежності як для високої, так і для низької напруги починаються з менших значень коефіцієнта несиметрії напруг по зворотній послідовності.

Збільшення коефіцієнта несиметрії напруги зворотної послідовності в мережі низької напруги при зниженні потужності трансформатора можна пояснити тим, що потужність навантаження зростає щодо потужності трансформатора і запас по потужності трансформатора зменшується. Зменшення коефіцієнта несиметрії напруги зворотної послідовності в мережі напруги 10 кВ при зниженні потужності трансформатора можна пояснити тим, що потужність джерела напруги щодо потужності трансформатора збільшується і, відповідно, збільшується запас по потужності джерела живлення.

Ще одним технічним рішенням вирівнювання навантажень за фазами є введення симетруючого пристрою трансформаторного типу. Реалізується за допомогою зміни величини ємності конденсатора або індуктивності котушки. Проведені дослідження, описані у статті [7], показали, що такий симетруючий пристрій дозволяє знизити несиметрію напруги до тих значень, які нормуються ДСТУ EN 50160:2014. Відповідно, наведені способи регулювання застосовуються після того, як на підставі вимірів проведено оптимальну перекомутацію споживачів [9-11].

*Формулювання мети статті.* Метою дослідження є підвищення якості електроенергії шляхом регулювання коефіцієнтів несиметрії напруги за зворотною та нульовою послідовністю.

*Основна частина.* Згідно з ДСТУ EN 50160:2014 [2] відомо, що значення коефіцієнта несиметрії напруг по зворотній послідовності дорівнює:

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{HM}} \cdot 100,$$

де  $U_{HM}$  – номінальне значення міжфазної напруги. В Україні дорівнює  $U_{HM} = 380\text{В}$  для чотирипровідної ЛЕП;

$U_{2(1)}$  – значення напруги зворотної послідовності основної частоти трифазної системи напруг, що діє.

Чинне значення напруги зворотної послідовності знаходиться за формулою:

$$U_{2(1)} = 0,62 \cdot (U_{M \max} - U_{M \min}),$$

де  $U_{M \max} = \max(U_{AB}; U_{AC}; U_{BC})$ ;

$U_{M \min} = \min(U_{AB}; U_{AC}; U_{BC})$ .

Аналогічним методом є значення коефіцієнта несиметрії напруги за нульовою послідовністю:

$$K_{0U} = \frac{U_{0(1)}}{U_{H\Phi}} \cdot 100,$$

де  $U_{H\phi}$  – номінальне значення фазної напруги. В Україні дорівнює  $U_{HM} = 200\text{В}$  для чотирипровідної мережі;

$U_{0(1)}$  – значення напруги нульової послідовності основної частоти трифазної системи напруг.

Чинне значення напруги зворотної послідовності знаходиться за виразом:

$$U_{0(1)} = 0,62 \cdot (U_{\phi_{\max}} - U_{\phi_{\min}}),$$

де  $U_{\phi_{\max}} = \max(U_A; U_B; U_C)$ ;

$U_{\phi_{\min}} = \min(U_A; U_B; U_C)$ .

Для регулювання коефіцієнтів несиметрії напруги по зворотній та нульовій послідовності можна скористатися алгоритмом керування на основі нечіткої логіки. При цьому для моделювання системи раціонально застосувати Fuzzy Logic Toolbox, що входить до пакету MATLAB. Коефіцієнти несиметрії напруги по зворотній та нульовій послідовності "K2U" і "K0U" подаються в нечіткій формі, як це запропоновано в [11-13], а вихідним параметром є нечітка змінна: "увімкнення приладу комутації". Як терм-множини для нечітких змінних "коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності" використовується безліч  $T_k = \{ "K2Un", "K2Uh" \}$  (рис. 1).

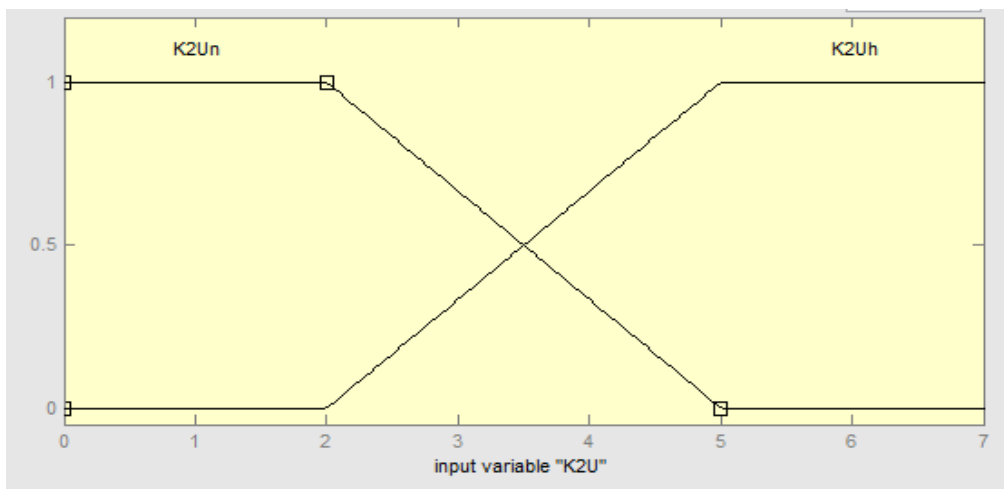


Рис. 1. Функції приладдя для термів вхідної змінної "K2U"

Так само як терм-множини для нечітких змінних: "коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою послідовністю" використовується множина  $T_k = \{ "K0Un", "K0Uh" \}$  (рис. 2).

Слід зазначити, що функції приналежності термів-множини  $T_k$  обрані відповідно до норм стандартів [2] і виглядають так:

$$\mu_{K_{2Un}} = \max \left\{ 0, \min \left\{ 1, \frac{5-k}{3} \right\} \right\}; \quad \mu_{K_{0Un}} = \max \left\{ 0, \min \left\{ 1, \frac{5-k}{3} \right\} \right\};$$
$$\mu_{K_{2Uh}} = \max \left\{ 0, \min \left\{ 1, \frac{k-2}{3} \right\} \right\}; \quad \mu_{K_{0Uh}} = \max \left\{ 0, \min \left\{ 1, \frac{k-2}{3} \right\} \right\}.$$

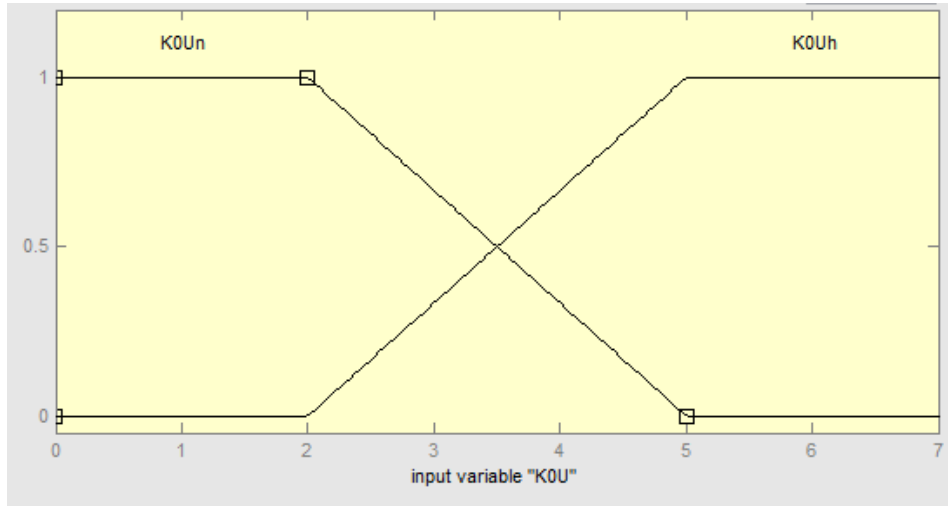


Рис. 2. Функції приладдя для термів вхідної змінної "KOU"

При цьому кожен із термів перших двох змінних оцінюються за шкалою коефіцієнта несиметрії від 0% до 5%. Для нечіткої вихідної змінної "Переключення комутації" використовується безліч  $T_o = \{\text{"Переключення комутації"}\}$  (рис. 3) і оцінюється за шкалою від 1 до 2.

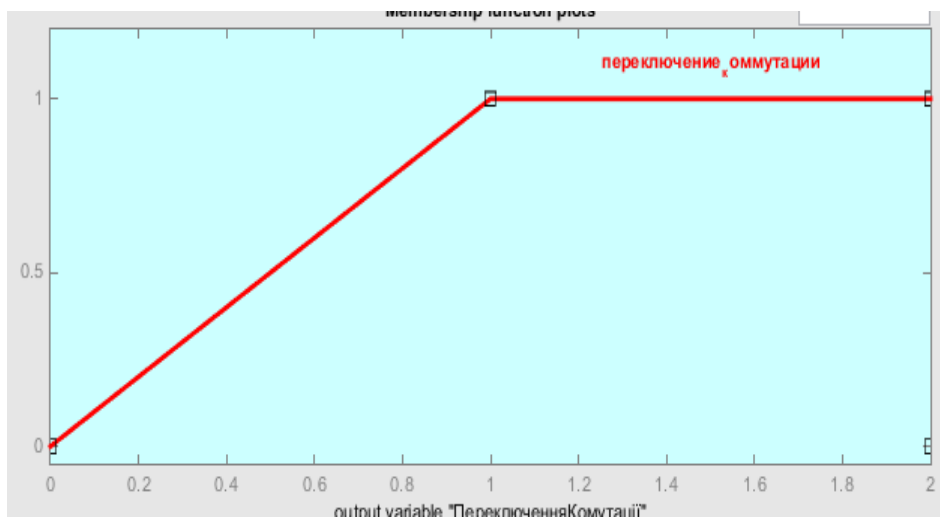


Рис. 3. Функція приладдя для термів вихідної змінної "Переключення комутації"

В електромережі можна певною мірою змінити лише ці два показники якості [14-16]. Передбачається, що трансформаторна підстанція укомплектована пристроєм РПН і можливість змінити комутацію споживача до фаз, тобто. змінити навантаження у фазах у автоматичному режимі або вручну [17].

Евристичні знання аналізованої проблемної галузі логічного висновку для нормалізації коефіцієнтів несиметрії напруги по зворотній та нульовій послідовності наведені у правилах нижче:

- 1) if (K2Un or K0Un) then "Переключення комутації";
- 2) if (K2Uh or K0Uh) then "Переключення комутації".

Після завдання правил нечіткого висновку отримуємо результат для конкретних значень вхідних змінних. Після зміни значень вхідних змінних розглядаються результати виконаних змін (рис. 4). Оскільки процес нечіткого моделювання передбачає аналіз результатів нечіткого висновку при різних значеннях вхідних змінних з метою встановлення адекватності розробленої нечіткої моделі, тому були розглянуті інші випадки. На правилі 1 представлені запроваджені значення "K2U" на 1,19 % (K2Un) тобто зниження, і навіть значення "K0U" на 3,6 % (K0Uh) тобто. підвищення, то цьому випадку розроблена система нечіткого висновку рекомендує здійснити "Перемикання комутації". Так само, на правилі 2 видно, що коли значення K2U має низький коефіцієнт, а K0U має високий коефіцієнт несиметрії, то перемикання комутації не обов'язково.

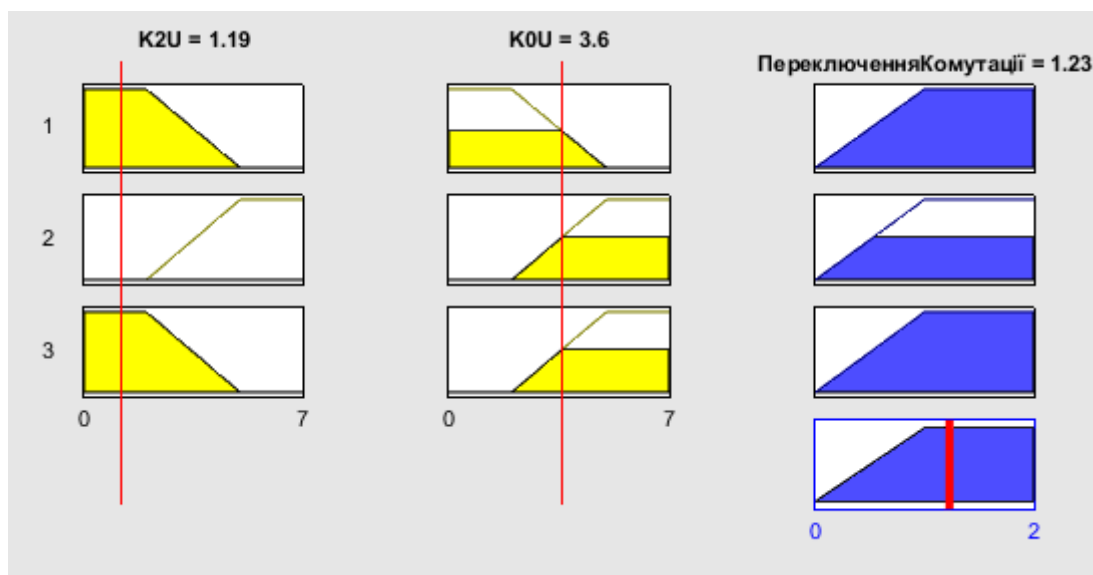


Рис. 4. Переключення комутації

Тобто при зміні коефіцієнта несиметрії напруги зворотної або нульової послідовності здійснюватиметься комутація [18]. Несиметрія як по зворотній, так і по нульовій послідовності вирішується однаково – перемиканням комутації споживачів між фазами.

Графічний інтерфейс перегляду поверхні нечіткого виведення (рис. 5). Який показує, що при зміні коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній і нульовій послідовності буде здійснюватись комутація [19, 20]. Несиметрія по зворотній, так само і по нульовій послідовності вирішується однаково, тобто, за допомогою трансформаторної підстанції, яка укомплектована пристроєм РПН, який має змогу зміни комутації споживача до фаз, тобто перемиканням комутації споживачів між фазами.



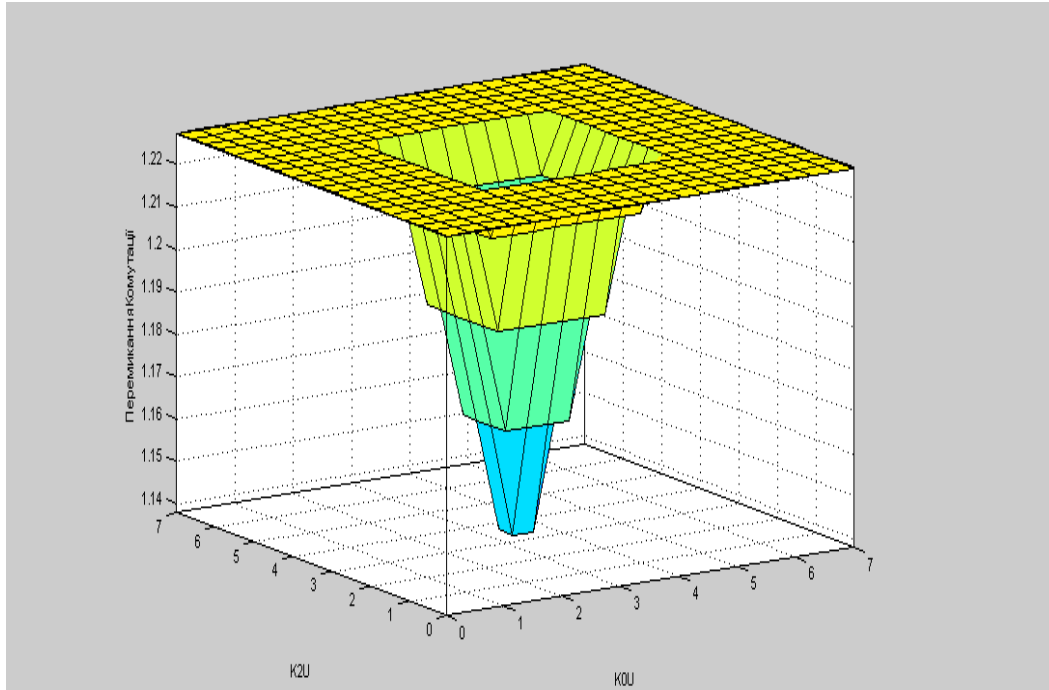


Рис. 5. Графічний інтерфейс перегляду поверхні нечіткого виведення для "Переключення комутації"

*Висновки.* Застосування алгоритму управління на основі нечіткої логіки дає можливість регулювати коефіцієнти несиметрії напруги за зворотною та нульовою послідовністю. Дає можливість оперувати нечіткими вхідними даними, і навіть можливість проведення якісних оцінок як вхідних даних, і вихідних результатів. У той же час дає можливість запобігання появі критичних режимів по несиметрії. Апаратна реалізація даного алгоритму може бути впроваджена у програмовану логічну інтегральну схему, що буде розглянуто у наступних роботах.

#### *Список використаних джерел*

1. Теоретичні основи електротехніки. Частина 1: конспект лекцій / В. Г. Мадьяров [та ін.]. Вінниця: ВНТУ, 2018. 154 с.
2. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристика напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. На заміну ДСТУ EN 20160:2010. [Чинний від 2014-05-20]. Вид. офіц. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 32 с.
3. Електропостачання: навч. посібник / Ф. П. Шкрабець [та ін.] Дніпро: НГУ, 2015. 540 с.
4. Мірошник О. О. Шляхи вирішення проблеми несиметрії напруги в сільських електромережах. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2011. Вип. 11, т. 3. С. 30–34.
5. Дослідження регулювання коефіцієнтів несиметрії напруги зворотної і нульової послідовності за допомогою нечіткого алгоритму



управління. *Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі* : матеріали XVI міжнар. форуму молоді (м. Харків, 25 берез. 2020 р.). Харків, 2020. С. 148.

6. Дослідження регулювання коефіцієнтів несиметрії напруги нульової та зворотної послідовностей. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – 2023* : IX міжнар. науково-практ. конф. молодих уч., аспірантів і студентів (м. Київ, 19 квіт. 2023 р.). Київ, 2023. С. 5–6.

7. Зорін В. В. Оцінка взаємовпливу статичних характеристик вузла навантажень і оптимальних розв'язків математичних моделей зменшення несиметрії та відхилень напруги. *Електроенергетичні системи та установки*. 2009. № 12. С. 35–37.

8. Регулювання коефіцієнтів несиметрії напруги нульової та зворотної послідовності в електричних мережах 0,4 кВ. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – 2020* : VII міжнар. науково-практ. конф. молодих уч., аспірантів і студентів (м. Київ, 22 квіт. 2020 р.). Київ, 2020. С. 16–17.

9. Нечітка оцінка несиметричних режимів роботи сільських мереж 0, 38/0, 22 кВ / С. О. Тимчук та ін. *Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК*. 2014. Т. 1, № 1. С. 71–73.

10. Miroshnyk O., Tymchuk S. Uniform distribution of loads in the electric system 0.38/0.22 kV using genetic algorithms. *Technical Electrodynamics/Tekhnichna Elektrodyamika*. 2013. Vol. 1(4). P. 67.

11. Tymchuk S., Miroshnyk O. Assess electricity quality by means of fuzzy generalized index. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2015. Vol. 3, № 4(75). P. 26–31.

12. Pazyi V., Miroshnyk O., Moroz O., Trunova I., Savchenko O, Halko S. Analysis of technical condition diagnostics problems and monitoring of distribution electrical network modes from smart grid platform position. *IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2020. e9250080. P. 57-60. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250080>.

13. S. Halko O. Suprun O. Miroshnyk O. Influence of temperature on energy performance indicators of hybrid solar panels using cylindrical cogeneration photovoltaic modules. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week*. 2021. e21259624. P. 132–136. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569975>.

14. A. Szafraniec, S. Halko, O. Miroshnyk, R. Figura, A. Zharkov, O. Vershkov. Magnetic field parameters mathematical modelling of wind electric heater. *Przegląd elektrotechniczny*. 2021. Vol. 97(8). P. 36-41. <https://doi.org/10.15199/48.2021.08.07>.

15. Halko S., Halko K., Suprun O., Qawaqzeh M., Miroshnyk O. Mathematical modelling of cogeneration photoelectric module parameters



for hybrid solar charging power stations of electric vehicles. *2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2022. e 9916397. P. 1-6. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916397>.

16. Bazaluk O., Postnikova M., Halko S., Kvitka S., Mikhailov E., Kovalov O., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V. Energy Saving in Electromechanical Grain Cleaning Systems. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12(3). P. 1418. <https://doi.org/10.3390/app12031418>.

17. Al-Issa H. A., Qawaqzeh M., Kurashkin S., Halko S., Kvitka S., Vovk O., Miroshnyk O. Monitoring of power transformers using thermal model and permission time of overload. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2022. Vol. 12(3). P. 2323–2334. <http://doi.org/10.11591/ijece.v12i3.pp2323-2334>.

18. Al-Quraan T. M. A., Vovk O., Halko S., Kvitka S., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V., Zayed N. M., Islam K. M. A. Energy-Saving Load Control of Induction Electric Motors for Drives of Working Machines to Reduce Thermal Wear. *Inventions*. 2022. Vol. 7. P. 92. <https://doi.org/10.3390/inventions7040092>.

19. Bazaluk O., Postnikova M., Halko S., Mikhailov E., Kovalov O., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V. Improving Energy Efficiency of Grain Cleaning Technology. *Appl. Sci*. 2022. Vol. 12. P. 5190. <https://doi.org/10.3390/app12105190>.

20. Karaiev O., Bondarenko L., Halko S., Miroshnyk O., Vershkov O., Karaieva T., Shchur T., Findura P., Prístavka M. Mathematical modelling of the fruit-stone culture seeds calibration process using flat sieves. *Acta Technologica Agriculturae*. 2021. Vol. 24(3). P. 119–123. <https://doi.org/10.2478/ata-2021-0020>.

*Стаття надійшла до редакції 2.04.2024 р.*

**A. Panov<sup>1</sup>, S. Hrytsenko<sup>1</sup>, S. Halko<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>State Biotechnological University,**

**<sup>3</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University**

### **DEVELOPMENT OF A FUZZY ALGORITHM FOR REGULATING COEFFICIENTS OF VOLTAGE UNSYMMETRY BY REVERSE AND ZERO SEQUENCES**

#### ***Summary***

The article is formulated the results of the study of the use of fuzzy control algorithms for the normalization of voltage asymmetry coefficients for reverse and zero sequences in the power grid. The problem of three-phase electrical networks with a voltage of 0.4 kV is presented. It was found that the asymmetry of the voltage is expressed in the inequality between the modules of the phase voltage vectors and the shift angles between them. It was found in the problem that voltage asymmetry leads to a sharp decrease in the efficiency of three-phase asynchronous motors. Asynchronous



motors, which constitute the largest part of the industrial loads of the system, were studied. An analysis of the latest research was carried out. The option of eliminating voltage asymmetry in rural electric networks due to the use of special devices for symmetrizing the power line is considered. Considered another option to eliminate voltage asymmetry due to equalization of the load by phases. A technical solution to this method was found in the introduction of an additional interphase variable resistance. The last considered technical solution was equalization of the load by phases with the introduction of a balancing device of the transformer type. The purpose of the study was formed to improve the quality of electricity by adjusting the voltage asymmetry coefficients in reverse and zero sequence. Modeling of the system in fuzzy logic is developed, where the input and output variable terms are presented. The graphical regulation of the rules of the input variables is presented, where the switching of the commutation is clearly visible. Heuristic knowledge of the analyzed problem area of the logical conclusion for the normalization of the voltage asymmetry coefficients in the reverse and zero sequence is presented. A fuzzy output surface view GUI for switching is demonstrated. The effectiveness of the presented algorithms is shown, taking into account modeling.

**Key words:** power quality, voltage asymmetry coefficient, uncertainty, regulation algorithm, reverse and zero sequence.

**DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-9**

УДК 621.373.8:[631.171+631.52]

В. Т. Діордієв<sup>1</sup>, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0001-8552-8215

О. Ю. Вовк<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-0154-6972

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

e-mail: Volodymyr.diordiiev@tsatu.edu.ua, тел.+380677645721

## ЛАЗЕРНА ПЕРЕДПОСІВНА ОБРОБКА НАСІННЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

*Анотація.* У роботі розглянуто підвищення врожайності овочевих культур за допомогою передпосівної стимуляції, а саме – імпульсного лазерного опромінення. Запропонована система для технічної реалізації вказаного впливу. Розроблена структурно-логічна схема та досліджені її статичні і динамічні властивості із застосуванням додатку Mathcad. В результаті дослідження встановлено, що зі збільшенням частоти має місце випереджальне перетинання ЛАЧХ (А1 та А2) рівня 0 дБ відносно перетинання ЛФЧХ (Ф1 та Ф2) рівня -180 град., що свідчить про технічну стійкість обох контурів із запасом відповідно: по амплітуді близько 22 і 18 дБ, а по фазі - приблизно 170 і 20 град., що дозволяє забезпечити цілком стабільну роботу даної системи.

*Ключові слова:* волоконно-оптичний перетворювач, імпульсна передпосівна стимуляція насіння, обюртатор, структурно-алгоритмічна схема, передатна функція, діаграма Боде.

*Постановка проблеми.* Одним з найважливіших елементів продовольчої безпеки України є забезпеченням населення овочевою продукцією, тому для збільшення її кількості і покращення її якості необхідно вжити цілий комплекс заходів [1-3]. Першою ланкою у цій справі, яка багато в чому визначає ефективність усього виробничого циклу, є забезпечення якісним посівним матеріалом та підвищення його посівних якостей, для чого зокрема широко застосовуються різноманітні методи передпосівної стимуляції, при чому одним з найбільш придатних для застосування є імпульсне передпосівне опромінення лазером [4-6]. При цьому необхідно вирішити питання про основні принципи забезпечення взаємного переміщення променя й матеріалу, що обробляється.

*Аналіз останніх досліджень.* Як відомо, найбільше поширення одержали різні конструкції сканування променю (як правило, за допомогою рухливих дзеркал) по площині, на якій знаходиться насіння, що обробляється [7-9]. При цьому відомі конструкції як з переміщенням насіння [10-12], так і без нього [13-15]. Як правило,



застосовується перший варіант, оскільки при другому пристрою мають занадто малу продуктивність і незручні в роботі. Однак усім пристроям із застосуванням сканування властива складність конструкції (і, як наслідок, низька надійність і висока вартість), що повинна забезпечити одночасне переміщення променя лазера в двох напрямках. Тому більш доцільним буде використання конструкцій типу волоконно-оптичного перетворювача (ВОП) «пляма-лінія» із перериваючим пристроєм типу обюртатора з постійною швидкістю обертання, при цьому відносно переміщення ВОП і оброблюваного матеріалу може здійснюватися в одному напрямку, що значно спрощує конструкцію і підвищує її надійність.

На основі цього рішення запропонована конструкція лазерної приставки з кроковим двигуном, що переміщає лазерний випромінювач. Застосування крокового двигуна обґрунтоване тим, що ці пристрої мають цілий ряд переваг, а саме [16-18]: кут повороту ротора визначається числом імпульсів, що подані на двигун; двигун забезпечує повний момент у режимі зупинки (якщо обмотки заживлені); прецизійне позиціонування та повторюваність. Гарні крокові двигуни мають точність 3-5% від величини кроку, причому ця помилка не накопичується від кроку до кроку; можливість швидкого старту/зупинки/реверсування; висока надійність, пов'язана з відсутністю щіток, а термін служби крокового двигуна фактично визначається терміном служби підшипників; однозначна залежність положення від вхідних імпульсів забезпечує позиціонування без зворотного зв'язку; можливість одержання дуже низьких швидкостей обертання для навантаження, приєднаного безпосередньо до валу двигуна без проміжного редуктора; швидкість у досить великому діапазоні пропорційна частоті вхідних імпульсів.

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* Версія програми, що пропонується, дозволяє здійснювати розгін і гальмування двигуна з постійним прискоренням, а також обертання на постійній швидкості як у повно кроковому, так і у напівкроковому режимах. Ця програма містить весь необхідний набір функцій і може бути використана як базова для написання спеціалізованих програм.

*Основна частина.* Головною задачею програми є формування імпульсних послідовностей для 4-х обмоток двигуна. Оскільки для цих послідовностей тимчасові співвідношення є критичними, формування виконується в оброблювачі переривання таймера. У якості основної тимчасової бази обраний інтервал 25 мкс, що і формується таймером. З такою дискретністю можуть формуватися тимчасові послідовності фаз, такий же період має і ШИМ стабілізації струму у фазах двигуна. Для формування періоду повторення кроків використовується програмний 16-розрядний таймер STCNT [19]. На



відміну від таймера 0, його завантажувальна величина не є константою, тому що саме вона визначає швидкість обертання двигуна. Таким чином, переключення фаз відбувається тільки при переповненні програмного таймера. Послідовність чергування фаз задана таблично. У пам'яті програм мікроконтролера є три різних таблиці: для повнокрокового режиму без перекриття фаз, однокрокового з перекриттям і для напівкрокового режиму.

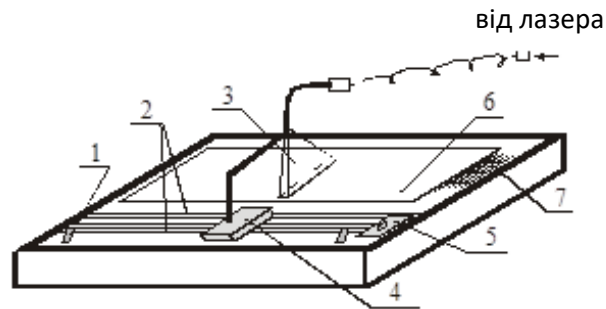


Рис.1.Лазерна приставка

На рис.1 позначено: 1-кінцевий вимикач; 2-напрвляючі; 3-волоконно-оптичний перетворювач; рухлива платформа; 5-кроковий двигун; 6-контейнер для насіння; 7-пульт управління.

Управління кроковим двигуном здійснюється за допомогою пульта керування (рис.1), схема і алгоритм функціонування якого наведено у [20-22]. Лазерний промінь від генератора за інтенсивністю та параметрами імпульсів формується відповідно спеціальними оптичними фільтрами та обюртатором, а потім за допомогою гнучкого волоконно-оптичного кабелю подається на рупорний оптичний перетворювач “п’ятно-лінія”, який випромінює лазерний промінь безпосередньо на насіння. При цьому відносне переміщення перетворювача та матеріалу, що обробляється, може здійснюватись у одному напрямку, що значно спрощує конструкцію та підвищує її надійність.

З метою дослідження статичних і динамічних властивостей системи, розроблена структурно-алгоритмічна схема, представлена на рис.2. Тут передатними функціями  $W_1(P)$ - $W_4(P)$  позначені відповідно: блок імпульсного перетворення, кроковий двигун, ремінний привід рухливої платформи з закріпленим на ній рупорним випромінювачем. Функції  $W_5(P)$ - $W_7(P)$  описують роботу вимірювальних перетворювачів положення рупорного випромінювача, числа проходів і швидкості його переміщення. Також ланками позначені:  $W_8(P)$  – обюртатор,  $W_9(P)$  – світловід з випромінювачем,  $W_{10}(P)$  і  $W_{11}(P)$  – вимірювальний перетворювач і регулятор інтенсивності випромінювання.

Схема на рис.2 має два основних контури, що здійснюють керування відповідно переміщенням рупорного оптичного

випромінювача і формуванням інтенсивності і періодичності лазерного випромінювання. Позначивши дані контури відповідно  $W_{e1}(P)$  і  $W_{e2}(P)$ , а також використовуючи основні правила перетворення структурно-алгоритмічних схем [23-25], одержимо:

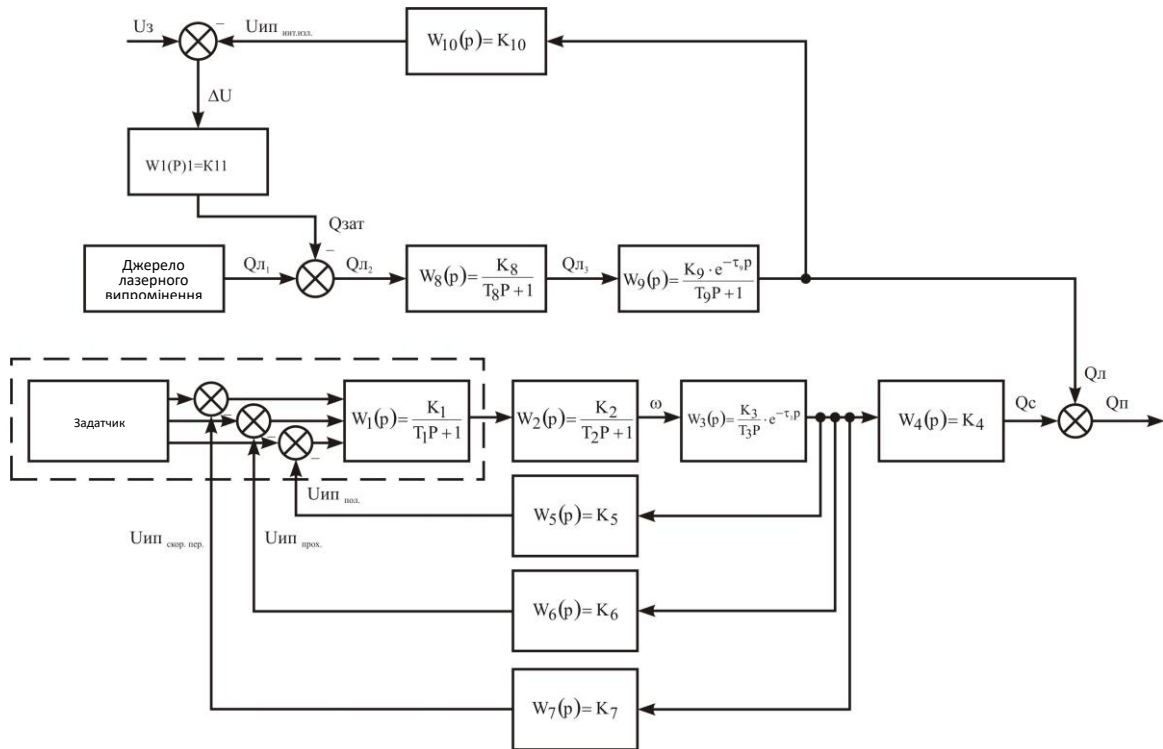


Рис.2. Структурно-алгоритмічна схема лазерної приставки

$$W_{e1}(P) = \frac{W_1(P) \cdot W_2(P) \cdot W_3(P) \cdot W_4(P)}{1 + W_1(P) \cdot W_2(P) \cdot W_3(P) \cdot W_4(P) \cdot [W_5(P) + W_{61}(P) + W_7(P)]} ; \quad (1)$$

$$W_{e2}(P) = \frac{W_{11}(P) \cdot W_8(P) \cdot W_9(P)}{1 + W_{11}(P) \cdot W_8(P) \cdot W_9(P) \cdot W_{10}(P)} . \quad (2)$$

Апроксимація елементів системи виконується з урахуванням конструктивних параметрів лазерної приставки, статичних і динамічних властивостей ланок у координатах “вихід-вхід”, приклад чого показано у табл.1.

Таблиця 1

Апроксимація елементів системи управління лазерною приставкою

Елемент системи	Передатна функція	Розрахунок параметрів
1.Блок управління	$W_1(P) = \frac{K_1}{T_1 p + 1}$ $W_1(P) = \frac{20}{0,001 p + 1}$	$K_1 = \frac{Nu}{\Delta U} = \frac{40}{2} = 20 \frac{i}{B}$ $T_1 = 0,001 c$



2.Кроковий двигун	$W_2(P) = \frac{K_2}{T_2 p + 1}$	$K_2 = \frac{\varpi}{Nu} = \frac{2,5}{40} = 0,625 \frac{c^{-1}}{i}$
і т.д.	$W_2(P) = \frac{0,0625}{0,015 p + 1}$	$T_2 = 0,015 c$

Підстановкою чисельних значень у (1) і (2) одержимо вирази передатних функцій контурів управління:

$$W_{e1}(P) = \frac{1320,39P^2 - 44,013P + 70,421}{0,0001P^5 + 0,108P^4 + 6,754P^3 + 252,681P^2 - 8,055P + 13,464}; \quad (3)$$

$$W_{e2}(P) = \frac{0,000002P^2 - 0,001P + 0,24}{0,000000002P^4 + 0,00000P^3 + 0,00092P^2 + 0,114P + 19,2}. \quad (4)$$

Для аналізу технічної стійкості системи визначаємо корені поліномів відповідно чисельників і знаменників рівнянь (3) і (4), використовуючи для цього комп'ютерне середовище додатку Mathcad.

Для одержання інформації про стійкість даної системи, доцільно побудувати сполучені логарифмічні амплітудо- і фазочастотні характеристики (ЛАЧХ і ЛФЧХ) контурів управління у вигляді діаграми Боде, що дозволяє визначити “технічну стійкість” як лінійних, так і імпульсних систем. Відповідні характеристики на діаграмі Боде будуються по асимптотичних вираженнях логарифмічних амплітудних і фазових характеристик, точки зламу яких визначаються логарифмом частот сполучення, для одержання яких використовуються знайдені вище корені відповідних поліномів і представлених у виді відношення дрібно-раціональних функцій

$$W_i(P) = K \frac{(P - \alpha_1)(P - \alpha_2) \dots (P - \alpha_n)}{(P - j_1)(P - j_1) \dots (P - j_n)}, \quad (5)$$

де  $K$  – коефіцієнт передачі контуру, що визначається через приведення до одиниці вільних членів поліномів, тобто  $K = \frac{1/b_m}{1/a_n}$ ;

$\alpha_n, j_n$  – корені поліномів відповідно чисельника і знаменника рівняння виду (5).

Записавши рівняння (3) і (4) частотному виді і виражаючи їхні модулі в децибелах, беручи  $20 \lg W(j\omega)$ , а також скоротивши ідентичні частоти чисельника і знаменника, одержуємо рівняння для побудови діаграми Боде.

$$A_1 = 20 \lg[W(j\omega)] = 14,70 - 20 \lg 1,016 - 40 \lg 32,032; \quad (6)$$

$$A_2 = 20 \lg[W(j\omega)] = 38,08 + 40 \lg 250 - 20 \lg 1,057 - 20 \lg 352,731 - 40 \lg 38,725. \quad (7)$$

Узявши логарифми від коренів поліномів і ранжуючи отримані значення частот сполучення, запишемо:

$$\text{для рівняння (6)} \quad \omega_{11} = 1,51; \quad \omega_{12} = 3,01;$$

для рівняння (7)  $\omega_{21}=1,51$ ;  $\omega_{22}=2,4$ ;  $\omega_{23}=2,55$ ,  $\omega_{24}=3,02$ .

При побудові діаграми Боде (рис.3) для частот сполучення нахил ЛАЧХ відповідає:

$$\pm n_i 20 \text{ дБ} = \lg \omega^{\pm n_i}$$

а зміна фази, що відкладається в градусах,

$$\pm n 20 \text{ дБ} = \pm n 90^\circ$$

де  $n$  - коефіцієнт, що залежить від виду коренів поліномів.

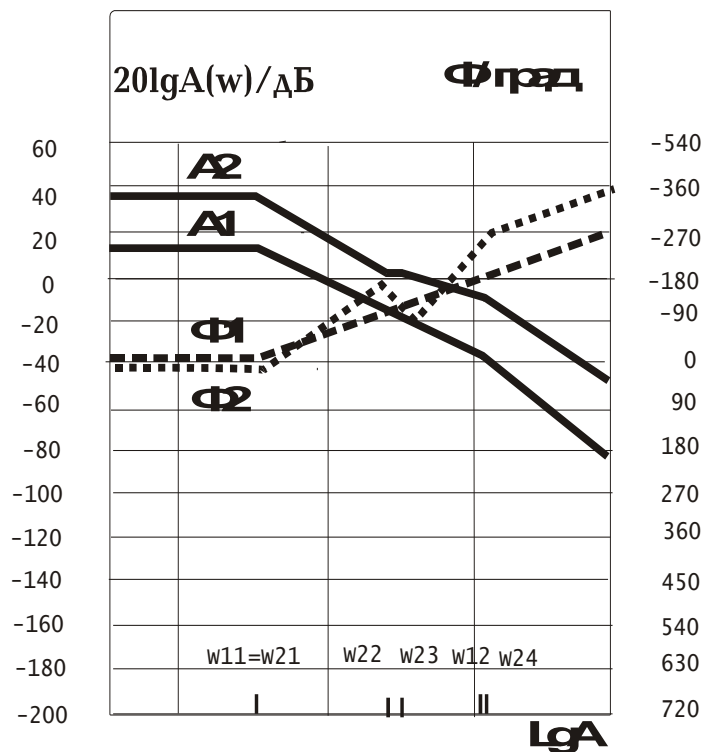


Рис.3. Діаграма Боде

**Висновки.** З рис.3 видно, що зі збільшенням частоти має місце випереджальне перетинання ЛАЧХ (A1 та A2) рівня 0 дБ відносно перетинання ЛФЧХ (Ф1 та Ф2) рівня -180 град., що свідчить про технічну стійкість обох контурів із запасом відповідно: по амплітуді близько 22 і 18 дБ, а по фазі – приблизно 170 і 20 град., що дозволяє забезпечити цілком стабільну роботу даної системи.

*Список використаних джерел*

1. Сєвідова І. О., Лещенко Л. О. Стан, проблеми та перспективи розвитку овочівництва в Україні. *Інвестиції: практика та досвід.* 2017. № 12. С. 28-33.
2. Бойко Л. О. Сучасні тенденції розвитку овочевої галузі в умовах євроінтеграції України. *Агросвіт.* 2020. № 6. С. 69-76. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2020.6.69>.



3. Лещенко Л. О., Севідов В. П. Сучасний стан та тенденції розвитку овочівництва в Україні. *Вісник ХНАУ ім. В.В. Докучаєва*. 2015. Вип. 3. С. 317–324.
4. Ahmed O. Alukedi, Ahmed A. Almarie, M. A. Alalousi, S. S. Farhan, Ali F. Almehemdi. Effect of laser exposure as pre sowing seed priming in three flax cultivars. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2021. Vol. 22(11&12). P. 43-52.
5. Червінський Л. С. Перспективи застосування електротехнологій для підвищення урожайності та якості рослинної продукції. Collection of scientific papers «SCIENTIA». *Modernization of science and its influence on global processes*. 2023. Vol. 3. P. 87-90.
6. Urva Hina Shafique, Yasir Jamil, Zia ul Haq, Tamveel Mujahid, Aman Ullah Khan, Munawar Iqbal, Mazhar Abbas. Low power continuous wave-laser seed irradiation effect on *Moringa oleifera* germination, seedling growth and biochemical attributes. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2017. Vol. 170. P. 314-323, <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.04.001>.
7. P. Nayeri, F. Yang, A. Z. Elsherbeni, Beam-Scanning Reflectarray Antennas: A technical overview and state of the art. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. 2015. Vol. 57(4). P. 32-47. <https://doi.org/10.1109/MAP.2015.2453883>.
8. Sharif Azadeh S., Mak J. C. C., Chen H. [et al.]. Microcantilever-integrated photonic circuits for broadband laser beam scanning. *Nat Commun*. 2023. Vol. 14. P. 2641. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38260-8>.
9. Jin Xiao, Xiaoguang Hu, Weixiong Lu, Jixiao Ma, Xiao Guo. A new three-dimensional laser scanner design and its performance analysis. *Optik*. 2015. Vol. 126(7–8). P. 701-707. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.02.007>.
10. Klimek-Kopyra A., Neugschwandtner R. W., Ślizowska A., Kot D., Dobrowolski J. W., Pilch Z., Dacewicz E. Pre-Sowing Laser Light Stimulation Increases Yield and Protein and Crude Fat Contents in Soybean. *Agriculture*. 2022. Vol. 12. P. 1510. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101510>.
11. J. A. Dominguez Chavez, A. Michtchenko, A. V. Budagovskii. Biostimulation of the growth of wheat seeds produced by modulated pulsed diode lasers radiation. *11th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*. Ciudad del Carmen, Mexico, 2014. P. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICEEE.2014.6978305>.
12. Krawiec Marcela, Dziwulska-Hunek Agata, Kornarzyński Krzysztof. The Use of Physical Factors for Seed Quality Improvement of Horticultural Plants. *Journal of Horticultural Research*. 2018. Vol. 26(2). P. 81-94. <https://doi.org/10.2478/johr-2018-0019>.



13. Agnieszka Klimek-Kopyra, Jan Wincenty Dobrowolski, Tomasz Czech, Reinhard W. Neugschwandtner, Florian Gambuś, Dominika Kot. The use of laser biotechnology in agri-environment as a significant agronomical advance increasing crop yield and quality. *Advances in Agronomy*. 2021. Vol. 170, ch. 1. P. 1-33. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.06.001>.

14. Abd El-Rahman Abd El-Raouf Ahmed, Helmy El-Sayed Hasan, Ahmed El-Raie Emam Suliman, Khalid Ali Maher. Effect of laser irradiation and Rhizobium on growth parameters of clover. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*. 2023. Vol. 13(1). P. 28-43.

15. Rashida Perveen, Yasir Jamil, Arwa Abdulkreem AL-Huqail, Ibtisam Mohammed Alsudays, Suliman Mohammed Suliman Alghanem, Qasim Ali, Farah Saeed, Muhammad Azeem, Muhammad Rizwan, Sami Asir Al-Robai. Effects of pulsed Nd:YAG laser kernel irradiation on maize (*Zea mays* L.): Insights into germination, gas exchange, photosynthetic pigments, and morphological modifications. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2024. Vol. 253. e 112876. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2024.112876>.

16. Austin Hughes, Bill Drury. Electric Motors and Drives: Fundamentals. *Types and Applications*. 2019. Vol. 3. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03226-3>.

17. Косяк І. В., Цубін О. А. Результати дослідження застосування мікрокрокового режиму при керуванні кроковим двигуном. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2022. Вип. 24(1). С. 66-73. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2022.24.1.262939>.

18. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Безменнікова Л. М., Квітка О. С. Методи управління та апаратна реалізація сучасних перетворювачів частоти. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Вип. 13, т. 2. С. 164-171.

19. F. Lonsing et al. Unlocking the Power of Formal Hardware Verification with CoSA and Symbolic QED. *2019 IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD)*. Westminster, CO, USA, 2019. P. 1-8. <https://doi.org/10.1109/ICCAD45719.2019.8942096>.

20. Данилейко О. К., Кузьменко А. С., Коломіц Г. В., Коломіц О. К. Розробка програмних та апаратних засобів для керування кроковими двигунами. *Вісник Криворізького національного університету*. 2017. Вип. 44. С. 177-182.

21. Кандяк Н. М., Коломієць А. Б., Котовський О. О. Засоби керування кроковим двигуном та вимірювання зусиль під час дослідження процесу згинання аркушевого матеріалу. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 7 (38), ч.1. С.37-44. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).1.37-44](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.37-44)





22. Lyshuk V., Yevsiuk M., Moroz S., Khvyshchun M., Babula I. Microcontroller control of hybrid stepper motors. *Computer-integrated technologies: education, science, production*. 2021. Vol. 44. P. 30-36. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-44-05>.

23. Зеленський К. Х., Городецька О. К. Теорія автоматичного керування. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 277 с.

24. Ладанюк А. П., Архангельська К. С., Власенко Л. О. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами. Київ: НУХТ, 2014. 274 с.

25. Щербак Я. В., Івакіна К. Я. Основи теорії автоматичного регулювання електромеханотронних систем / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 222 с.

*Стаття надійшла до редакції 08.04.2024 р.*

**V. Diordiev<sup>1</sup>, O. Vovk<sup>1</sup>,**

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

## **LASER PRE-SOWING TREATMENT OF VEGETABLE SEEDS**

### *Summary*

The yield level in crop production largely depends on the provision of high-quality seed material. If necessary, its sowing qualities are improved, for which, in particular, various methods of pre-sowing stimulation are widely used, and one of the most suitable for use is pulsed pre-sowing laser irradiation. Therefore, now there is a problem of finding both the most effective technological modes of such irradiation, as well as designs of devices for irradiation for their effective use in the conditions of relatively small farms in the vegetable sector. Therefore, in order to improve the situation with providing the population of Ukraine with vegetable products, which is one of the most important elements of the country's food security, it is necessary to take a whole set of measures. The first link in this matter, which largely determines the efficiency of the entire production cycle, is the provision of high-quality seed material and the improvement of its seed quality, for which, in particular, various methods of pre-sowing stimulation are widely used. However, the problem arises of finding both the most effective technological modes of such irradiation and the designs of devices for irradiation that would be the most suitable for practical use in the conditions of relatively small farms, which are mainly engaged in the production of vegetables. The use of existing powerful universal laser units only for the purpose of pre-sowing stimulation of seeds in relatively small farms in terms of production volume is economically impractical in most cases, therefore the authors have made a justification for the design of a laser attachment for pulsed pre-sowing stimulation of vegetable seeds for small farms. The set-top box includes a fiber-optic converter connected to a moving platform that moves along special guides and is driven through a belt drive by a stepper motor.

**Keywords:** fiber-optic converter, pulsed pre-sowing stimulation of seeds, obturator, structural-algorithmic diagram, transfer function, Bode diagram.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-10

УДК 621.315.175

О. А. Савченко <sup>1</sup> , канд. техн. наук	ORCID 0000-0002-6401-0852
О. О. Мірошник <sup>1</sup> , д-р техн. наук	ORCID 0000-0002-6144-7573
О. А. Козловський <sup>2</sup> , канд. техн. наук	ORCID 0000-0001-6885-5994
І. М. Трунова <sup>1</sup> , канд. техн. наук	ORCID: 0000-0001-7510-4291
А. І. Середа <sup>1</sup> , канд. техн. наук	ORCID: 0000-0002-7670-6822
С. М. Дудніков <sup>1</sup> , канд. техн. наук	ORCID: 0000-0002-0337-0707
В. Г. Пазій <sup>1</sup> , ст. викладач	ORCID: 0000-0002-7336-0854
С. А. Попадченко <sup>1</sup> , ст. викладач	ORCID: 0000-0003-2537-9769
Д. А. Єрмак <sup>1</sup> , аспірант	
А. С. Волобуєв <sup>1</sup> , аспірант	

<sup>1</sup> Державний біотехнологічний університет<sup>2</sup> Центральноукраїнський національний технічний університет

e-mail: savoa@btu.kharkov.ua, тел: +380957149124

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ТА СТІЙКОСТІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ПЛАВЛЕННЯ ОЖЕЛЕДІ НА ГРУПІ ВЗАЄМОПОВ'ЯЗАНИХ ПЛ 10 КВ

*Анотація.* В роботі проведено аналіз чутливості та стійкості рішень, що приймаються з використанням техніко-економічної моделі схеми плавлення ожеледі на групі взаємопов'язаних ПЛ 10 кВ, до зміни вихідних даних. У якості техніко-економічної моделі використано однокритеріальну модель на основі приведених витрат. У якості вихідних параметрів, вплив яких вивчався, використовувались такі показники як кількість ПЛ, що відходять від районної підстанції, довжина магістралі ПЛ, питоме навантаження ПЛ, питомі збитки від недовідпуску електричної енергії. Показано, що приведені витрати на плавлення є найчутливішими до зміни кількості ПЛ, на яких проектується плавлення, причому цей параметр виводить показник приведених витрат із зони умовної стійкості.

*Ключові слова:* повітряна лінія електропередавання, ожеледно-вітрові навантаження, плавлення ожеледі, техніко-економічна модель, чутливість, стійкість.

*Постановка проблеми.* Сучасну промисловість та сільське господарство неможливо уявити без високого рівня електрифікації та автоматизації виробничих процесів. Широке застосування електроенергії у виробничих процесах передбачає високу надійність систем електропостачання. На даний час цей показник є недостатньо високим. Найненадійнішими елементами в системі електропостачання є повітряні лінії електропередавання (ПЛ) 6–10 кВ сільських

---

© Савченко О. А., Мірошник О. О., Козловський О. А., Трунова І. М., Середа А. І., Дудніков С. М., Пазій В. Г., Попадченко С. А., Єрмак Д. А., Волобуєв А. С., 2024



розподільних електричних мереж, причому близько половини всього часу перерв електроживлення споживачів викликано механічними пошкодженнями проводів та опор цих ПЛ під дією відкладень ожеледі в поєднанні з вітром [1, 2]. Це приводить до необхідності відшкодування енергопостачальними компаніями значних збитків, які наносяться споживачам в результаті перерв електроживлення, а також до невиробничих витрат коштів на відновлення ПЛ, що знижує ефективність функціонування розподільних електричних мереж [3-6]. Як показують дослідження, найбільш економічним шляхом підвищення надійності повітряних розподільних мереж в умовах дії інтенсивної ожеледі є створення систем її плавлення на основі електротеплового способу [7-9]. Обґрунтування схем та вибір засобів плавлення ожеледі на ПЛ повинні проводитись з використанням комплексного аналізу, який передбачає створення та дослідження відповідної техніко-економічної моделі.

*Аналіз останніх досліджень.* В результаті аналізу наукових робіт, встановлено, що оцінка економічної ефективності схем плавлення ожеледі на ПЛ найчастіше проводиться з використанням однокритеріальних моделей на основі критерію приведених витрат [7, 10]. Найчастіше розглядаються лише ті складові витрат, які змінюються при впровадженні плавлення. Іноді підхід передбачає приведення всіх складових витрат до 1 км довжини ПЛ. Даний підхід вносить суттєву похибку в розрахунки, оскільки такі складові, як капіталовкладення в систему моніторингу за утворенням ожеледі, обхідну систему шин на РТП, комутаційні апарати створення штучного к.з. на лініях не залежить від довжини ПЛ, на яких передбачається плавлення ожеледі [11-13].

Аналіз існуючих техніко-економічних моделей, які використовуються при проектуванні схем плавлення ожеледі на ПЛ 6–10 кВ сільських розподільних мереж, показує, що вони є занадто спрощеними. Так, наприклад, вони не дозволяють враховувати залежність збитків споживачів в результаті недоотримання електроенергії під час проведення плавлень і витрат електричної енергії на плавлення від основного параметру режиму плавлення ожеледі – питомої потужності плавлення відкладень. При проектуванні це приводить до приймання неоптимальних рішень і, як наслідок, зниження ефективності від впровадження схем плавлення [14-17]. Отже одним із завдань досліджень є уточнення існуючих техніко-економічних моделей схем плавлення ожеледі на ПЛ 6–10 кВ сільських розподільних мереж. Іншим завданням, яке і вирішується в даній науковій роботі, є дослідження чутливості та стійкості техніко-економічної моделі плавлення ожеледі на ПЛ 10 кВ до зміни вихідних даних.



*Формулювання мети статті.* Дослідження чутливості та стійкості техніко-економічної моделі плавлення ожеледі на групі взаємопов'язаних ПЛ 10 кВ до зміни вихідних даних.

*Основна частина.* Для однопараметричної оптимізації узагальнений показник техніко-економічної моделі може бути записаний у вигляді функції  $Y = f(X_1, \dots, X_j, \dots, X_n, Z)$ , де  $X_1, \dots, X_j, \dots, X_n$  – вихідні дані моделі,  $Z$  – незалежна змінна. Під чутливістю узагальненого показника до зміни вихідних даних моделі розуміється міра його реакції на таку зміну. В результаті дослідження чутливості техніко-економічної моделі встановлюються типи вихідних даних, які найсильніше впливають на зміну узагальненого показника.

Як правило, дослідження чутливості здійснюється в точці, яка відповідає середнім значенням вихідних даних  $X_{1сер}, \dots, X_{jсер}, \dots, X_{nсер}$  та оптимальному для них значенні незалежної змінної  $Z_{opt}^{сер}$ . Кількісно чутливість функціоналу  $Y$  до зміни вихідних даних  $X_j$  оцінюють за допомогою показника чутливості  $s_j$ , який чисельно рівний частковій похідній

$$s_j = \frac{\partial Y}{\partial X_j}. \quad (1)$$

Порівняння сили впливу окремих вихідних даних на узагальнений показник здійснюється за допомогою коефіцієнта еластичності

$$\delta_j = s_j \frac{X_j}{Y}, \quad (2)$$

який показує відносну зміну узагальненого показника  $Y$  при одиничній відносній зміні вихідних даних  $X_j$ .

Для моделі, що розглядається, узагальненим показником є приведені витрати на плавлення ожеледі, які визначаються за методикою, що запропонована в [10]. Величина приведених витрат на схему плавлення залежить від вектору вихідних даних  $\{X_1, \dots, X_j, \dots, X_n\}$ , до яких відносяться:

- кількість ПЛ, що відходять від РТП;
- довжина магістралі ПЛ;
- питома навантаження ПЛ;
- питомі збитки від недовідпуску електричної енергії.

При дослідженні моделі на чутливість та стійкість останні три види вихідних даних варіювались одночасно для всіх відхідних ПЛ даної РТП [18, 19]. В табл. 1 наведено результати розрахунку показника чутливості та коефіцієнта еластичності для методу плавлення на основі автотрансформатора з використанням з



безіндуктивного контура, отримані на основі виразів (1) та (2) відповідно.

Як видно з таблиці, для даної моделі приведені витрати є найчутливішими до зміни кількості відхідних ПЛ 10 кВ, на яких проектується плавлення. Коефіцієнт еластичності для цього показника є найбільшим і перевищує значення для інших вихідних даних в 1,6÷2,8 рази.

Було також проведено дослідження моделі на стійкість [20, 21]. Під стійкістю розуміється властивість узагальненого показника не виходити за межі деякої заданої допустимої зони при зміні невизначених вихідних даних у вказаному діапазоні. Стійкість приведених витрат оцінено за максимальною відносною різницею між величиною витрат при оптимальному для екстремального значення вихідного параметра ( $X_j = X_{j \min}$  або  $X_j = X_{j \max}$ ) значенні незалежної змінної ( $Z = Z_{j \text{ onm}}^{\min}$  або  $Z = Z_{j \text{ onm}}^{\max}$ ) та при тому ж значенні вихідного параметра, але незалежній змінній, яка є оптимальною для середнього значення вихідного параметра ( $Z = Z_{\text{ onm}}^{\text{cep}}$ ), рис. 1

$$\varepsilon_{Y_j} = \max\{\varepsilon_{Y_j}^{\min}; \varepsilon_{Y_j}^{\max}\}, \quad (3)$$

де

$$\varepsilon_{Y_j}^{\min} = \frac{Y(X_{j \min}; Z_{\text{ onm}}^{\text{cep}}) - Y(X_{j \min}; Z_{j \text{ onm}}^{\min})}{Y(X_{j \min}; Z_{j \text{ onm}}^{\min})}; \quad (4)$$

$$\varepsilon_{Y_j}^{\max} = \frac{Y(X_{j \max}; Z_{\text{ onm}}^{\text{cep}}) - Y(X_{j \max}; Z_{j \text{ onm}}^{\max})}{Y(X_{j \max}; Z_{j \text{ onm}}^{\max})}. \quad (5)$$

Таблиця 1

Результати дослідження техніко-економічної моделі оптимізації режиму плавлення ожеледі на чутливість та стійкість

Вихідні дані	Показник чутливості $s_j$	Коефіцієнт еластичності $\delta_j$	Максимальна різниця приведених витрат $\varepsilon_{Y_j}$
Кількість ПЛ $n$	44,7	0,91	0,140
Довжина магістралі ПЛ $l$	14,4	0,58	0,022
Питоме навантаження ПЛ, $p_0$	1,8	0,32	0,074
Питомі збитки $Y_0$	16120	0,33	0,034

При цьому всі інші вихідні показники приймалися рівним середнім значенням. За максимальне допустиме відхилення

приведених витрат від оптимального значення прийнято відхилення, рівне похибці розрахунків  $\varepsilon_Y^{don} = 0,09$ . Умова стійкості узагальненого показника до вихідної змінної  $X_j$

$$\varepsilon_{Yj} \leq \varepsilon_Y^{don}. \quad (6)$$

В табл. 1 наведено результати розрахунку показника  $\varepsilon_{Yj}$ . Як видно, з точки зору прийнятого поняття стійкості, показник приведених витрат є нестійким лише до кількості ПЛ.

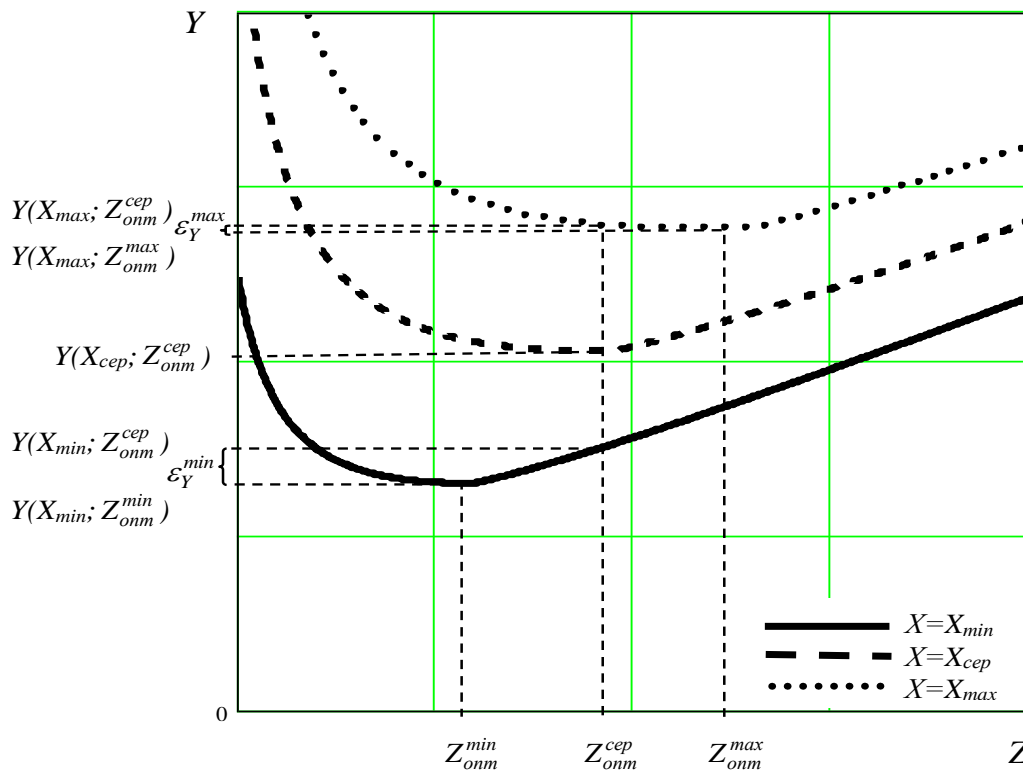


Рис. 1. Графічна ілюстрація дослідження стійкості приведених витрат до зміни вихідних даних

*Висновки.* Таким чином, в результаті дослідження техніко-економічної моделі схеми плавлення ожеледі на групі ПЛ 6–10 кВ на чутливість, встановлено, що приведені витрати на плавлення є найчутливішими до зміни кількості ПЛ, на яких проектується плавлення, причому цей параметр виводить показник приведених витрат із зони умовної стійкості. Тому оптимізація питомої потужності плавлення ожеледі для уніфікованих електросилових установок повинна проводитись в першу чергу з урахуванням невизначеності кількості ПЛ на основі математичних методів, що дозволяють оперувати невизначеними величинами. Оскільки одночасна для всіх ПЛ максимальна зміна кожної з інших невизначених величин (довжини ПЛ, питомих збитків або питомої





потужності) не порушує стійкість узагальненого показника, то при зміні даної величини окремо для однієї ПЛ стійкість також буде забезпечена. Таким чином, при вирішенні задачі оптимізації питомої потужності плавлення в умовах невизначеності ці величини допустимо прийняти рівними середнім значенням.

*Список використаних джерел*

1. База даних для визначення нормативів із страхування електричних мереж. Науково-технічна бібліотека НДПП “Укренергомережпроект” Мінпаливенерго України (замовлення ОЕП “ГРІФРЕ”, договір №55 від 25.04.2002.)
2. Лисенко В. П., Козирський В. В., Гладкий А. М., Скрипник А. М. Стан електричних мереж та надійність електропостачання сільського господарства. *Електрифікація та автоматизація сільського господарства*. 2005. № 2(11). С. 3–15.
3. Petrenko V. F., Sullivan C. R., and Kozlyuk V. Variable-resistance conductors for power-line de-icing. *Cold Regions Science and Technology*. 2011. Vol. 65(1). P. 23–28.
4. Trudel G., Gingras J. P., and Pierre J. R. Designing a reliable power system: Hydro-Quebec's integrated approach. *Proceedings of the IEEE*. 2005. Vol. 93(5). P. 907–917.
5. Šabata J., Lehký P., Zeman L., and Vaculík P. Automated Icing Monitoring System on the territory of the Czech and Slovak Republic. *16th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures (IWAIS 2015)*. Uppsala, Sweden, 2015. P. 245–248.
6. Іноземцев Г. Б., Крижанівський В. С. Проблема боротьби з ожеледдю на лініях електропередачі. *Науковий вісник НУБіП. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2012. Вип. 166(4). С. 12–16.
7. Выбор способов и разработка целесообразных схем плавки гололеда на ВЛ различных классов напряжения в Молдавской энергосистеме: научно-технический отчет по теме. Кишинев: НТЦ «Техинформэнерго», 2001. 132 с.
8. Atmospheric Icing of Power Networks / M. Farzaneh [et. al.]. Dordrecht: Springer, 2008. 381 p.
9. Білаш І. П., Савченко О. А. Оптимізація потужності плавлення ожеледі на ПЛ 6–10 кВ розподільних електричних мереж. *Вісник ХНТУСГ. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. 2010. Вип. 102. С. 14–16.
10. Miroshnyk O., Tymchuk S. Uniform distribution of loads in the electric system 0.38/0.22 kV using genetic algorithms. *Technical Electrodynamics/Tekhnichna Elektrodynamika*. 2013. Vol. 1(4). P. 67.
11. Tymchuk S., Miroshnyk O. Assess electricity quality by means of fuzzy generalized index. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2015. Vol. 3(4 (75)). P. 26–31.



12. Pazyi V., Miroshnyk O., Moroz O., Trunova I., Savchenko O., Halko S. Analysis of technical condition diagnostics problems and monitoring of distribution electrical network modes from smart grid platform position. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2020. e 20168725. P. 57-60. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250080>.

13. Halko S., Halko K. Research of electrical and physical characteristics of the solar panel on the basis of cogeneration photoelectric modules. *Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial: Colección de documentos científicos «ΛΟΓΟΣ» con actas de la Conferencia Internacional Científica y Práctica*, 24 de abril de 2020. Barcelona, España: Plataforma Europea de la Ciencia, 2020. Vol. 2. P. 39-44. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.10>.

14. A. Szafraniec, S. Halko, O. Miroshnyk, R. Figura, A. Zharkov, O. Vershkov. Magnetic field parameters mathematical modelling of wind electric heater. *Przegląd elektrotechniczny*. 2021. Vol. 97(8). P. 36-41. <https://doi.org/10.15199/48.2021.08.07>.

15. Галько С. В. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій. *Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень: матеріали Міжнар. наук. конф. (10 квіт. 2020 р.)*. Луцьк: МЦНД, 2020. Т. 1. С. 83-90. <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10>.

16. Bazaluk O., Postnikova M., Halko S., Kvitka S., Mikhailov E., Kovalov O., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V. Energy Saving in Electromechanical Grain Cleaning Systems. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12(3). P. 1418. <https://doi.org/10.3390/app12031418>.

17. Галько С. В. Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки акумуляторів електромобілів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 130-141. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-3-130-141>.

18. Al-Quraan T. M. A., Vovk O., Halko S., Kvitka S., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V., Zayed N. M., Islam K. M. A. Energy-Saving Load Control of Induction Electric Motors for Drives of Working Machines to Reduce Thermal Wear. *Inventions*. 2022. Vol. 7. P. 92. <https://doi.org/10.3390/inventions7040092>.

19. Bazaluk O., Postnikova M., Halko S., Mikhailov E., Kovalov O., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V. Improving Energy Efficiency of Grain Cleaning Technology. *Appl. Sci*. 2022. Vol. 12(10). P. 5190. <https://doi.org/10.3390/app12105190>.



20. Karaiev O., Bondarenko L., Halko S., Miroshnyk O., Vershkov O., Karaieva T., Shchur T., Findura P., Prístavka M. Mathematical modelling of the fruit-stone culture seeds calibration process using flat sieves. *Acta Technologica Agriculturae*. 2021. Vol. 24(3). P. 119–123. <https://doi.org/10.2478/ata-2021-0020>.

21. Systems for prediction and monitoring of ice shedding, anti-icing and de-icing for power line conductors and ground wires / M. Farzaneh [et al.]. 2010. 1000 p.

*Стаття надійшла до редакції 28.02.2024 р.*

**O. Savchenko<sup>1</sup>, O. Miroshnyk<sup>1</sup>, O. Kozlovskiy<sup>2</sup>, I. Trunova<sup>1</sup>, A. Sereda<sup>1</sup>,  
S. Dudnikov<sup>1</sup>, V. Pazi<sup>1</sup>, S. Popadchenko<sup>1</sup>, D. Yermak<sup>1</sup>, A. Volobuev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>State Biotechnological University

<sup>2</sup>Central Ukrainian National Technical University

**STUDY OF SENSITIVITY AND STABILITY  
OF TECHNO-ECONOMIC MODEL OF THE DE-ICING SYSTEM  
ON A GROUP OF INTERCONNECTED 10 KV OHL**

*Summary*

The most unreliable elements in the power supply system are 6-10 kV overhead power lines of rural distribution power grids, and about half of the total time of power outages for consumers is caused by mechanical damage to the wires and supports of these overhead lines under the influence of ice deposits in combination with wind.

In the work, an analysis of the sensitivity and stability of the decisions made using the techno-economic model of the ice melting scheme on a group of interconnected 10 kV overhead power lines, to the change of the initial data, was carried out. As a technical and economic model, a one-criteria model based on reduced costs was used. As the initial parameters, the influence of which was studied, such indicators as the number of overhead power lines connected to the substation, the length of the overhead power lines main section, the specific load of the overhead power lines, and the specific losses from under-discharge of electrical energy were used. As a result of a study of the technical and economic model of the scheme for melting ice on a group of 6–10 kV overhead lines for sensitivity, it was found that the reduced costs for melting are most sensitive to changes in the number of overhead lines on which melting is planned, and this parameter takes the indicator of reduced costs out of the zone of conditional stability. Therefore, optimization of the specific power of ice melting for unified electric power plants should be carried out primarily taking into account the uncertainty of the number of overhead lines based on mathematical methods that allow operating with uncertain values. Since a simultaneous maximum change in each of the other uncertain quantities (overhead line length, specific losses or specific power) for all overhead lines does not violate the stability of the generalized indicator, then when this value changes separately for one overhead line, stability will also be ensured. Thus, when solving the problem of optimizing the specific melting power under conditions of uncertainty, these values can be taken equal to the average values.

**Keywords:** overhead power line, ice-wind loads, ice melting, techno-economic model, sensitivity, stability.



---

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**

---

**DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-11**

УДК 744:37.016(477)

І. Г. Стукалець<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0001-7107-4865

С. В. Коробка<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0002-4717-509X

О. Г. Скляр<sup>2</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0002-0456-2479

Б. В. Болтянський<sup>2</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0003-2072-4025

Р. В. Скляр<sup>2</sup>, канд. техн. наук

ORCID 0000-0002-1547-5100

<sup>1</sup> Львівський національний університет природокористування<sup>2</sup> Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного

e-mail: igorstukalets@gmail.com, тел.: +380974936424

**ПРОБЛЕМИ УЗГОДЖЕННЯ МІЖНАРОДНИХ,  
МІЖДЕРЖАВНИХ ТА НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ  
УКРАЇНИ ПІД ЧАС ОФОРМЛЕННЯ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ  
ДОКУМЕНТАЦІЇ В SOLIDWORKS**

*Анотація.* В статті розглянуто сучасний стан справ в Україні в галузі стандартизації стосовно оформлення конструкторської документації. Розглянуто питання оформлення креслеників у середовищі *SolidWorks*. Встановлено, що більшість національних стандартів України є тотожним перекладом міжнародних стандартів і є чинними на альтернативних правах з міждержавними стандартами Єдиної системи конструкторської документації. Виявлено, що прийняття національних стандартів на основі перекладу міжнародних нерідко може призвести до неузгодження в питанні дотримання норм та вимог під час оформлення технічних креслеників. У результаті одночасної дії альтернативних стандартів порушується принцип зворотності, вимогу якого встановлює ДСТУ 1.7:2015. Проаналізовано методику виконання креслеників та специфікацій в системі автоматизованого проектування *SolidWorks*. Виявлено, що, незважаючи на наявність шаблонів креслеників відповідно до *ISO* та ДСТУ, принципи оформлення креслеників деталей, складаних одиниць та специфікацій не відповідають цим стандартам. Тому для підвищення ефективності роботи під час оформлення конструкторської документації в *SolidWorks* авторами рекомендовано користувачам створювати власні шаблони креслеників відповідно до національних, міждержавних чи міжнародних стандартів.

*Ключові слова:* *ISO*, ДСТУ, *SolidWorks*, кресленик, конструкторська документація.

*Постановка проблеми.* Сьогодні є важливим, щоб усі заклади освіти, які займаються підготовкою інженерних кадрів, усі науковці та співробітники промислових підприємств використовували одні й ті ж



стандарти на оформлення конструкторської документації. Важливим є і те, щоб вимоги цих стандартів були чіткими, однозначними та відповідали сучасному науково-технічному рівню та світовому практичному досвіду.

Поряд з тим, що українськими науковцями виявлено чимало проблем у гармонізації чинних національних, міждержавних та міжнародних стандартів, сьогодні недостатньо уваги приділено проблемам узгодженості стандартів під час оформлення конструкторської документації. Поглиблює цю проблему ще й те, що впродовж останніх років цілу низку національних та міждержавних стандартів, які діяли в Україні, було скасовано.

Сьогодні часто зустрічається навчально-методична література, видана протягом останніх декількох років, у якій досі присутні посилання на стандарти, дія яких закінчилася ще до опублікування навчального видання, що робить його неактуальним, для здобувачів освіти. Нерідко можна побачити у тексті посилання на чинний національний стандарт, однак зміст тексту в підручнику чи посібнику зовсім не відповідає цьому стандарту, а дублює вимоги уже недіючого ГОСТу.

Під час прийняття та гармонізації стандартів в Україні часто має місце метод «обкладинки», який зводиться до перекладу міжнародного стандарту, а текст стандарту залишається мовою оригіналу, зокрема російською. Цю проблему, як показує життєва практика, вирішують скасуванням такого стандарту, не пропонуючи нічого натомість. Інший метод створення національного стандарту України – це тотожний переклад з англійської або німецької мови. Єдиними структурними елементами такого стандарту, які оформлено згідно з вимогами національної стандартизації України, є «Обкладинка», «Передмова», «Зміст», «Національний вступ», «Терміни та визначення понять» і «Бібліографічні дані».

Зважаючи на те, що сьогодні практично вся конструкторська документація у навчальних закладах та підприємствах оформляється з використанням систем автоматизованого проектування (САПР), необхідно звернути увагу також на узгодженість чинних в Україні стандартів з можливостями тієї чи іншої САПР, в якій виконується оформлення конструкторської документації. Оскільки однією з найпопулярніших САПР, яку використовують у закладах освіти і на промислових підприємствах, є *SolidWorks*, у статті приділено увагу на її використанні під час оформлення креслеників згідно з чинними в Україні стандартами.

*Аналіз останніх досліджень.* Проблема гармонізації та узгодження національних стандартів з міжнародними присвячено декілька праць. У публікаціях [18, 19] висвітлено проблеми перекладу





термінів як важливого чинника стандартизації в Україні. В роботі [19] запропоновано пріоритетні напрямки для прискореного гармонізування національних стандартів різних серій. Автори праці [18] дали визначення терміну «гармонізація стандарту». «Гармонізація стандарту – це приведення його змісту у відповідність до інших стандартів для забезпечення взаємозамінності продукції (послуг), взаємного розуміння результатів випробувань та інформації, що міститься в стандартах» [18]. Також автори основну увагу звернули на гармонізації українських стандартів, що встановлюють геометричні характеристики виробів, з міжнародними. Ці проблеми полягають в наступному. Міжнародні стандарти приймаються поряд з чинними національними стандартами (ДСТУ) та міждержавними (ГОСТ) цієї самої сфери застосування і нерідко принцип зворотності, за яким усе, що прийнятне за умовами міжнародного стандарту, є прийнятне в національному стандарті, і навпаки, не дотримується [18]. Крім того, під час перекладу міжнародних стандартів виявляються розбіжності понять, що виражаються термінами вихідної та української мов. У цій же праці запропоновано заходи для гармонізування національних стандартів з термінів, визначень та позначень допусків форми орієнтації, розташування та биття на креслениках [18].

Проблема узгодженості стандартів, що стосуються оформлення конструкторської документації, зокрема креслеників, є дуже широкою і недостатньо дослідженою.

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* Метою досліджень у статті є виявлення неузгодженостей та можливих невідповідностей національних, міждержавних та міжнародних стандартів під час оформлення конструкторської документації в системі *SolidWorks*, а також надання пропозицій щодо їх усунення.

*Основна частина.* Поряд з електронною моделлю виробу, одним з основних результатів роботи інженера-конструктора є кресленики, які потрібно виконувати на аркушах стандартних форматів. Тому перш за все розглянемо вимоги до оформлення аркуша кресленика.

**Формати.** Розміри та формати креслеників чітко встановлені вимогами національного стандарту ДСТУ ISO 5457:2006 «Кресленики. Розміри та формати», який є тотожним перекладом міжнародного стандарту ISO 5457:1999. Згідно з цим стандартом, формати позначаються А0, А1, А2, А3, А4 з відповідними розмірами сторін. Для форматів А0-А3 дозволяється лише горизонтальне розташування аркушів; для формату А4 – лише вертикальне розташування. Береги, утворені сторонами формату та рамкою, що обмежує поле кресленика, повинні бути з усіх сторін. Ширина берега з лівої сторони повинна становити 20 мм, враховуючи ширину поля зон. Всі інші береги мають ширину 10 мм. Основний напис на



аркушах форматів А0-А3 розміщують у правому нижньому куті поля кресленика. Для формату А4 основний напис розміщують на короткій (нижній) частині поля кресленика.

Цей стандарт сьогодні діє в Україні на альтернативних засадах з відповідними стандартами Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД). Таким відповідним йому стандартом є ДСТУ ГОСТ 2.104:2006 «Основні написи», яким передбачені береги 20 мм зліва та по 5 мм зверху, справа та знизу аркуша.

**Основний напис.** Основний напис (штамп) відповідно до ДСТУ ISO 5457:2006 має ширину 180 мм, отже може поміститися на сторінці будь-якого формату з дотриманням берегів 20 мм ліворуч та 10 мм праворуч. Форми штампів зображено на рис. 1, 2.

Відповідальна організація АВС 2	Технічне узгодження Патріція Джонсон	Вид документа Часткова-повна збірка приладу	Статус документа опублікований			
Власник документа	Розробник документа: Джейн Сміт	Назва, додаткова назва	АВ123 456-7			
	Документ затверджено: Девід Браун	Монтажна плата Збірка із затискачем	Інд. змін. А	Дата видання: 2002-05-14	Мова: de	Аркуш 1/5
180 мм						

Рис. 1. Компактна форма штампа з максимальною площею для відображення змісту документа (ДСТУ ISO 5457:2006)

Відповідальна організація АВС 2	Технічне узгодження Патріція Джонсон	Розробник документа: Джейн Сміт	Документ затверджено: Девід Браун			
Власник документа	Вид документа Часткова-повна збірка приладу		Статус документа опублікований			
	Назва, додаткова назва		АВ123 456-7			
	Монтажна плата Збірка із затискачем		Інд. змін. А	Дата видання: 2002-05-14	Мова: en	Аркуш 1/5
180 мм						

Рис. 2. Штмп, у якому графи з іменами й прізвищами осіб розташовані в додатковому рядку (згідно ДСТУ ISO 5457:2006)

Вимогами ДСТУ ГОСТ 2.104:2006 встановлено ширину 185 мм (рис. 3), а тому розташування такого штампа можливе лише на аркушах з полями 20 мм зліва та 5 мм справа.

Як бачимо, немає однозначності у питаннях застосування того чи іншого стандарту, а отже й форми основних написів та розмірів берегів креслярських форматів.

Порушено принцип зворотності, за яким усе, що прийнятне за умовами міжнародного нормативного документа, є прийнятним у національному стандарті, і навпаки, коли узгодженість з міжнародним

нормативним документом також означає узгодженість з національним нормативним документом [5, 6].

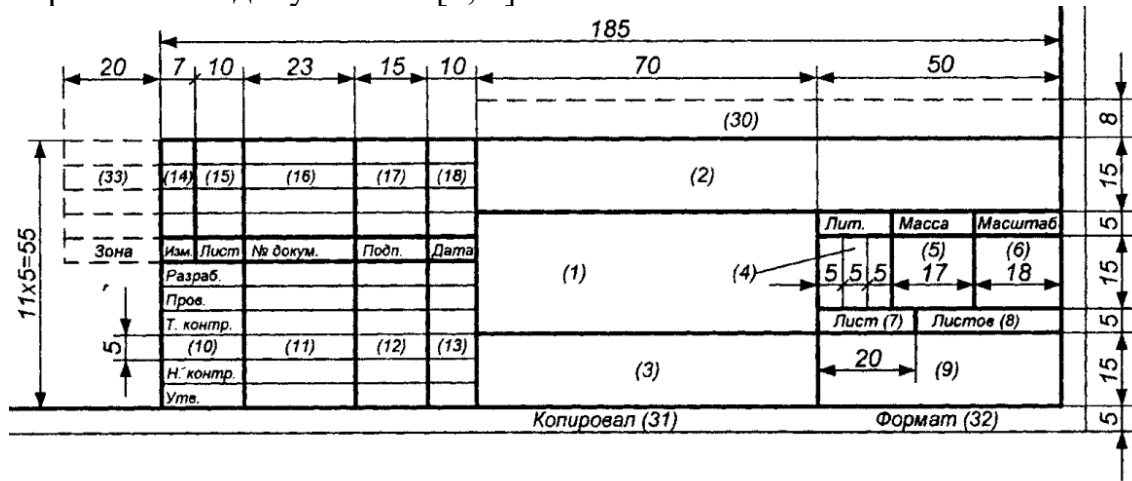


Рис. 3. Розміри граф штампа згідно з ДСТУ ГОСТ 2.104:2006

Розглянемо оформлення основного напису відповідно до міжнародного стандарту ISO та міждержавного ГОСТу, які передбачені розробниками програми *SolidWorks*.

У стандартному шаблоні кресленника ISO береги відповідають ДСТУ ISO 5457:2006, однак форма та зміст основного напису суттєво відрізняється від вимог згаданого стандарту (рис. 4).

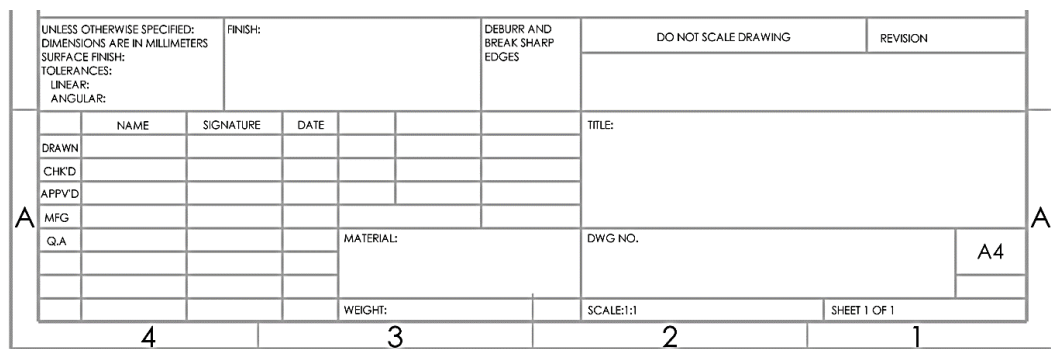


Рис. 4. Основний напис шаблону A4 ISO в *SolidWorks*

Розміри берегів, форма та зміст основного напису шаблону кресленника ГОСТ в *SolidWorks* відповідає вимогам ДСТУ ГОСТ 2.104:2006, але потребує редагування та перекладу тексту граф з метою оформлення кресленника українською мовою (рис. 5). Крім того, розробниками програми передбачено у полі коду документа прописування аббревіатури «СБ» (сборочный чертёж), який є зайвим під час оформлення усіх креслеників, за винятком креслеників складальних одиниць.







«Відношення розмірів об'єкта, виконаних без спотворення, до їхніх номінальних значень». Хоча суть терміну одна й та ж, проте чомусь у двох національних стандартах України визначення терміну «Масштаб» сформульовано по-різному.

Інженери звикли до використання масштабів, передбачених міждержавним стандартом ГОСТ 2.302-68 «Єдина система конструкторської документації. Масштаби», який 1.01.2020 року втратив чинність. Цим стандартом передбачався ширший ряд стандартних масштабів, який дозволяв більш гнучко адаптувати розмір зображення до розміру аркуша, на якому він виконаний. Тому під час оформлення креслеників необхідно враховувати актуальний сьогодні ряд рекомендованих масштабів.

Для порівняння масштаби, рекомендовані ДСТУ ISO 5455:2005 для застосування на технічних креслениках, та масштаби, згідно недіючого ГОСТ 2.302-68 наведено у таблиці 1.

Таблиця 1.

Рекомендовані для застосування на технічних креслениках масштаби

Категорія	Рекомендовані масштаби	
	ДСТУ ISO 5455:2005 (чинний)	ГОСТ 2.302-68 (недіючий)
Масштаби збільшення	50:1	50:1
		40:1
	20:1	20:1
	10:1	10:1
	5:1	5:1
		4:1
		2,5:1
	2:1	2:1
Масштаб натуральної величини	1:1	1:1
Масштаби зменшення	1:2	1:2
		1:2,5
		1:4
	1:5	1:5
	1:10	1:10
		1:15
	1:20	1:20
		1:25
	1:40	
	1:50	1:50

За необхідності застосовувати більші чи менші масштаби, ніж ті, що наведені у таблиці, згідно чинного ДСТУ ISO 5455:2005,



рекомендований ряд масштабів можна розширити в тому чи іншому напрямі за умови, що необхідний масштаб буде утворений з рекомендованого шляхом множення його на 10 у цілому степені.

Таким чином, можна зробити висновок, що з найбільш уживаного інженерами-конструкторами переліку масштабів, що використовується у технічних креслениках вилучено масштаби збільшення: 40:1; 4:1; 2,5:1, а також масштаби зменшення: 1:2,5; 1:4; 1:15; 1:25; 1:40.

Гнучкість програми *SolidWorks* у застосуванні масштабів дозволяє скористатися не лише стандартним переліком масштабів, передбачених розробниками програмного забезпечення, а й налаштувати потрібний користувачький масштаб за будь-якого відношенні розмірів. Нерідко на виробництві практикують використання нестандартних масштабів, наприклад 3:4, 3:1 тощо. Це зумовлено обмеженими можливостями широкоформатного друку в умовах виробництва, економії часу на оформлення належним чином паперової конструкторської документації та іншими виробничими чинниками на етапі комунікації між конструкторами та безпосередніми виконавцями робіт на дільницях підприємства.

**Види, розрізи, перерізи.** Національний стандарт України ДСТУ ISO 128-30:2005 «Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 30. Основні положення про види» передбачає спосіб проєціювання у першому або третьому квадрантах як обов'язковий для цього стандарту (рис. 8). Відповідний йому стандарт ЄСКД – ГОСТ 2.305-68, який передбачав лише першоквадрантний спосіб проєціювання, втратив чинність.

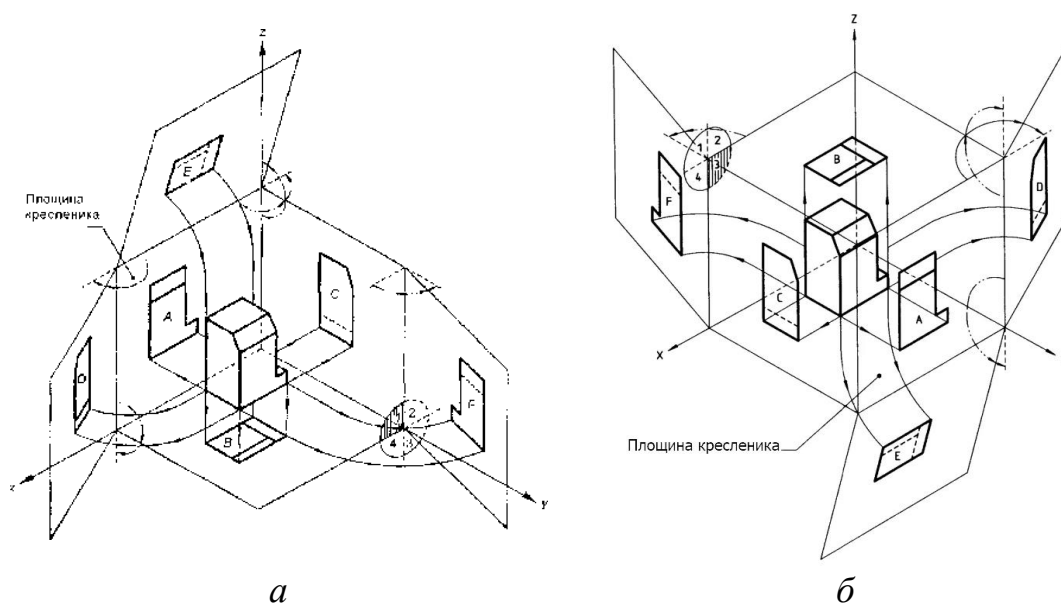


Рис. 8. Спосіб проєціювання у першому квадранті (а) та у третьому квадранті (б)



Умовні графічні позначки, що ідентифікують способи проєціювання на креслениках, наведено на рис. 9.

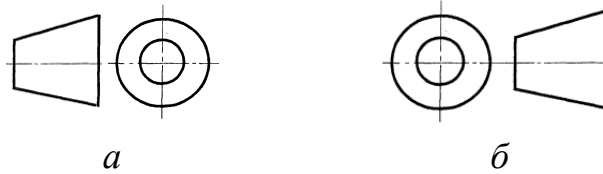


Рис. 9. Умовні позначки проєціювання у першому квадранті (а) та у третьому квадранті (б)

CAD-система *SolidWorks* дозволяє вибрати спосіб проєціювання під час оформлення кресленика. Потрібно пам'ятати, що у стандартному шаблоні кресленика за замовчуванням встановлено спосіб проєціювання у третьому квадранті, але за потреби спосіб проєціювання можна змінити у налаштуваннях аркуша (рис. 10).

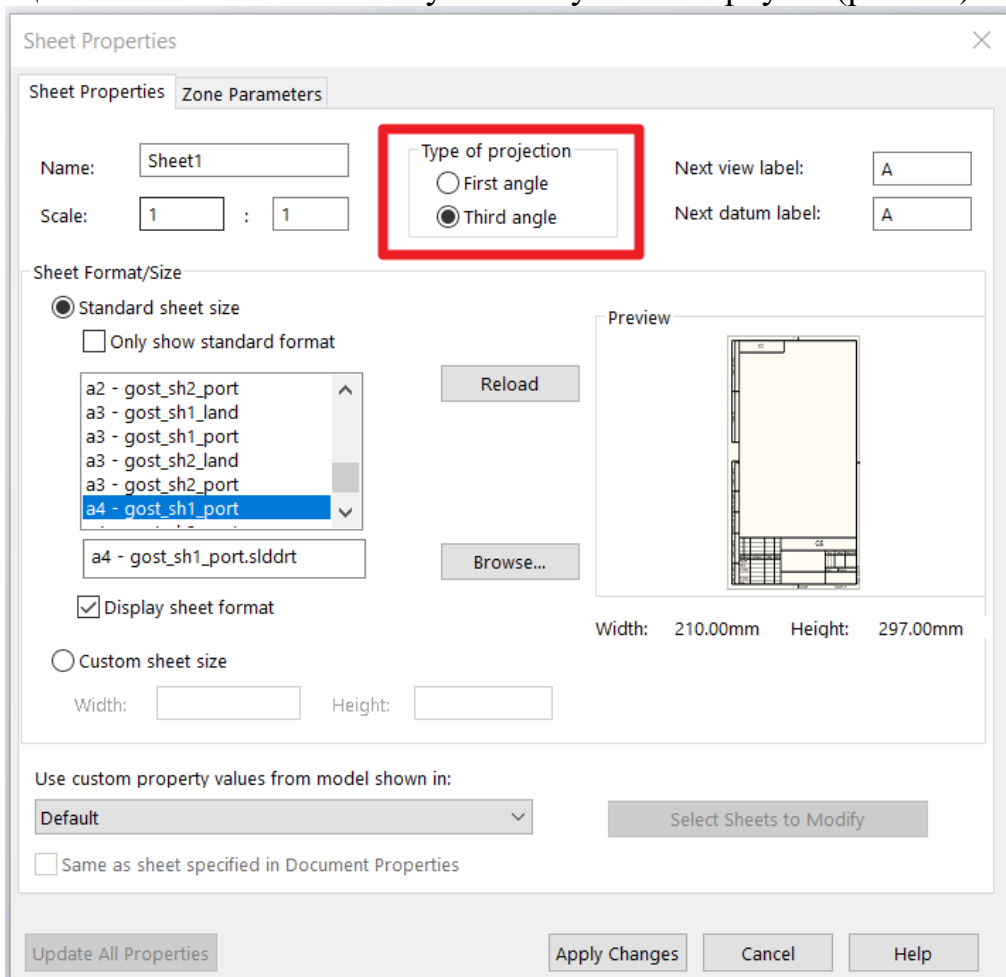


Рис. 10. Налаштування способу проєціювання у налаштуваннях аркуша в *SolidWorks*

Відповідно до вимог національного стандарту України ДСТУ ISO 128-34:2005 «Кресленики технічні. Загальні принципи

оформлення. Частина 34. Види на машинобудівних креслениках» неявні лінії перетину (лінії переходу), такі як заглибини чи скруглені кути, потрібно позначати суцільними тонкими лініями, які не доходять до контурів виробу. Під час генерування видів на кресленику в *SolidWorks* усі лінії переходу зображуються основною суцільною лінією. Щоб кресленик відповідав ДСТУ ISO 128-34:2005, такі лінії переходу на зображенні видів доводиться приховувати, а замість них інструментами ескізу відрисовувати тонкі лінії, не доводячи їх до контурів деталі (рис. 11).

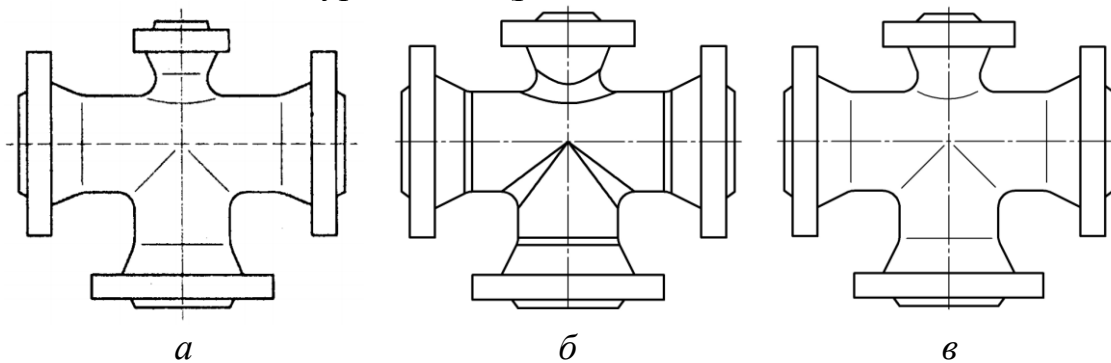


Рис. 11. Зображення ліній переходу:  
у стандарті ДСТУ ISO 128-34:2005 (а), на кресленику в *SolidWorks* (б),  
після редагування в *SolidWorks* (в)

У двох чинних національних стандартах України термін «Розріз» має різні визначення. ДСТУ 3321:2003 дає таке визначення: «Ортогональна проекція предмета, якого цілком чи частково уявно розітнено одною чи кількома площинами, щоб показати його невидні поверхні». В той же час іншим нормативним документом, – ДСТУ ISO 120-40:2005, – дано інше визначення терміну «Розріз»: «Зображення, що додатково показує контури поза січною площиною». Подібна неузгодженість цих стандартів зустрічається і стосовно інших термінів: «Переріз», «Місцевий розріз» тощо.

**Специфікація.** Специфікація є повним переліком складових частин виробу, з яких збирають складану одиницю (складаний вузол), чи окремих деталей, які показані на технічному кресленику. Стосовно оформлення специфікації в Україні сьогодні діють два стандарти: міждержавний ГОСТ 2.106-96 «Єдина система конструкторської документації. Текстові документи» та національний стандарт ДСТУ ISO 7573:2018 «Специфікація».

Відповідно до ГОСТ 2.106-96 таблиця специфікації є структурованою, у ньому зазначені усі розміри та зміст граф таблиці специфікації й основного напису. Згідно з вимогами міждержавного стандарту специфікацію можна оформляти як на окремих аркушах, так і суміщати зі складальним креслеником за умови їх розміщення на аркуші формату А4. При цьому її розташовують над основним



написом в тому порядку і за тією ж формою, що й специфікацію, виконану на окремих аркушах. Для виробів допоміжного виробництва та одиничного виробництва разового виготовлення дозволяється суміщення специфікації зі складальним креслеником будь-якого формату.

Специфікація згідно з ГОСТ 2.106-96 складається з колонок: «Формат», «Зона», «Позиція», «Познака», «Назва», «Кількість», «Примітка». Розділи специфікації розташовують у такій послідовності: «Документація», «Комплекси», «Складанні одиниці», «Деталі», «Стандартні вироби», «Інші вироби», «Матеріали», «Комплекти».

Національний стандарт ДСТУ ISO 7573:2018 чинний в Україні на альтернативних засадах з міждержавним стандартом ГОСТ 2.106-96 в частині специфікацій і має з ним однакову юридичну силу. Згідно з ДСТУ ISO 7573:2018 специфікація може бути розташована безпосередньо на кресленнику або бути окремим документом. Вона може бути єдиною з основним написом (ISO 7200). Специфікацію рекомендовано подавати у вигляді колонок, які містять інформацію з такими заголовками: «Позиція», «Познака», «Кількість», «Посилання», «Матеріал». При цьому послідовність колонок не обов'язкова і за необхідності можна збільшити кількість колонок, щоб викласти додаткові вимоги. Послідовність записів повинна відповідати послідовності позицій. Варто зауважити – коли специфікацію виконують на кресленнику, то послідовність записів виконують знизу вгору, а заголовки колонок розташовують безпосередньо під ними. Коли специфікацію виконують окремо, то послідовність записів роблять зверху вниз, а заголовки колонок розташовують вгорі. Інших вимог, як, наприклад, розмірів граф, тексту тощо в цьому стандарті не зазначено.

Під час оформлення специфікації в середовищі *SolidWorks* стандартно програмою пропонується шаблон специфікації, передбачений розробниками, який містить такі колонки: «Позиція», «Познака», «Опис», «Кількість» (рис. 12), що не відповідає жодному з вищенаведених стандартів.

Тому в процесі оформлення специфікацій в середовищі *SolidWorks* необхідно редагувати існуючий стандартний шаблон специфікації, або створити власний, який відповідав би одному з чинних стандартів. Останній варіант з практичної точки зору є більш виправданим.

*Висновки.* На підставі проведених досліджень стосовно узгодженості стандартів та виконання креслеників у середовищі *SolidWorks* можна зробити такі висновки:

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	M400.8100.01		1
2	M400.8100.02		1
3	M400.8100.03		1
4	M400.8100.04		1
5	M400.8100.05		1
6	Болт М6х60 ГОСТ Р 50792-95		4
7	Шайба А.6.31АМz5 ГОСТ 11371-78		4
8	Гайка М6 ГОСТ 5915-70		4
9	ISO 2338 - 5 т6 x 10 - S1		1
10	Винт М5х8 ГОСТ 28964-91		2

а

Код	Назва	К-сть	Позначка
	Документація		
	M400.8100.00		Головний шаблон
			Складові об'єкти
			Деталі
1	M400.8100.01	1	Ступиця
2	M400.8100.02	1	Кришка
3	M400.8100.03	1	Навішлювальний лоток
4	M400.8100.04	1	Навішлювальний цвях
5	M400.8100.05	1	Втулка
	Стандартні вироби		
6	Болт М6х60 ГОСТ Р 50792-95	4	
7	Гайка М6 ГОСТ 5915-70	4	
8	Гайка М5х8 ГОСТ 28964-91	2	
9	Шайба А.6.31АМz5 ГОСТ 11371-78	4	
10	Винт ISO 2338 - 5 т6 x 10 - S1	1	
M400.8100.00			
№	Ім'я	Підпис	Дата
1	Тяга		
			ЛНУ, гр. Маш-11

б

Рис. 12. Специфікація: стандартний шаблон *SolidWorks* (а), шаблон користувача в *SolidWorks* (б)

1. Переважна більшість національних стандартів стосовно оформлення конструкторської документації діє на альтернативних засадах з міждержавними стандартами ЄСКД, які прийнято в Україні за принципом «обкладинки», коли державною мовою оформлено лише обкладинку нормативного документа, а основний текст викладено мовою оригіналу, здебільшого – російською.

2. Значна частина міждержавних стандартів, альтернативними яким є національні стандарти України, впродовж останніх кількох років втратила чинність. Однак викладення матеріалу у навчальних виданнях і надалі відбувається, посиляючись на недіючі стандарти, або з посиланням на чинні, однак норми в окремих текстах навчально-методичної літератури викладаються таким чином, що вони не відповідають нормам стандартів, на які посиляються автори видань.

3. Під час прийняття національних стандартів порушується принцип зворотності, за яким усе, що прийнятне за умовами міжнародного стандарту, є прийнятне в національному стандарті, і навпаки.

4. В результаті скасування дії міждержавних стандартів ЄСКД іноді втрачаються деякі норми та вимоги, що негативно відображається на практичній діяльності інженерів, зокрема вилучення деяких масштабів збільшення та зменшення з числа рекомендованих стандартом.



5. Прийняття міжнародного стандарту в якості національного не завжди відповідає національним інтересам. Так, в національному стандарті України (ДСТУ ISO 3098-6:2007 «Документація технічна на виробі. Шрифти. Частина 6. Кирилична абетка») літери кириличної української абетки відсутні, натомість є кирилична російська абетка.

6. Не всі національні стандарти України, які прийняті на основі тотожного перекладу міжнародних стандартів, забезпечують чіткість та однозначність у дотриманні норм та вимог на оформлення креслеників. Розмитість або повна відсутність окремих вимог і неузгодженість між національними, міжнародними та міждержавними стандартами може негативно впливати на взаєморозуміння між інженерами, науковцями, працівниками промислових підприємств. Особливу увагу на узгодженість між стандартами необхідно приділяти у закладах освіти під час підготовки інженерних кадрів.

7. Встановлено, що у національних стандартах України визначення одного і того ж терміну є різними – «Вид», «Розріз», «Переріз», «Місцевий розріз» тощо. Тому питання визначення термінів та понять має бути чітким та однозначним.

8. Незважаючи на гнучкість, постійне удосконалення програмного забезпечення *SolidWorks*, а також наявність стандартних шаблонів згідно з *ISO* чи *ГОСТ*, під час оформлення креслеників та специфікацій виникає необхідність у додатковому налаштуванні програми у відповідності до вимог цих стандартів.

9. Для підвищення ефективності роботи інженера у середовищі *SolidWorks* рекомендуємо створювати окремі користувацькі шаблони креслеників у відповідності до чинних національних стандартів України, міждержавних та міжнародних стандартів.

#### *Список використаних джерел*

1. Гриньов Б., Ламаши Л., Любинський В., Молчанова Н. Щодо питання гармонізації стандартів і особливостей перекладу. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2014. № 4. С. 21–22.

2. Довідка *SolidWorks*. URL: [https://help.solidworks.com/2024/English/SolidWorks/sldworks/HelpViewerDS.aspx?version=2024&prod=SolidWorks&lang=English&path=sldworks%2fr\\_welcome\\_sw\\_online\\_help.htm](https://help.solidworks.com/2024/English/SolidWorks/sldworks/HelpViewerDS.aspx?version=2024&prod=SolidWorks&lang=English&path=sldworks%2fr_welcome_sw_online_help.htm) (дата звернення 23.03.2024).

3. *ГОСТ 2.106-96*. Єдина система конструкторської документації. Текстові документи. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 39 с.

4. *ДСТУ ГОСТ 2.104:2006*. Єдина система конструкторської документації. Основні написи. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 23 с.

5. *ДСТУ 1.5:2015*. Національна стандартизація. Правила розроблення, викладання та оформлення національних нормативних





документів (ISO/IEC Directives Part 2:2011, NEQ). Київ: Держспоживстандарт України, 2016. 65 с.

6. ДСТУ 1.7:2015. Національна стандартизація. Правила та методи прийняття міжнародних і регіональних нормативних документів. Київ: Держспоживстандарт України, 2015. 34 с.

7. ДСТУ EN ISO 7200:2005. Розроблення технічної документації. Графи у штампах та основних написах. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 10 с.

8. ДСТУ ISO 128-22:2005. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 22. Основні положення та правила застосування ліній-виносок і полиць ліній-виносок. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 13 с.

9. ДСТУ ISO 128-34:2005. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 34. Види на машинобудівних креслениках. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 17 с.

10. ДСТУ ISO 128-40:2005. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 40. Основні положення про розрізи та перерізи. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 11 с.

11. ДСТУ ISO 3098-2:2007. Документація технічна на виробі. Шрифти. Частина 2. Латинська абетка, цифри і знаки. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 10 с.

12. ДСТУ ISO 3098-6:2007. Документація технічна на виробі. Шрифти. Частина 6. Кирилична абетка. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 10 с.

13. ДСТУ ISO 5455:2005. Кресленики технічні. Масштаби. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 7 с.

14. ДСТУ ISO 5456-2:2005. Кресленики технічні. Методи проєціювання. Частина 2. Ортогональні зображення. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 15 с.

15. ДСТУ ISO 5457:2006. Документація технічна на виробі. Кресленики. Розміри та формати. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 11 с.

16. ДСТУ ISO 7573:2018. Кресленики технічні. Специфікація. Київ: Держспоживстандарт України, 2018. 10 с.

17. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка. Тернопіль: Підручники і посібники, 2023. 240 с

18. Литвинська С. Гармонізація українських національних стандартів серії «Інформація та документація» з міжнародними й європейськими: здобутки і перспективи. *Безпека інформації*. 2012. № 2. С. 43-47.

19. Мартинов А. П., Тріщ Р. М. Аналіз сучасного стану нормування точності геометричних параметрів виробів у машинобудуванні. *Машинобудування*. 2012. № 10. С. 207-222.





20. Основи технічної документації: навч. посібник для студентів техн. спеціальностей / Т. В. Терлецький, О. Л. Кайдик, А. А. Ткачук, О. Ю. Речун; під заг. ред. Т. В. Терлецького. Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2021. 126 с.

*Стаття надійшла до редакції 05.05.2024 р.*

**I. Stukalets<sup>1</sup>, S. Korobka<sup>1</sup>, O. Skliar<sup>2</sup>, B. Boltianskyi<sup>2</sup>, R. Skliar<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Lviv National Environmental University

<sup>2</sup> Dmytro Motornyi Tavria State Agrrotechnological University

### **PROBLEMS OF HARMONIZATION OF INTERNATIONAL, INTERSTATE AND NATIONAL STANDARDS OF UKRAINE DURING DESIGN DOCUMENTATION IN SOLIDWORKS**

#### *Summary*

The article examines the current state of affairs in Ukraine in the field of standardization in relation to design documentation. The issue of designing drawings in the SolidWorks environment is considered. The national standards of Ukraine, interstate standards and international standards regarding design documentation have been analyzed. It was established that the majority of national standards of Ukraine are identical translations of international standards and are valid on alternative rights with interstate standards of the Unified Design Documentation System. It was found that the adoption of national standards based on the translation of international standards can often lead to disagreements in the matter of compliance with norms and requirements during the preparation of technical drawings. As a result of the simultaneous effect of alternative standards, the principle of reversibility, the requirement of which is established by DSTU 1.7:2015, is violated.

As a result of the loss of validity of certain interstate standards, according to the authors, it often leads to negative consequences in terms of practical convenience and efficiency in the work of engineers during the design of drawings of parts and assembly units.

The authors analyzed educational and methodical literature on engineering graphics, design of technical drawings, which made it possible to identify shortcomings in terms of methodical presentation of the material, namely: in some editions there are references to invalid regulatory documents, although they expired long before the publication of the educational edition; in separate educational and methodological works, if there are references to current standards, then the norms and requirements in the text of the textbook or manual do not always correspond to the standards to which the reference is made.

The method of execution of drawings and specifications in the SolidWorks automated design system was analyzed. It was found that, despite the availability of drawing templates in accordance with ISO and GOST, the principles of design drawings of parts, assembly units and specifications do not meet these standards. Therefore, in order to increase the efficiency of work during design documentation in SolidWorks, the authors recommend users to create their own drawing templates in accordance with national, interstate or international standards.

**Key words:** ISO, DSTU, SolidWorks, drawing, design documentation.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-12

УДК 004.822:620.9

О. Є. Мацулевич<sup>1</sup>, канд. техн. наук ORCID: 0000-0001-5553-709XО. О. Вершков<sup>1</sup>, канд. техн. наук ORCID: 0000-0001-5137-3235О. Ю. Михайленко<sup>1</sup>, ст. викладач ORCID 0000-0002-8836-3222І. Р. Тетервак<sup>1</sup>, асистент ORCID 0009-0009-0616-8983<sup>1</sup> *Таврійський державний агротехнологічний університет**імені Дмитра Моторного*

e-mail: oleksandr.matsulevych@tsatu.edu.ua, тел.: +380972604374

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ВІТРОГЕНЕРАТОРНИХ СТАНЦІЙ МАЛОЇ ТА СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ

*Анотація.* Використання автономних вітрогенераторних станцій малої та середньої потужності для виробництва електроенергії є найефективнішим способом утилізації енергії вітру та економічно виправдано для доставки електроенергії у важкодоступні райони.

Такі установки мають попит у країнах, у тому числі й в Україні, де є безліч сіл, селищ, невеликих містечок, а також індивідуальних сільських господарств.

Мета даної роботи полягає у розробці методики розташування індивідуальних вітроенергетичних установок на конкретних територіях із урахуванням їхніх природно-кліматичних умов, визначенні необхідного їхнього типу та кількості, а, також, у розробці програмного забезпечення визначення профілю лопатей вітрогенератора.

З цією метою авторами проведено передпроектне дослідження стану, кількості та вартості споживання електричної енергії в селищі на даний час та проаналізовано технічні характеристики існуючих вітряних електричних станцій (ВЕС) та природні умови для розміщення ВЕС. Розроблено алгоритм визначення необхідної кількості вітряних енергетичних установок для забезпечення безперебійного постачання електричної енергії у невеликих населених пунктах України та розроблено методику отримання профілю перетину лопаті вітроенергетичної установки на основі використання методів аналітичної та диференціальної геометрії, математичного аналізу, елементів комп'ютерного моделювання, для розробки алгоритму раціонального розміщення вітрогенераторних установок та визначення координат точок профілю поперечного перерізу лопаті вітрогенератора.

*Ключові слова:* лопать вітрогенератора, профіль поперечного перетину, гладкість обводу профіля, програмне забезпечення, вертикально-осьова установка, система автоматизованого проектування, алгоритм раціонального розміщення, комп'ютерне моделювання.

*Постановка проблеми.* Нафта, газ, кам'яне вугілля відносяться до поновлюваних природних джерел енергії. Дане положення стало



сьогодні знаходити порозуміння не тільки в середовищі вчених, інженерів, екологів, а й в державних і фінансових структурах провідних країн світу. Не випадково швидкими темпами стала розвиватися область досліджень, що отримала назву «альтернативна енергетика», основу якої складають природозберігаючі технології.

Одним з напрямків в даній області є вітроенергетика. Так, в Україні, на даний момент, реалізуються масштабні проекти екологічної системи електропостачання (ЕСЕ) з вироблення електроенергії з використанням вітроенергетичних установок (ВЕУ).

У перспективі створення і розвитку вітроенергетичних станцій (ВЕС) планується збільшення потужностей ще на п'яти вітроенергетичних станціях України, які зараз вже існують і виробляють електроенергію від 0,6 до 3 МВт.

Однак, вартість електроенергії, призведеною подібними ВЕС, практично нічим не відрізняється від вартості електроенергії, яка, зараз, централізовано, поставляється споживачам невеликих районних сільських поселень. Для таких поселень це є не вигідною (приблизно однакова вартість).

Виходячи з цього, виникає питання про доречність та необхідність застосування індивідуальних вітряних електричних станцій малої, або середньої потужності, для забезпечення альтернативною електричною енергією окремих індивідуальних господарств або осель.

#### *Аналіз попередніх досліджень та формулювання цілей статті.*

При виникненні надзвичайних ситуацій, коли порушується централізоване енергозабезпечення населених пунктів (а особливо малонаселених) важливим є найскоріше відновлення енергопостачання. Однак, як відомо, до таких поселень допомога надходить в останню чергу, оскільки (за статистикою) середнє споживання електричної енергії одним жителем такого селища за одну добу становить, приблизно 3,75 кВт.

В цьому випадку найбільш прийнятним є оснащення кожної, окремої, ділянки індивідуальною вітроенергетичною установкою малої або середньої потужності в залежності від індивідуальних потреб конкретного користувача.

*Основна частина.* Для застосування індивідуальних вітроенергетичних станцій для окремих осель необхідно врахувати швидкість та напрям вітру, які є переважними у даному регіоні. Також слід враховувати тип вітрогенераторної установки, тобто схему розташування лопатей такої вітряної станції. Це можуть бути установки із горизонтальною віссю обертання лопатей (рис. 1, а) та установки з вертикальною віссю обертання лопатей (рис. 1, б).



а



б

Рис. 1. Вітрогенераторні установки: а – з горизонтальною віссю обертання лопатей; б – з вертикальною віссю обертання лопатей

Вітроенергетичні установки із горизонтальною віссю обертання забезпечують стабільну потужність, яка виходить із вітроколеса при швидкості вітру не менш від 3,5 м/с. Однак, практика використання подібних автономних електростанцій доводить, що їх використання не в змозі забезпечити користувача тим об'ємом електроенергії, яку заявлено у технічних характеристиках. Втрати енергії в цьому випадку можуть бути обумовлені зміною напрямку вітру при відсутності механізму орієнтації вітроенергетичної установки щодо напрямку вітрового потоку.

До цього ж, слід зазначити, що вітроенергетичні установки із горизонтальною віссю обертання виготовляються потужністю від 1 МВт і досягають розмірів близько 150м в діаметрі (мається на увазі діаметр обертання робочих органів). Також, ці станції не мають системи орієнтації себе відносно напрямку вітру.

Вітрогенераторні станції, які мають вертикальну вісь обертання, внаслідок своєї геометрії, при будь якому напрямі вітру знаходиться у робочому стані.

Такі вітроенергетичні установки, з точки зору на вплив на навколишнє середовище мають наступні переваги перед схемами із горизонтальним розміщенням вісі:

- рівень аеродинамічних, інфразвукових шумів, теле- та радіоперешкод значно нижчий.
- значно менший радіус розбросу уламків лопатей у випадку їх руйнування. Також менша вирогідність їх руйнування.
- значно нижча вирогідність зіткнення лопатей із птахами.

Вітроенергетичні установки з вертикальною віссю обертання є найбільш ефективними при малій (від 2 КВт до 7 КВт) потужності, що співпадає із концепцією автономних та резервних систем енергозабезпечення окремих локальних споживачів.



Установки такого типу є бистрохідними та відрізняються значно зниженим рівнем шумів та повною відсутністю фінфразвуку. Такі вітроенергетичні установки мають просту конструкцію, високу надійність та простоту ремонтних робіт (в разі необхідності).

Таким чином, вертикально-осьові вітроустановки є простішими і володіють ще рядом переваг перед горизонтально-осьовими вітроустановками. При цьому необхідна якість електроенергії в каналі електропостачання може бути забезпечена стандартними пристроями перетворення електричної енергії (наприклад, джерелами безперебійного живлення типу UPS) з акумуляторною батареєю відповідної ємкості.

Ротор вертикально-осьової вітроустановки це вузол, який забезпечує передачу енергії вітру до генератора електричного струму через редуктор відповідного призначення. Саме від форми та розташування лопатей ротору залежать якісні показники роботи вертикально-осьової вітроенергетичної установки.

Однак, слід зазначити, що, поперечний переріз майже всіх цих лопатей вітрогенераторів має форму профіля Жуковського, який вже давно застосовується при проектуванні робочих поверхонь літальних апаратів (літаків, планерів тощо).

Коефіцієнт корисної дії (ККД) крила «Профіль Жуковського», як було зазначено раніше, максимально наближен до ідеального і становить близько 46%. Стандартна величина лопатей вітрогенератора становить від 2-ох до 6-ти метрів в залежності від кількості лопатей, їх площі та діаметру вітрогенератора такої установки.

Всі ці показники впливають на вибір потужності електрогенератора. На рис. 2 надано стандартний профіль Жуковського та орієнтовну модель лопаті ротора вертикально-осьової вітроустановки.

У вітроенергетичних установках з вертикальним розташуванням приводного валу, сполученого, через редуктор, із генератором, відбувається перетворення механічної енергії в кінетичну і, частково, в потенційну енергію направленою потоку повітря, тобто, спостерігається збільшення його швидкості. Лопаткові вітроенергетичні установки складаються з осьових рядів лопаток, які формують канали з дифузійним характером руху.

Не дивлячись на значний прогрес в удосконаленні методів геометричного моделювання і обробки робочих поверхонь пресформ при виготовленні лопаток вітроенергетических установок, які проектуються за відомими методиками, та застосовуються для формування поперечних перетинів лопатей, що мають профіль



Жуковського, виникають проблеми із забезпеченням точності профілів перерізів лопатей вітрогенераторних установок.

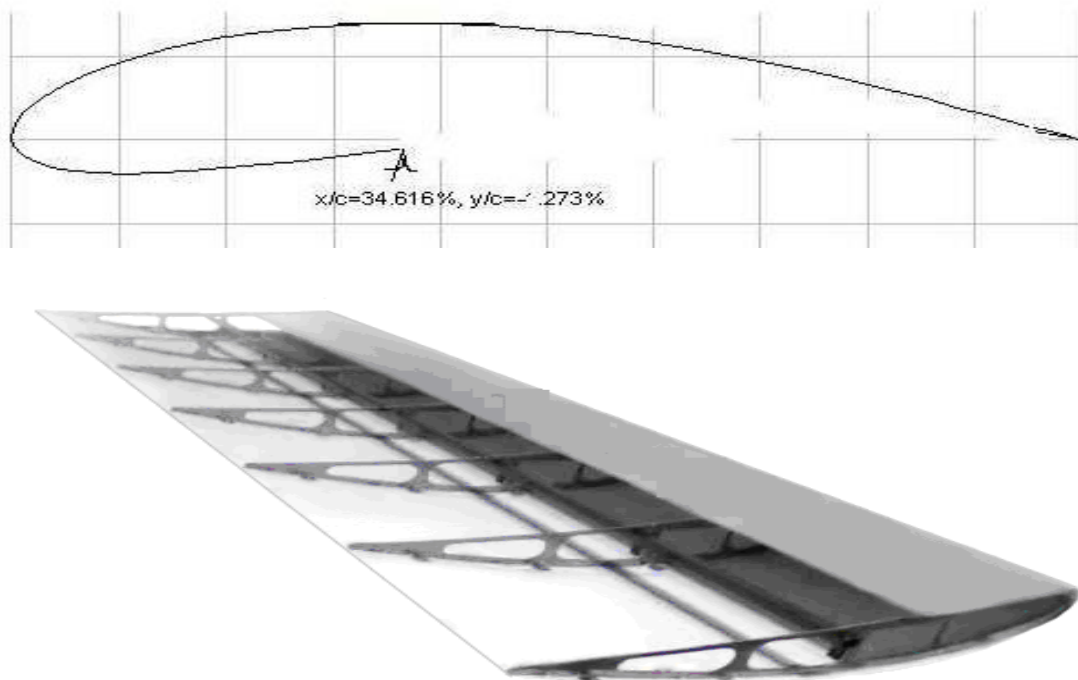


Рис. 2. Стандартний профіль Жуковського та орієнтовну модель лопаті ротора вертикально-осьової вітроустановки

Тому виникає необхідність в поліпшенні геометрії аеродинамічних обводів і поверхонь, які обмежують потік повітря і впливають на розділення параметрів потоку (тиск, температура, швидкість і так далі) як по профілях лопаток, так і по висоті проточної частини, і у вживанні новітніх технологічних прийомів для виготовлення лопаток на сучасних оброблювальних центрах з числовим програмним управлінням (ЧПУ).

Аналізуючи все вищесказане, приходимо до наступних висновків: виготовлення технологічного устаткування для виробництва лопаток вітроенергетичеських установок виробляється на високо-технологічному і високошвидкісному устаткуванні при широкому вживанні комп'ютерної техніки. Основоположним, при цьому, є наявність просторової геометричної моделі лопатки, що задовольняє специфічним властивостям програмних засобів оброблювальних центрів і в максимальній мірі тих, що враховують можливості даного обладнання.

Таким чином, для виконання завдання по моделюванню профілю поперечного перетину лопатей вітроенергетичеських установок найюільш доцільним буде застосування методів дискретної інтерполяції дискретно представлених кривих (у нашому випадку – кривої, яка найкращим чином описує профіль Жуковського), що враховує заданий закон зміни кутів локального нахилу згущуваної





супровідної ламаної лінії (СЛЛ) дискретно представленої кривої (ДПК), відносно заданої осі для вирішення задачі профілізації лопаток на сучасному високошвидкісному оброблювальному центрі з ЧПУ.

Аналіз існуючих методів моделювання замкнених кривих ліній замкненого типу із перехідними ланками (від опуклих до ввігнутих і навпаки) виявив такі особливості, що, при застосуванні будь яких методів дискретного геометричного моделювання (ДГМ), переважним є форма дискретно представленої кривої та її габаритні параметри, простота аналітичного опису кривих, можливість параметричного перезадання вихідної ДПК. Це дає змогу повною мірою використовувати можливості відомих методів інтерполяції однозначних кривих.

Однак, виникають труднощі через необхідність проведення додаткових розрахунків, складності обліку заданих значень похідних, падіння точності рішення задач в силу притаманним параметричному завданню особливостям. Крім того, параметричне моделювання не гарантує відсутності осциляції рішення.

Враховуючи обмеженість безперервних методів, а також можливості дискретного геометричного моделювання (ДГМ), було вирішено за основу реалізації задачі формування точок профілю перетину лопаті вітрогенераторної станції взяти метод, який названо «Метод серединних перпендикулярів», який не залежить від числа точок дискретно представленої кривої (ДПК) та їх розташування, дає можливість проводити інтерполяцію за умови, що це не призведе до появи осциляції всієї результуючої ДПК.

На рис. 4 представлено схему визначення координат точок згущення ДПК, що використовуються для побудови поперечних перетинів лопатей вітроенергетичної установки.

Алгоритм отримання координат проміжних точок (точок згущення) профілю перетину робочої поверхні лопаті вітрогенераторної установки полягає в наступному:

1. Розраховуються кути суміжності  $\gamma_{i-0,5}^1$ ,  $i = \overline{1;n}$  ланок згущеної ДПК з умовою опуклості згущеної ДПК – дотримання нерівностей  $\gamma_{i-0,5}^1 > 0$ ,  $i = \overline{1;n}$ .

2. Визначаються довжини ланок вихідної СЛЛ

$$l_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}; \quad i = \overline{1;n} \quad (1)$$

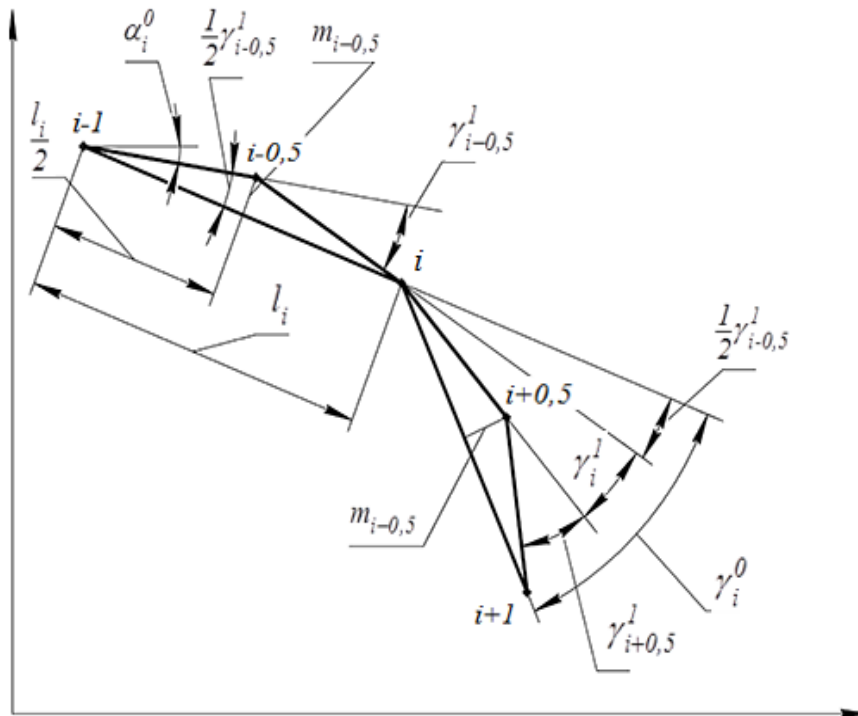


Рис. 4. Схема формування точок згущення ДПК

3. Знаходяться перевищення точок згущення над відповідними хордами

$$m_{i-0,5}^1 = \frac{l_i}{2} \operatorname{tg} \frac{\gamma_{i-0,5}^1}{2}, \quad i = \overline{1;n} \quad (2)$$

4. Визначаються координати точок згущення

$$\begin{aligned} x_{i-0,5} &= \frac{x_i + x_{i-1}}{2} - m_{i-0,5}^1 \sin \alpha_{i-1}^0 \\ y_{i-0,5} &= \frac{y_i + y_{i-1}}{2} + m_{i-0,5}^1 \cos \alpha_{i-1}^0, \quad i = \overline{1;n} \end{aligned} \quad (3)$$

Використовуючи формули (1), (2), (3), визначаються послідовно довжини  $l_i$  ланок супровідної ламаної лінії (СЛЛ), перевищення  $m_{i-0,5}^1$ , де  $\gamma_{i-0,5}^1 = \gamma_{min}^1$ , і координати  $i$  точок згущення  $x_{i-0,5}, y_{i-0,5}$ .

На базі наведеного, у попередньому розділі, алгоритму в середовищі Delphi створено програму, яка дозволяє швидко розраховувати точковий ряд ДПК.

Однак, оскільки подальше проектування лопатей вітрогенераторних установок буде проводитись із використанням програмного продукту AutoCAD, виникає необхідність забезпечення зв'язку Delphi з AutoCAD.

Для реалізації можливості взаємозв'язку Delphi з AutoCAD необхідно транслювати в Delphi бібліотеку типів AutoCAD.

Програмний модуль який буде відповідати за побудову точкового ряду (як вихідного так і згущеного) оснований на побудові серединних перпендикулярів дозволяє отриманий точковий ряд імпортувати в програмний продукт Autodesk AutoCAD 2007.

Основне вікно наведено на рис. 5.

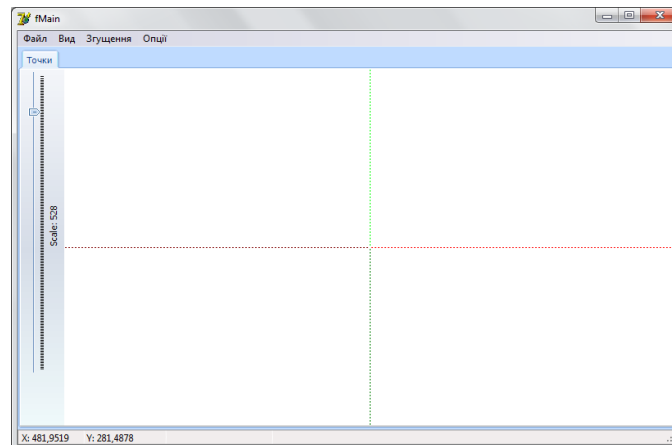


Рис. 5. Основне робоче вікно програми

На рис. 6 представлені порівняльні результати розрахованого та згущеного точкового ряду

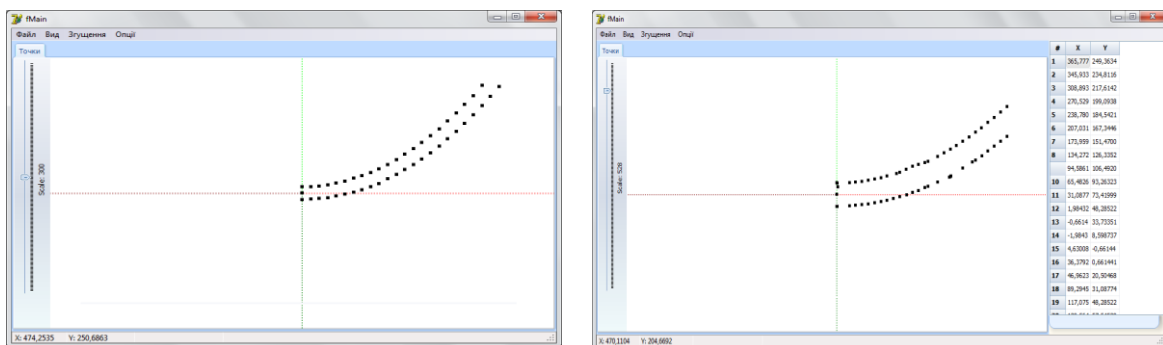
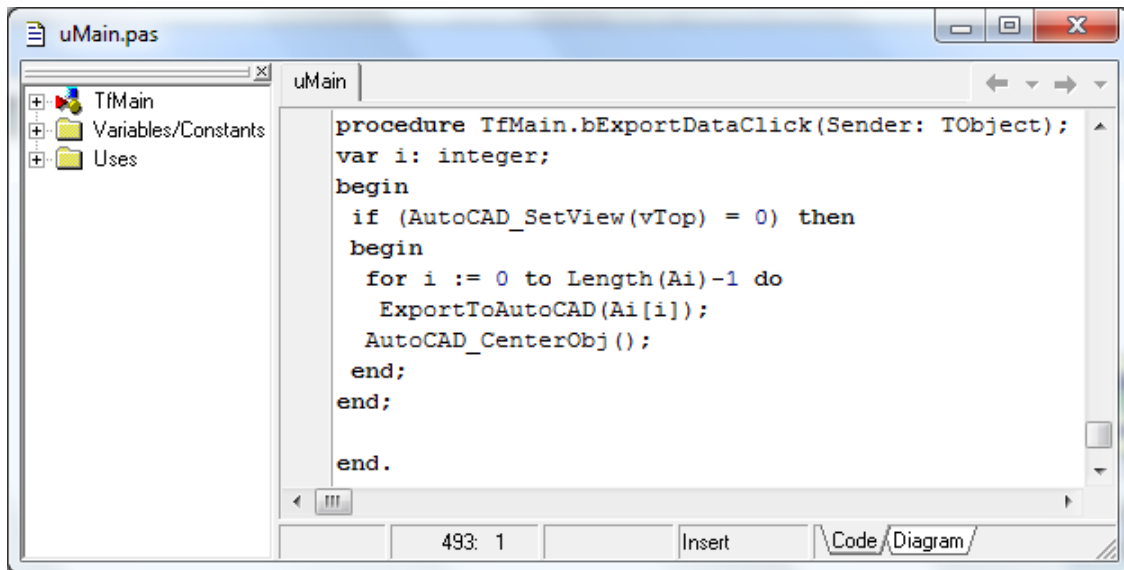


Рис. 6. Результат введення розрахованого точкового ряду

Головна перевага даного програмного продукту те що вона синхронізована із програмним продуктом Autodesk AutoCAD. У результаті цього у користувача є можливість експортувати отримані дані в програму САПР AutoCAD натисканням кнопки «**Export Data to AutoCAD**» і точковий ряд буде перебудований у програмний продукт Autodesk AutoCAD.

Частина програмного коду яка реалізує перенос точкового ряду в програмне середовище Autodesk AutoCAD (рис. 7).



```
uMain.pas
uMain
procedure TfMain.bExportDataClick(Sender: TObject);
var i: integer;
begin
  if (AutoCAD_SetView(vTop) = 0) then
  begin
    for i := 0 to Length(Ai)-1 do
      ExportToAutoCAD(Ai[i]);
      AutoCAD_CenterObj();
    end;
  end;
end.
493: 1
Insert
Code/Diagram
```

Рис. 7. Фрагмент програмного коду

Отриманий профіль лопаті вітрогенератора за допомогою створеного програмного модулю імпортується у систему AutoCAD (рис. 8).

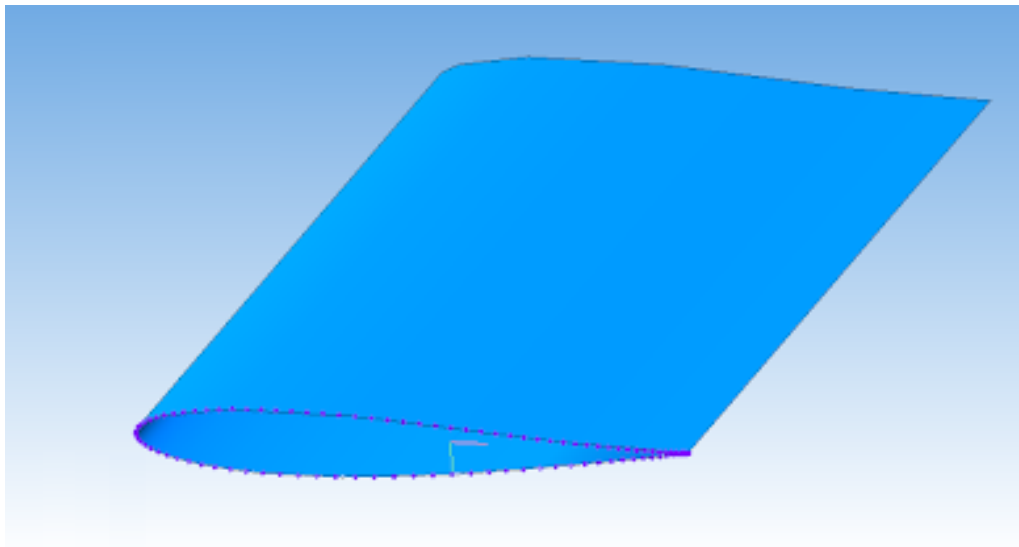


Рис. 8. Побудована 3D модель лопаті вітрогенератора

*Висновки.* В роботі досліджено та обгрунтовано доцільність використання вітрогенераторів з вертикальною віссю обертання для забезпечення електричною енергією окремих (індивідуальних) осель.

На основі проведених досліджень було обгрунтовано вибір профілю поперечного перетину лопатей вертикально-осьових установок, розроблено вдосконалену методику розрахунку координат точок профілю функціональних поверхонь вітрогенераторних установок із застосуванням методів та алгоритмів варіативного



дискретного геометричного моделювання (ВДГМ) та розроблено, засобами програмування Delphy, адаптоване для середовища Autodesk AutoCAD, оригінальне програмне забезпечення реалізації запропонованої методики;

#### *Список використаних джерел*

1. Перспективи розвитку вітрових електростанцій в Запорізькій області. *Запорізький час*. URL: <http://timeszp.com/articles/7972-perspektivy-razvitiya-vetryanych-ehlektrostantsijj-v-zaporozhskojj-oblasti.html> (дата звернення 02.04.2024).

2. Михайленко О. Ю. Огляд існуючих конструкцій вітроенергетичних установок. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Вип. 13, т. 2. С 188-193.

3. Спірінцев В. В. Геометричне моделювання профілів лопаткових апаратів компресорів на основі адаптивного методу дискретної інтерполяції. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2018. Вип. 8, т. 1. С. 95-102.

4. Мацулевич Ю. О., Мацулевич О. Є. Використання екологічних систем альтернативного енергозабезпечення при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності*: зб. наук. праць XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. Львів: ЛДУ БЖД, 2019. С. 167-169.

5. Вершков О. О., Бондаренко Л. Ю., Антонова Г. В., Тетервак І. Р. Аналіз дослідної експлуатації програмного модулю розрахунку норм часу обробки деталей сільськогосподарської техніки. *Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології*: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (Запоріжжя, 12-19 грудня 2022р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2022. С. 94-100.

6. Гавриленко Є. А., Чаплінський А. П., Тетервак І. Р. Розробка функціональної моделі процесу створення САПР геометричних поверхонь зубозаточувального інструменту. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації*: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С 48-56.

7. Alrefo I. F., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Designing the working surfaces of rotary planetary mechanisms. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. Vol. 4. P. 82-88. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/082>.

8. Гавриленко Є. А., Холодняк Ю. В., Гоєнко Д. С., Чернобильський Д. Ю. Розробка бібліотеки функцій та САПР на основі CAD-системи POWERSHAPE. *Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології*: матер. Всеукр. наук.-практ.



інтернет-конференції (Мелітополь, 7-25 грудня 2020 р.). Мелітополь, 2020. С. 93-97.

9. Мацулевич О. Є., Щербина В. М., Антонова Г. В. Програмне забезпечення для автоматизованого визначення параметрів різального інструменту фрезерної обробки корпусних деталей. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2020. Вип. 20, т. 3. С. 275-281.

10. Михайленко О. Ю., Антонова Г. В. Технологія формоутворення елементів каркасу динамічної поверхні. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12, т. 2. № 26.

11. Корчинський В. М., Свиначенко Д. М., Мацулевич О. Є. Методи підвищення інформаційних показників багатоспектральних зображень на основі ортогоналізації даних. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2014. Вип. 14, т. 2. С. 264-270.

12. Гавриленко Є. А., Холодняк Ю. В., Мірошніченко М. Ю. Алгоритм моделювання одновимірних обводів за заданими умовами. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12, т. 1. № 22.

13. Bondarenko L., Halko, S., Matsulevych O., Tetervak I, Vershkov O., Mirosnyk O., Nitsenko V., Havrysh V. Experimental Research on Unit Operation for Fruit Crops' Bones Calibration. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(1). P. 21.

14. Мацулевич О. Є., Щербина В. М., Залевський С. В. Автоматизація процесу геометричного моделювання робочих поверхонь насадок для фонтанів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 8, т. 1. С. 55-68.

15. Дереза О. А., Антонова Г. В., Тетервак І. А., Валієва К. М. Аналітичні дослідження методики інтелектуального аналізу даних. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації*: матер. IV Міжнар. наук.-практ. конференції (Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 147-153.

16. Івженко О. В., Антонова Г. В. Реверс інжиніринг та виготовлення складної тривимірної поверхні. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12, т. 1. № 23.

17. Холодняк Ю. В., Гавриленко Є. А. Розв'язання позиційних задач при моделюванні монотонних кривих ліній. *Сучасні проблеми моделювання*. 2022. Вип. 24. С. 173-181.

18. Івженко О. В., Антонова Г. В. Проект технології обробки базових деталей з високою якістю поверхні. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 21, т. 1. С. 310-316.





19. Івженко О. В., Антонова Г. В., Чаплінській А. П., Михайленко О. Ю. Спеціалізований програмний модуль розрахунку операційних норм часу обробки деталей сільськогосподарської техніки за умов індивідуальної організації праці. *Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології*: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (Запоріжжя, 12-19 грудня 2022р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2022. С. 361-368.

20. Холодняк Ю. В., Гавриленко Е. А. Моделирование каркаса динамических поверхностей. *Інноваційні технології в агропромисловому комплексі*: матеріали II Всеукраїн. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 21-24.

21. Холодняк Ю. В., Гавриленко Є. А. Моделювання кривих ліній з заданою точністю. *Інноваційні технології в агропромисловому комплексі*: матеріали II Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 28-31.

22. Тетервак І. Р. Проблема наявності патогенів у компості. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2023. Вип. 13, т. 2. № 16.

23. Гавриленко Є. А., Холодняк Ю. В. Забезпечення заданих характеристик уздовж лінійних елементів каркасу поверхні. *Інноваційні технології в агропромисловому комплексі*: матеріали II Всеукраїн. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 58-41.

24. Козина К. В., Дуков В. О., Вершков О. О. Виготовлення прес-форми для масового виробництва. *Збірник наукових праць магістрантів та студентів*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 30-31.

25. Гавриленко Є. А., Холодняк Ю. В., Гоєнко Д. С., Чернобильський Д. Ю. Використання бібліотеки функцій САД-системи POWERSHAPE для побудови складальної одиниці. *Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології*: матеріали Всеукр. наук.-практ. ІНТЕРНЕТ-конференції (Мелітополь 7-25 грудня 2020 р.). Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 98-102

26. Холодняк Ю. В., Гавриленко Є. А., Зінов'єва О. Г. Розробка алгоритму моделювання кривих з заданими властивостями. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2023. Вип. 13, т. 1. № 41.

*Стаття надійшла до редакції 01.05.2024 р.*



O. Matsulevych<sup>1</sup>, O. Vershkov<sup>1</sup>, O. Mikhailenko<sup>1</sup>, I. Tetervak<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

## COMPUTER SIMULATION OF THE FUNCTIONAL SURFACES OF INDIVIDUAL WIND GENERATOR STATIONS OF SMALL AND MEDIUM POWER

### *Summary*

The use of autonomous wind turbines of small and medium power for the production of electricity is the most effective way of utilizing wind energy and is economically justified for the delivery of electricity to hard-to-reach areas. Such installations are in demand in countries, including Ukraine, where there are many villages, towns, small towns, as well as individual farms.

The purpose of this work is to develop a methodology for the location of individual wind energy installations in specific territories, taking into account their natural and climatic conditions, to determine the necessary type and number of them, as well as to develop software for determining the profile of wind generator blades.

For this purpose, the authors conducted a pre-project study of the status, quantity and cost of electricity consumption in the village at the moment and analyzed the technical characteristics of existing wind power stations (WES) and the natural conditions for the placement of WES. An algorithm for determining the required number of wind power plants to ensure an uninterrupted supply of electricity in small settlements of Ukraine has been developed, and a methodology for obtaining the cross-section profile of the blade of a wind power plant based on the use of methods has been developed analytical and differential geometry, mathematical analysis, elements of computer modeling, for the development of an algorithm for the rational placement of wind generator installations and the determination of the coordinates of the points of the profile of the cross section of the wind generator blade.

The original software was developed using Delphy programming tools, which is adapted to the Autodesk AutoCAD environment for the implementation of the methodology proposed in the work for determining the points of the cross-section profile of the wind generator blade.

**Keywords:** of wind turbine blades, cross-sectional profile, smoothness of profile outline, software, vertical -axial installation, automated design system, rational placement algorithm, computer modeling.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-13

УДК [514.1+602]:61

О. В. Залевська<sup>1</sup>, канд. техн. наук ORCID: 0000-0002-3163-1695В. М. Можаровський<sup>1</sup>, канд. техн. наук ORCID: 0009-0002-0884-4876Л. В. Суворов<sup>2</sup>, зав. лабораторією ORCID: 0000-0002-3163-1695А. С. Половий<sup>2</sup> ORCID: 0009-0007-9849-8968О. Я. Якубовський<sup>1</sup>, магістр ORCID: 0009-0004-2782-3565<sup>1</sup> Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

<sup>2</sup> Державна Установа "Інститут травматології та ортопедії

Національної Академії Медичних Наук України"

e-mail: o.zalevska@kpi.ua, тел.: +380975154221

## СЕГМЕНТАЦІЯ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ МЕТОДОМ ФРАКТАЛЬНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ

*Анотація.* Обробка медичних даних є важливою складовою сучасної медичної інформатики, а використання фрактальної кластеризації, для сегментації та аналізу цих даних, відкриває нові можливості для поліпшення діагностики, прогнозування захворювань та розробки ефективних методів лікування. У цій статті ми пропонуємо огляд поточного стану досліджень у цій галузі, а також підхід до застосування фрактальної кластеризації для аналізу та сегментації медичного зображення. Такий підхід використовує математичні моделі, що будуються на основі фрактального кластерного аналізу, з метою поліпшення діагностики, прогнозування захворювань та розробки ефективних методів лікування. Використання фрактальної кластеризації дозволяє проводити комплексний аналіз медичних даних на різних рівнях. Це дозволить виявити нові закономірності та зв'язки між процесами, що відбуваються в організмі та захворюваннями. Це відкриває можливості для розробки персоналізованих методів лікування, а також допомагає в ідентифікації ризикових факторів та попередженні захворювань. Дослідження в цій галузі може сприяти створенню більш точних та ефективних систем медичної діагностики та терапії, що покращить якість медичного обслуговування та збільшить шанси на одужання пацієнтів.

*Ключові слова:* медичні дані, зображення, фрактальна кластеризація, моделювання, програмне забезпечення, сегментація.

*Постановка проблеми.* У сучасній медицині медичні зображення, такі як магнітно-резонансна томографія (МРТ), комп'ютерна томографія (КТ) та ультразвукові дослідження, відіграють ключову роль у діагностиці, плануванні лікування та моніторингу стану пацієнтів. Ефективна обробка та аналіз цих зображень вимагають точної сегментації, яка дозволяє виділяти



специфічні анатомічні структури або патологічні зміни. Традиційні методи сегментації часто стикаються з проблемами, пов'язаними з неоднорідністю текстур, контрастності та складності анатомічних структур на медичних зображеннях. Це робить процес сегментації складним і часто вимагає значного ручного втручання, що збільшує час обробки та може призводити до суб'єктивності у висновках.

Фрактальна кластеризація пропонує альтернативний підхід, заснований на використанні фрактальних властивостей зображень для автоматизації процесу сегментації. Фрактальні характеристики, які відображають самоподібність та складність структур на різних масштабних рівнях, можуть бути використані для розрізнення між різними тканинами та патологіями. Проте, попри потенційні переваги, метод фрактальної кластеризації теж має недоліки, що пов'язані з визначенням оптимальних параметрів фрактальної аналітики та інтеграцією цього методу в клінічну практику.

Таким чином, основною проблемою є розробка та валідація ефективного методу фрактальної кластеризації для сегментації медичних зображень, який би дозволив автоматизувати процес сегментації, зменшити час обробки та підвищити точність та об'єктивність діагностики.

*Аналіз останніх досліджень.* Найпоширеніший підхід створення тривимірної моделі в медицині - це перетворення зображень формату DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) на файл формату STL (скорочення від Stereolithography) [1]. При такому перетворенні інформація про об'єкт зберігається як список трикутних граней, що описують його поверхню та їхніх нормалей [2]. Дані STL можуть зберігати інформацію двома різними способами, а саме: у бінарному та ASCII-кодуванні [3]. Обидва формати містять однакову інформацію щодо моделі, але бінарний формат набагато компактніший, оскільки створює менші за розміром файли [4].

Розробкою програмного забезпечення для побудови тривимірної моделі займалися різні світові компанії. Найбільш поширене програмне забезпечення для перетворення DICOM у форма STL та його розробників представлено у таблиці 1 [5-14].

Дані програми можна використовувати з різними підходами, але їх результат може різним. Було проведено дослідження у якому була змодельована частина людської щелепи, всі задані параметри були максимально однакові [15-16]. При цьому вже візуально можна спостерігати різницю спроектованих тривимірних моделей на рисунку 3 [17]. Програми на рисунку були проідентифіковані літерами 3DS (b), 3DV (c), IMJ (d), IN3 (e), MCS (f), MIT (g), OSX (h), S3D (i) та VE3 (j) [18] Найбільш помітними відмінностями у тонких областях кортикальної кістки (жовта стрілка на малюнку a).



Таблиця 1

## Програмне забезпечення для створення тривимірних моделей у медицині

Назва програмного забезпечення	Розробник
3D Slicer (3DS)	Хірургічна планувальна лабораторія, Медична школа Гарварда
3DView (3DV)	RMR Systems Ltd
Image J (IMJ)	Національні інститути здоров'я, Бетесда, Меріленд, США
InVesalius 3 (IN3)	Інформаційно-технологічний центр ім. Ренато Арчера, Сан-Паулу, Бразилія
The Medical Imaging Interaction Toolkit (MIT)	Німецький онкологічний дослідницький центр, Гайдельберг, Німеччина
OsiriX Lite (OSX)	Pixmeo SARL, Женева, Швейцарія
Seg3D (S3D)	Інститут наукових обчислень та зображень, Солт-Лейк-Сіті, Юта, США
Mimics (MCS)	Materialise, Льовен, Бельгія
Volume Extractor 3.0 (VE3)	i-Plants Systems, Івате, Японія

Існує досить багато підходів та методів обробки та досліджень медичних даних, але всі вони мають як свої переваги так і недоліки. Узагальнені недоліки по деяким методам, що використовуються найчастіше наведемо в таблиці 2 [19-25].

Попередня обробка медичного зображення має включати в себе можливість видалення шуму, підвищення контрастності, нормалізацію та інші операції [26].

З аналізу наведених переваг та недоліків слідує необхідність в удосконаленні методів та способів обробки медичних даних.

*Формулювання мети статті.* Мета статті полягає в огляді та аналізі поточного стану досліджень у галузі обробки медичних даних клітинними автоматами.



Таблиця 2

## Недоліки та переваги існуючих методів обробки медичних даних

Метод обробки	Переваги	Недоліки
Комп'ютерна томографія (КТ)	Висока точність у виявленні патологічних змін; Швидкість обробки зображень	Високі дози опромінення; Високі витрати
Магнітно-резонансна томографія (МРТ)	Висока деталізація зображень; Відсутність впливу опромінення	Високі витрати; Обмежена доступність
Ультразвукове дослідження	Мінімально інвазивний; Безпечний для вагітних жінок	Обмежена глибина проникнення; Залежність від оператора
Рентгенівське дослідження	Швидкість отримання зображень; Зручність у використанні	Ризик опромінення; Низька деталізація в порівнянні з іншими методами

Крім того, стаття спрямована на визначення перспективних напрямків використання клітинних автоматів для аналізу медичних даних з метою поліпшення діагностики, прогнозування захворювань та розробки ефективних методів лікування. Також метою статті є висвітлення важливості розвитку цього підходу для створення більш точних та персоналізованих методів медичної діагностики та терапії, що сприятиме покращенню якості медичного обслуговування та результатів лікування пацієнтів.

*Основна частина.* Під медичними даними будемо розуміти медичні зображення отримані за допомогою комп'ютерної техніки. Специфічний формат цих даних пов'язаний з тим, що результат дослідження представлено у вигляді вертикальних зрізів тривимірного об'єкта. При дослідженнях за допомогою магнітно-резонансної чи комп'ютерної томографії такі зрізи робляться з кроком 0,5-1 мм. На біза цих знімків будується тривимірна модель.

Для створення тривимірної моделі важливим етапом є сегментація. Цей процес передбачає відокремлення цільових структур (таких як кістки, органи або тканини) від решти зображення. Це часто виконується за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Відбувається такий процес автоматично, вручну або напівавтоматично, залежно від складності структур і використовуюваного програмного забезпечення.





При ручній сегментації користувач, зазвичай медичний працівник або технік, використовує програмне забезпечення, для окреслення структур, що цікавлять фахівця. Це також може включати малювання контурів навколо структури або використання інструментів пензля для позначення областей. Ручна сегментація забезпечує високу точність, але є час витратним та може піддаватися варіативності користувача. Процес сегментації вручну є достатньо складним. Тонкі кісткові структури (наприклад, кістка, що оточує носову порожнину) та вузькі проміжки тканин (наприклад, верхня і нижня суглобова порожнина між скроневою кісткою та нижньою щелепою) не відтворюються чітко у моделі STL. Ще однією причиною складності є те, що певні об'єкти можуть знижувати читабельність зображень і перешкоджати сегментації.

Напівавтоматичний метод сегментування для створення тривірної моделі не підходить під усі анатомічні випадки, а лише де певна анатомія має дуже виражений набір значень (високий контраст). Зберігаючи лише певні значення медичного зображення, ми можемо візуалізувати конкретну частину тіла. У КТ-зображеннях значення пікселя представляє щільність, тому збереження яскравіших пікселів залишає лише кістку. Вибір діапазону підсвічує весь образ, перешкоджаючи екстракції лише кістки. Вибираючи лише пікселі зі значенням 200 і вище (від 200 до 3033), залишається позначеною лише кістка.

Розглянемо ще один можливий підхід до сегментації медичного зображення – фрактальну розмірність.

Алгоритм фрактальної кластеризації для медичних зображень складається з наступних кроків:

1. Підготовка даних.
2. Визначення фрактальних характеристик.
3. Побудова фрактального простору.
4. Кластеризація зображень.
5. Оцінка та аналіз кластерів.
6. Валідація результатів.

Дослідження методом фрактальної кластеризації позпочинаємо зі збіру та попередньої обробки медичних зображень, таких як зображення з рентгенівських або МРТ сканувань. Використовуємо фрактальний аналіз для визначення фрактальних характеристик кожного зображення. До таких характеристик можна віднести фрактальну розмірність, фрактальний інтеграл, або інші фрактальні параметри. Кожне зображення представляємо набором точок з відповідними фрактальними характеристиками. До цього набору затосовуємо один з методів кластеризації, таких як алгоритми кластеризації k-середніх, ієрархічна кластеризація або спектральна



кластеризація. Це дозволяє згрупувати точки з критерієм кластеризації – фрактальні характеристики. Проводимо оцінку отриманих кластерів з метою виявлення корисних паттернів або аномалій в медичних даних. Це може включати використання методів візуалізації для аналізу кластерів та їхніх характеристик. Перевіряємо отримані дані результату на відповідність клінічним даним та медичним експертним оцінкам.

Цей алгоритм може бути реалізований за допомогою програмних мов та бібліотек, які підтримують фрактальний аналіз та алгоритми кластеризації, таких як Python з бібліотеками `scikit-learn`, `SciPy`, а також спеціалізовані програмні пакети для медичного обробки зображень, які містять інструменти для фрактального аналізу та кластеризації.

Як і будь-яка інша технологія, вона має певні обмеження, які можуть впливати на її ефективність та застосовність. Переваги, потенційні обмеження фрактальної кластеризації та шляхи їх подолання представимо в таблиці 3.

Фрактальна кластеризація пропонує значні переваги для сегментації медичних зображень, але її ефективне використання вимагає подолання низки обмежень. Через оптимізацію алгоритмів, розробку адаптивних методів налаштування параметрів, покращення інтерпретації результатів та ідентифікацію оптимальних областей застосування, можливо значно розширити можливості та ефективність цього методу в медичній діагностиці та дослідженнях.

*Висновки.* Медичні дані є важливим ресурсом, і використання фрактальної кластеризації для аналізу та сегментації цих даних може відкрити нові можливості для поліпшення діагностики, прогнозування захворювань та розробки ефективних методів лікування. Використання фрактальної кластеризації дозволяє проводити комплексний аналіз медичних даних на різних рівнях, що може призвести до виявлення нових закономірностей та зв'язків між процесами, що відбуваються в організмі та захворюваннями. Дослідження в галузі фрактальної кластеризації може сприяти створенню більш точних та ефективних систем медичної діагностики та терапії, що покращить якість медичного обслуговування та збільшить шанси на одужання пацієнтів.

Подальші дослідження в цій галузі можуть сприяти розробці нових методів обробки медичних даних, що враховуватимуть індивідуальні особливості пацієнтів та характеристики їхніх захворювань, що в свою чергу покращить результати лікування.



Таблиця 3

## Переваги, потенційні обмеження фрактальної кластеризації та шляхи їх подолання

Переваги	Обмеження	Шляхи подолання
-Врахування фрактальних властивостей. -Можливість розкриття внутрішньої структури. -Робустність до шуму	Складність обчислень	Оптимізація алгоритмів фрактального аналізу та використання паралельних обчислень можуть значно знизити час обробки. Розробка спеціалізованого програмного забезпечення, яке ефективно використовує ресурси GPU, також може стати рішенням
	Вибір параметрів	Розробка адаптивних алгоритмів, які можуть автоматично налаштовувати параметри в залежності від характеристик даних. Також корисним буде створення докладних рекомендацій та методичних вказівок для дослідників
	Інтерпретація результатів	Розробка інтуїтивно зрозумілих візуалізаційних інструментів та дашбордів, які можуть демонструвати результати аналізу в зрозумілій формі, допоможе дослідникам краще інтерпретувати дані. Освітні програми та семінари з фрактального аналізу також можуть підвищити рівень розуміння
	Загальність методу	Проведення додаткових досліджень для ідентифікації типів даних, для яких фрактальна кластеризація є найбільш ефективною, допоможе визначити її оптимальні області застосування. Розробка комбінованих методів, які інтегрують фрактальний аналіз з іншими техніками обробки зображень, також може розширити можливості її використання.

*Список використаних джерел.*

1. Hripcsak G., Duke J. D., Shah N. H., Reich C. G., Huser V., Schuemie M. J., Suchard M. A., Park R. W., Wong I. C., Rijnbeek P. R., van der Lei J., Pratt N., Norén G. N., Li Y. C., Stang P. E., Madigan D., Ryan P. B. Observational Health Data Sciences and Informatics (OHDSI): Opportunities for Observational Researchers. *Stud Health Technol Inform.* 2015. Vol. 216. P. 574-8.
2. Yu J. Y., Kim D., Yoon S., Kim T., Heo S., Chang H., Han G. S., Jeong K. W., Park R. W., Gwon J. M., Xie F., Ong M. E. H., Ng Y. Y., Joo H. J., Cha W. C. Inter hospital external validation of interpretable machine learning based triage score for the emergency department using common data model. *Sci Rep.* 2024. Vol. 14(1). e 6666. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54364-7>.
3. Залевська О., Фіногенов О., Демиденко О., Олійник Ю., Ільєнко Р. Бінарна класифікація медичних зображень з використанням нейронної мережі. *Сучасні проблеми моделювання.* 2022. Вип. 23. С. 81-89.
4. Ванін В., Залевська О., Воробйов О., Лазарчук-Воробйова Ю. Переваги та недоліки існуючих програмних застосунків для обробки графічних зображень *Сучасні проблеми моделювання.* 2022. Вип. 23. С. 38-48.
5. Залевська О., Мірошніченко І., Смаковський Д., Гагарін О., Паламар І. Удосконалення методу кластеризації зображення. *Сучасні проблеми моделювання.* Вип. 24. С. 79-86.
6. Khosravi M., Zare Z., Mojtabaeian S. M., Izadi R. Artificial Intelligence and Decision-Making in Healthcare: A Thematic Analysis of a Systematic Review of Reviews. *Health Serv Res Manag Epidemiol.* 2024 Vol.11. <https://doi.org/10.1177/23333928241234863>.
7. Aung Y. Y. M., Wong D. C. S., Ting D. S. W. The promise of artificial intelligence: a review of the opportunities and challenges of artificial intelligence in healthcare. *Br Med Bull.* 2021. Vol. 139(1). P. 4-15. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldab016>.
8. Cresswell K., Majeed A., Bates D. W., Sheikh A. Computerised decision support systems for healthcare professionals: an interpretative review. *Inform Prim Care.* 2012. Vol. 20(2). P. 115-128. <https://doi.org/10.14236/jhi.v20i2.32>.
9. Kaushal R., Shojania K. G., Bates D. W. Effects of computerized physician order entry and clinical decision support systems on medication safety: a systematic review. *Arch Intern Med.* 2003. Vol. 163(12). P. 1409-1416. <https://doi.org/10.1001/archinte.163.12.1409>.
10. Gulshan V., Peng L., Coram M. [et al.]. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA.* 2016. Vol. 316(22). P. 2402-2410.



11. Poplin R., Varadarajan A. V., Blumer K. [et al.]. Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deep learning. *Nat Biomed Eng.* 2018. Vol. 2(3). P. 158-164.
12. Giordano C., Brennan M., Mohamed B., Rashidi P., Modave F., Tighe P. Accessing artificial intelligence for clinical decision-making. *Front Digit Health.* 2021. Vol. 3. e 645232.
13. Amin D., Garzón-Orjuela N., Garcia Pereira A., Parveen S., Vornhagen H., Vellinga A. Artificial intelligence to improve antibiotic prescribing: a systematic review. *Antibiotics (Basel).* 2023. Vol. 12(8). P. 1293. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12081293>.
14. Benzinger L., Ursin F., Balke W. T., Kacprowski T., Salloch S. Should artificial intelligence be used to support clinical ethical decision-making? A systematic review of reasons. *BMC Med Ethics.* 2023. Vol. 24(1). P. 48. <https://doi.org/10.1186/s12910-023-00929-6>.
15. Fernandes M., Vieira S. M., Leite F., Palos C., Finkelstein S., Sousa J. M. C. Clinical decision support systems for triage in the emergency department using intelligent systems: a review. *Artif Intell Med.* 2020. Vol. 102. e101762. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2019.101762>.
16. Briganti G., Le Moine O. Artificial intelligence in medicine: today and tomorrow. *Front Med (Lausanne).* 2020. Vol. 7. P. 27.
17. Mirbabaie M., Stieglitz S., Frick N. R. Artificial intelligence in disease diagnostics: a critical review and classification on the current state of research guiding future direction. *Health Technol (Berl).* 2021. Vol. 11(4). P. 693-731.
18. Goss E. P., Vozikis G. S. Improving health care organizational management through neural network learning. *Health Care Manag Sci.* 2002. Vol. 5(3). P. 221-227. <https://doi.org/10.1023/a:1019760901191>.
19. Kaur H., Wasan S. Empirical study on applications of data mining techniques in healthcare. *J Comput Sci.* 2006. Vol. 2(2). P. 194–200. <https://doi.org/10.3844/jcssp.2006.194.200>.
20. Nolting J. Developing a neural network model for health care. *AMIA Annu Symp Proc.* 2006. Vol. 2006. P. 1049.
21. Organization W. H. WHO issues first global report on artificial intelligence (AI) in health and six guiding principles for its design and use. *World Health Org.* 2021. Vol. 28(1). P. 180-190.
22. Frize M., Yang L., Walker R. C., O'Connor A. M. Conceptual framework of knowledge management for ethical decision-making support in neonatal intensive care. *IEEE Trans Inf Technol Biomed.* 2005. Vol. 9(2). P. 205-215. <https://doi.org/10.1109/titb.2005.847187>.
23. Troussas C., Krouska A., Kabassi K., Sgouropoulou C., Cristea A. I. Artificial intelligence techniques for personalized educational software. *Front Artif Intell.* 2022. Vol. 5. e 988289.





24. Q. Xia, E. B. Sifah, K. O. Asamoah, J. Gao, X. Du and M. Guizani. MeDShare: Trust-Less Medical Data Sharing Among Cloud Service Providers via Blockchain. *IEEE Access*. 2017. Vol. 5. P. 14757-14767.

25. Bjerring J. C., Busch J. Artificial intelligence and patient-centered decision-making. *Philos Technol*. 2021. Vol. 34. P. 349-371.

26. Labovitz D. L., Shafner L., Reyes Gil. M., Virmani D., Hanina A. Using artificial intelligence to reduce the risk of nonadherence in patients on anticoagulation therapy. *Stroke*. 2017. Vol. 48(5). P. 1416–1419. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.116.016281>.

*Стаття надійшла до редакції 06.05.2024 р.*

**O. Zalevska<sup>1</sup>, V. Mozharovsky<sup>1</sup>, I. Suvorov<sup>2</sup>, A. Polovyi<sup>2</sup>, O. Yakubovskiy<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"**

**<sup>2</sup>State Institution "Institute of Traumatology and Orthopedics  
of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine"**

## **SEGMENTATION OF MEDICAL IMAGES BY FRACTAL CLUSTERING METHOD**

### *Summary*

Medical data processing is an important component of modern medical informatics, and the use of fractal clustering to segment and analyze these data opens up new opportunities for improving diagnosis, disease prognosis, and the development of effective treatments. In this article, we provide an overview of the current state of research in this area, as well as an approach to applying fractal clustering to medical image analysis and segmentation. This approach uses mathematical models based on fractal cluster analysis to improve diagnosis, prognosis of diseases, and development of effective treatments. The use of fractal clustering allows for a comprehensive analysis of medical data at different levels. This will reveal new patterns and connections between the processes occurring in the body and diseases. This opens up opportunities for the development of personalized treatments, as well as helps to identify risk factors and prevent diseases. Research in this area can contribute to the creation of more accurate and efficient medical diagnostic and treatment systems, which will improve the quality of medical care and increase the chances of patient recovery.

Medical data is an important resource, and the use of fractal clustering to analyze and segment this data can open up new opportunities to improve diagnosis, predict diseases, and develop effective treatments. The use of fractal clustering allows for a comprehensive analysis of medical data at various levels, which can lead to the discovery of new patterns and connections between processes occurring in the body and diseases. Research in the field of fractal clustering can contribute to the creation of more accurate and efficient medical diagnostic and treatment systems, which will improve the quality of medical care and increase the chances of patient recovery.

Further research in this area can contribute to the development of new methods of medical data processing that take into account the individual characteristics of patients and their diseases, which in turn will improve treatment outcomes.

**Key words:** medical data, images, fractal clustering, modeling, software, segmentation.





---

**ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ**

---

**DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-14**

УДК 634.232:551.5

І. Є. Іванова<sup>1</sup>, канд. с.-г. наук

ORCID: 0000-0003-2711-2021

М. Є. Сердюк<sup>2</sup>, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-6504-4093

Т. М. Тимошук<sup>3</sup>, канд. с.-г. наук

ORCID: 0000-0001-8980-7334

І. А. Кривонос<sup>1</sup>, ст. викладач

ORCID: 0000-0001-7079-5150

В. М. Малкіна<sup>1</sup>, д-р матем. наук

ORCID: 0000-0003-2711-2021

С. В. Басанець<sup>1</sup>, аспірантЯ. І. Пендрак<sup>1</sup>, аспірант<sup>1</sup> *Таврійський державний агротехнологічний університет**імені Дмитра Моторного*<sup>2</sup> *Національний університет біоресурсів та природокористування**України*<sup>3</sup> *Поліський національний університет*

e-mail: irynaivanova2017@gmail.com, тел.: +380979684745

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТКИ ВПЛИВУ АБІОТИЧНИХ ЧИННИКІВ  
НА НАКОПИЧЕННЯ ФОНДУ СУХИХ РОЗЧИННИХ РЕЧОВИН  
В ПЛОДАХ ЧЕРЕШНІ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ  
ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ**

*Анотація.* Провідне місце серед плодкових культур Південного регіону України займає черешня. Дослідження впливу погодних факторів на формування фонду сухих розчинних речовин в плодах черешні є актуальним питанням з огляду на прогнозування потенційної збереженості плодів черешні та її використання в безвідходному ланцюзі переробки плодової сировини. Метою досліджень було розробити математичну модель прогнозування вмісту сухих розчинних речовин у плодах черешні 33 сортів трьох строків досягання залежно від погодних факторів Півдня Степової зони України для забезпечення подальшого збереження біологічної цінності плодової сировини. Визначена сильна та середня лінійна кореляційна залежність між 17 погодно-кліматичними факторами та вмістом сухих розчинних речовин для сортів черешні раннього, середнього термінів досягання та 16 параметрами клімату для сортів пізньої групи досягання. Математично обґрунтовано, що на накопичення сухих розчинних речовин у плодах черешні незалежно від терміну досягання найбільший вплив мають погодні умови останнього місяця формування плодів.

*Ключові слова:* плоди черешні, сухі розчинні речовини, терміни досягання, погодно-кліматичні фактори, метод головних компонент, факторний аналіз.



*Постановка проблеми.* Черешня (*Prunus avium* L.) є цінним фруктом з родини розоцвітих, що користується попитом і вирощується у багатьох країнах світу [1, 2, 3]. Частка її плодоносних насаджень у світовій площі дорівнює більше 3,1%. Україна за обсягами виробництва плодів черешні знаходиться на десятому місці у світі. Валовий збір її плодів у 2018 році становив близько 3,3% від загальносвітового [4, 5, 6].

За даними FAO світовий ринок плодів черешні є дефіцитним. Відповідно до науково-обґрунтованих норм, людині щорічно потрібно споживати 2 кг плодів черешні [7, 8]. Для забезпечення таких обсягів, світове виробництво черешні має сягати 14 млн тон. Зараз воно становить 4 млн тон.

Плоди черешні є популярними не тільки в Україні, а й в Угорщині, Болгарії, Туреччині. Вони першими відкривають фруктовий сезон, виступають джерелом легкозасвоюваних моноцукрів і містять потужний комплекс корисних біохімічних компонентів [9, 10, 11]. Плоди черешні характеризуються привабливим зовнішнім виглядом і смаковими якостями, а також джерелом біологічно активних чи нутрицевтичних сполук. Саме тому проблема якості плодів черешні широко обговорюється вченими в науковій літературі [12, 13, 14].

Отже, вибрана для дослідження плодова культура є візитівкою Південного регіону України. Але, в умовах зміни погодних умов, антропогенного навантаження, політичними катаклізмами пов'язаними повномасштабним вторгненням та частковою анексією Запорізької області України узгодженість біохімічних процесів у плодах культури може бути порушена та потребує поглибленого аналізу показників якості. Особливих наукових зусиль потребує аналіз впливу абіотичних факторів довкілля на накопичення сухих розчинних речовин в плодах черешні. Виходячи з цього дослідження впливу погодних факторів на формування фонду сухих розчинних речовин в плодах черешні є актуальним питанням з огляду на прогнозування потенційної збереженості плодів черешні та її використання в безвідходному ланцюзі переробки плодової сировини та розбудови переробної галузі Запорізького краю в післявоєнний період.

*Аналіз останніх досліджень.* Дослідженнями науковців встановлено, що для кожного сорту характерний певний, генетично обумовлений біохімічний склад [15, 16]. Висока дегустаційна оцінка плодів черешні обумовлена оптимальним вмістом сухих речовин. Більша частина сухих речовин представлена сухими розчинними речовинами. А саме це вуглеводи, кислоти, азотисті сполуки,



ферменти, розчинні форми пектинів та вітамінів, фенольні сполуки, мінеральні солі, тощо [17, 18].

Діапазон сухих розчинних речовин за даними українських і закордонних науковців становить 14,61–18,98 % [12, 15, 19].

Ряд дослідників акцентують увагу на тому, що рівень вмісту сухих речовин впливає на інтенсивність та спрямованість окисно-відновних процесів при зберіганні плодової продукції та обумовлює вибір режимних параметрів процесу їх переробки [10, 20].

Рівень накопичення сухих речовин може змінюватись під впливом ґрунтових і погодних умов, врожайності, ступеня стиглості плодів. На півдні України плоди найкращих сортів черешні містять 12,1...19,9 % сухих розчинних речовин, у центральній частині країни – всього 11,3...12,8% [4, 18, 21].

Іноземними вченими також було встановлено зміну біохімічного складу і маси плодів черешні сортів різних термінів досягання залежно від регіону вирощування [19, 23, 24].

Отже, рівень вмісту сухих розчинних речовин (СРР) у плодах черешні залежить від багатьох факторів. Проте, відзначається вирішальний вплив погодних параметрів. З огляду на це, питання прогнозування вмісту СРР у плодах черешні залежно від долі участі погодних факторів є актуальним для подальшого вдосконалення технології транспортування та переробки плодової сировини.

У багатьох наукових дослідженнях для аналізу ступеня впливу факторів на дослідний показник традиційно використовують регресійний та кореляційний аналізи. Однак, в умовах, коли кількість факторів для аналізу суттєво перевищує кількість експериментальних дослідів, застосовувати традиційні методи найменших квадратів для побудови регресійної моделі не можливо. Тому пропонується будувати модель методами факторного аналізу (метод головних компонент) [25].

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* Метою досліджень було наукове обґрунтування впливу стресових погодних факторів на процес формування фонду СРР в умовах Південної степової підзони України та створення математичних моделей їх прогнозування для забезпечення подальшого збереження біологічної цінності плодової сировини у безвідходному циклі використання.

Для реалізації поставленої мети було необхідним вирішити наступні завдання (рис. 1).

Дослідження проводились впродовж 12 послідовних вегетаційних періодів з 2008 по 2019 рік. В ході експерименту використано метеорологічні данні, що надані метеостанцією м. Мелітополя, Україна.



Рис. 1. Завдання розробки математичної моделі прогнозування вмісту СРР у плодах черешні залежно від погодних факторів Півдня Степової зони України

Садівничі господарства регіону досліджень розташовано в Південній степовій підзоні України.

Для дослідження були обрані плоди черешні трьох термінів досягання (рис. 2).



Рис. 2. Модельні сорти, що взяті для дослідження

Плоди дослідної культури кожного помологічного сорту збирали у стані споживчої стиглості. На момент визначення показника якості плоди мали зовнішній вигляд та смак, властивий помологічному сорту.

Вибірка плодів для визначення вмісту СРР для кожного помологічного сорту становила 100 плодів які були зібрані з 6 дерев, що вступили в повне плодоношення. Дерев обрані для досліджень були типовими для певного помологічного сорту, одного віку, з середньою інтенсивністю плодоношення. Плоди зважували та рахували безпосередньо при збиранні [4].

Вміст СРР визначали рефрактометричним методом. Оцінка якості показника кожного помологічного сорту проводилась у 5-ти кратній повторності [26]. Відбір та підготовку проб до аналізів виконували за ДСТУ ISO 874-2002 [27]. Вміст СРР визначали рефрактометричним методом за ДСТУ ISO 2173:2007 [28].

Побудову моделей залежності формування фонду СРР черешні від погодних факторів проводили за схемою, що представлена на рис. 3.

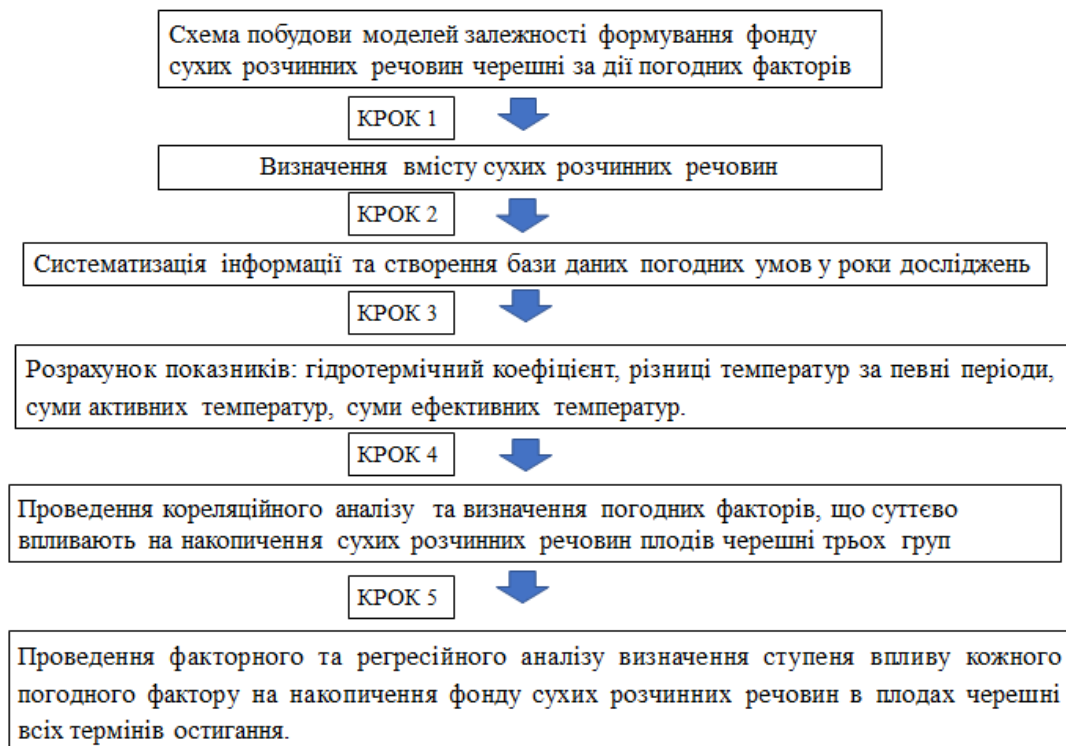


Рис. 3. Схема побудови моделей залежності формування фонду СРР черешні за дії погодних факторів

Для дослідження питання були застосовані такі інструменти статистичного аналізу як регресійний аналіз та факторіальний аналіз – метод головних компонент [25].

У зв'язку з тим, що кількість погодних факторів  $x_j$ ,  $j = 1..25$  у нашому випадку перевищує кількість спостережень ( $y_{1i}, y_{2i}, y_{3i}$ , де  $i=1..12$  роки досліджень) застосувати класичну схему дослідження регресійного аналізу недоцільно. Так як в наших дослідженнях багато між факторних коефіцієнтів кореляції які близькі до  $\pm 1$  це каже про наявність ефекту мультиколеніарності у нашому випадку перевищує кількість спостережень ( $y_{1i}, y_{2i}, y_{3i}$ , де  $i=1..12$  роки досліджень) застосувати класичну схему дослідження регресійного аналізу недоцільно. Так як в наших дослідженнях багато між факторних коефіцієнтів кореляції які близькі до  $\pm 1$  це каже про наявність ефекту



мультиколеніарності. Дослідження ступеня впливу кожного з факторів та виявлення найбільш впливових було проведено методом головних компонент. Метод головних компонент допоможе скоротити велику кількість перемінних за рахунок побудови штучних факторів (головних компонент –  $PC_i, i = 1 \dots n$ ). Головні компоненти - лінійна комбінація вихідних факторів,  $x_i$  які не корелюють між собою. Визначають набір головних компонент, якій може виділити з перемінних максимальну дисперсію [25, 29].

Аналіз статистичних даних проводити за наступною схемою представленою на (рис. 4)

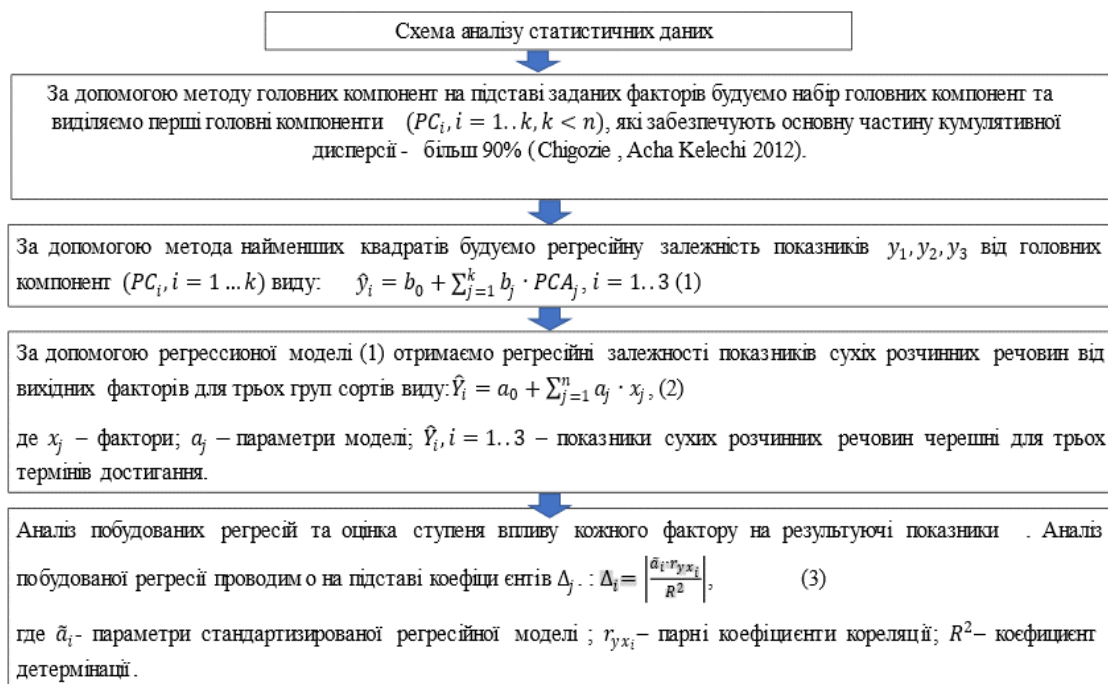


Рис. 4. Схема аналізу статистичних даних

Для виконання статистичного аналізу застосовували засоби сучасних комп'ютерних технологій Data Mining - програмне середовище RStudio.

*Основна частина.* Середній сортовий вміст СРР у плодах черешні 33 досліджених сортів, вирощених в умовах Південної степової підзони України, був на рівні 16,7%. Середній вміст СРР у плодах черешні групи сортів раннього терміну досягання знаходився на рівні 15,3% (рис. 5), тобто був на 8,4% нижчим порівняно з середнім сортовим значенням. У групи сортів раннього терміну досягання максимальний середній вміст СРР зафіксований у плодах черешні сорту Рубінова рання. Він був на рівні 16,8%.

У плодах черешні груп сортів середнього та пізнього термінів досягання середній вміст СРР перевищував середнє сортове значення



відповідно на 1,8 та 7,2% (рис. 6, 7). Серед сортів двох інших груп найбільшим середнім вмістом СРР характеризувалися плоди сортів Талісман та Дачниця, Крупноплідна та Удівительна. Вони накопичували 18,5–18,6% СРР.

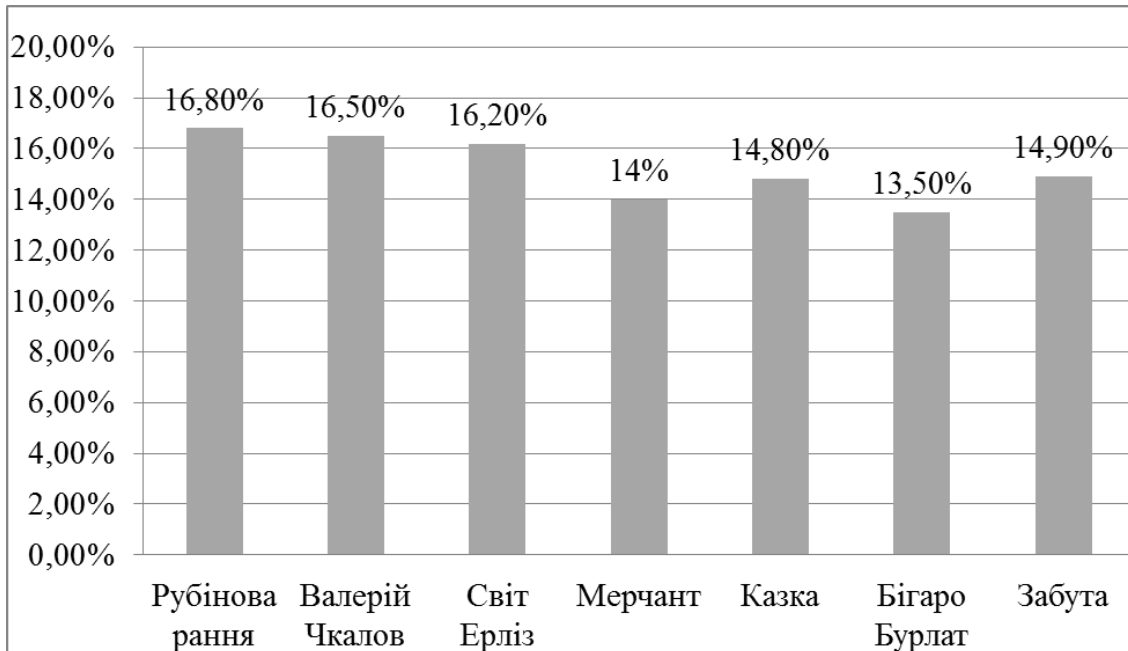


Рис. 5. Діаграма вмісту СРР у плодах черешні сортів раннього терміну досягання, % (2008 – 2019 рр.),  $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ ,  $n=5$  (Примітка: середнє значення вмісту СРР у плодах черешні сортів раннього терміну досягання - 15,3%; НІР 05 – 0,416%)

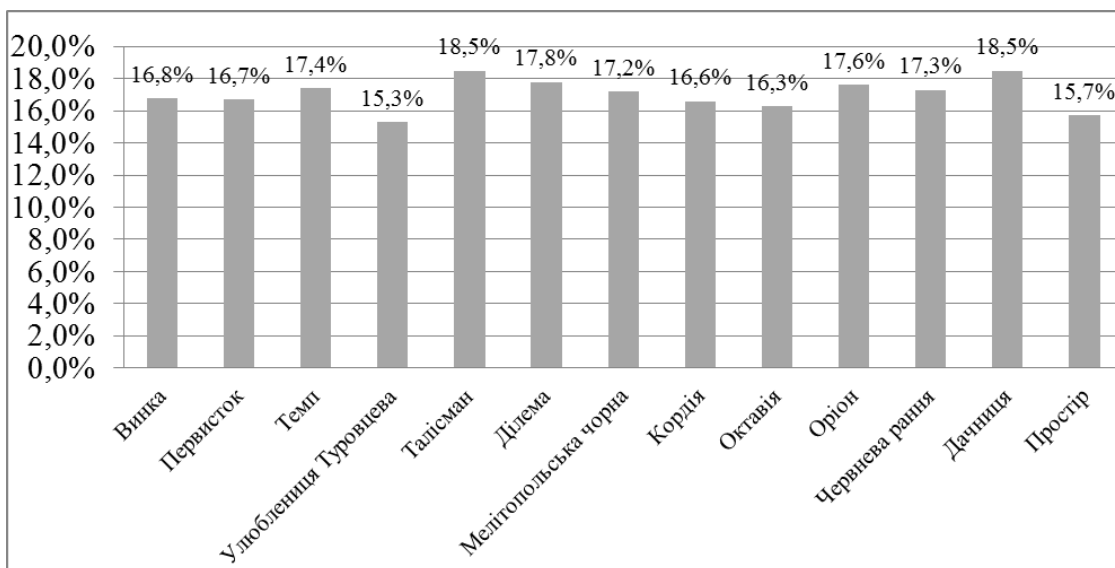


Рис 6. Діаграма вмісту СРР у плодах черешні сортів середнього терміну досягання, % (2008 – 2019 рр.),  $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ ,  $n=5$  (Примітка: середнє значення вмісту СРР у плодах черешні сортів середнього терміну досягання - 17,0% ; НІР 05 – 0,455%)

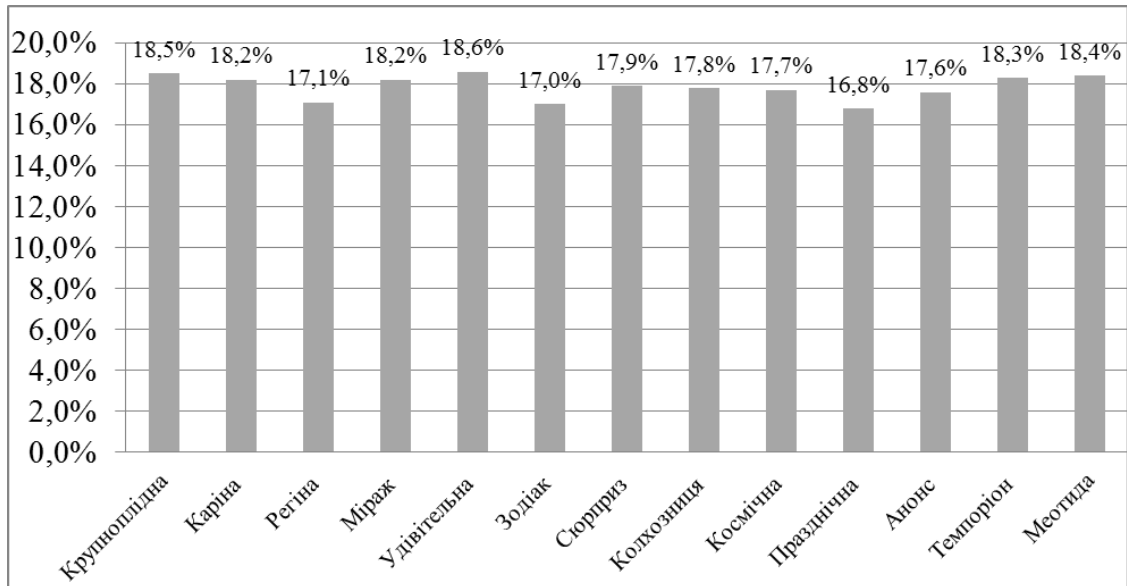


Рис 7. Діаграма вмісту СРР у плодах черешні сортів пізнього терміну достигання, % (2008 – 2019 рр.),  $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ ,  $n=5$   
(Примітка: середнє значення вмісту СРР у плодах черешні сортів пізнього терміну достигання - 17,9% ;  $НІР_{05} = 0,635\%$ )

З метою встановлення частки впливу погодних факторів та сортових особливостей на формування фонду СРР плодів черешні був проведений двох факторний дисперсійний аналіз. Його результатами встановлено, що для всіх груп сортів, незалежно від терміну достигання, домінуючий вплив на формування фонду СРР мали погодні умови років досліджень з частками впливу для сортів групи раннього терміну достигання – 74,5%, групи середнього терміну достигання – 61,9% і групи пізнього терміну достигання – 69,4%. Вплив сортових особливостей був менш вагомим. Більш детально отримані результати дослідження викладені у роботі [25, 29].

Таким чином, отриманими раніше результатами доведена доцільність прогнозування вмісту СРР у плодах черешні за середніми значеннями для визначеної групи сортів, а не окремо для кожного помологічного сорту.

У подальшому був проведений пошук наявності кореляційних зв'язків між показником накопичення фонду СРР в плодах черешні раннього ( $Y_1$ ), середнього ( $Y_2$ ), пізнього ( $Y_3$ ) термінів достигання, та комплексом гідротермічних умов (факторів)– $X_i$ .

Були відібрані 25 показників погодних факторів ( $X_i$ ), які в досліджений вегетаційний період можуть суттєво впливати на накопичення СРР в плодах черешні раннього ( $Y_1$ ), середнього ( $Y_2$ ), пізнього ( $Y_3$ ) термінів достигання (табл. 1). Це термічні показники повітря ( $^{\circ}C$ ): середня температура травня ( $X_1$ ), червня ( $X_2$ ); абсолютна



мінімальна температура травня ( $X_3$ ), абсолютна максимальна температура травня ( $X_4$ ), червня ( $X_5$ ), середня максимальна температура квітня ( $X_6$ ), травня ( $X_7$ ), червня ( $X_8$ ); середня мінімальна температура травня ( $X_9$ ), червня ( $X_{10}$ ); сума ефективних температур більше  $15^\circ\text{C}$  за рік ( $X_{11}$ ); різниця між середніми максимальними та мінімальними температурами квітня ( $X_{12}$ ); сума активних температур за вегетаційний період ( $X_{13}$ ); середня температура при цвітінні ( $X_{14}$ ); середня мінімальна температура при цвітінні ( $X_{15}$ ); середня максимальна температура при цвітінні ( $X_{16}$ ); гідротермічний коефіцієнт при цвітінні, в.о. ( $X_{17}$ ); сума ефективних температур при цвітінні ( $X_{18}$ ). Показники вологості повітря (%): середня відносна вологість повітря травня ( $X_{19}$ ), червня ( $X_{20}$ ); абсолютна мінімальна відносна вологість травня ( $X_{21}$ ), червня ( $X_{22}$ ), при цвітінні ( $X_{23}$ ); середня мінімальна відносна вологість повітря при цвітінні ( $X_{24}$ ), середня відносна вологість повітря при цвітінні ( $X_{25}$ ). Для зазначених факторів визначена наявність слабого, середнього и міцного лінійного кореляційного зв'язку, про що свідчать значення парних коефіцієнтів кореляції між значеннями кожного фактору та результуючого показника  $r_{Y_1 X_i}, r_{Y_2 X_i}, r_{Y_3 X_i}$ . Згідно до перевірки гіпотези о значущості коефіцієнтів кореляції за критерієм Стьюдента при рівні значущості 0,05 значимі парні коефіцієнти кореляції знаходяться в межах  $|r_{Y_j X_i}| \geq 0,55, i = 1..25, j = 1 \dots 3$ .

Таким чином для ранніх та середніх сортів визначено 17, пізніх - 16 погодних факторів, для яких встановлена сильна та середня лінійна кореляційна залежність з показником, що аналізується.

Згідно схеми досліджень наведеній на (рис.4) отримана регресійна модель, яка характеризує залежність показника СРР (для  $\hat{Y}_1, \hat{Y}_2, \hat{Y}_3$ ) від погодних факторів (в стандартизованих факторах  $\tilde{x}_i$ )

$$\begin{aligned} \hat{Y}_1 = & 11,9533 + 0,30626\tilde{x}_1 + 0,1346\tilde{x}_3 + 0,3707\tilde{x}_4 + 0,0446\tilde{x}_5 + \\ & 0,3397\tilde{x}_7 + 0,34266\tilde{x}_8 + 0,1195\tilde{x}_{10} - 0,0172\tilde{x}_{12} + 0,0980\tilde{x}_{14} - \\ & 0,3792\tilde{x}_{15} - 0,0345\tilde{x}_{16} + 0,1120\tilde{x}_{18} + 0,003184\tilde{x}_{19} - 0,0329\tilde{x}_{21} - \\ & 0,0190\tilde{x}_{22} - 0,3481\tilde{x}_{15} - 0,2086\tilde{x}_{24} - 0,2238\tilde{x}_{25} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{Y}_2 = & 12,8530 + 0,2431\tilde{x}_1 + 0,1800\tilde{x}_3 + 0,0242\tilde{x}_4 + 0,2355\tilde{x}_5 \\ & + 0,1486\tilde{x}_7 + 0,2646\tilde{x}_8 + 0,2562\tilde{x}_{10} + 0,0838\tilde{x}_{12} \\ & - 0,0211\tilde{x}_{14} + 0,03209\tilde{x}_{15} + 0,0676\tilde{x}_{16} - 0,6099\tilde{x}_{18} \\ & - 0,03234\tilde{x}_{19} - 0,0148\tilde{x}_{21} - 0,3914\tilde{x}_{22} + 0,09913\tilde{x}_{15} \\ & - 0,1986\tilde{x}_{24} - 0,1966\tilde{x}_{25} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\hat{Y}_3 = & 13,1095 + 0,0580\tilde{x}_1 + 0,3055\tilde{x}_2 + 0,0833\tilde{x}_3 + 0,1839\tilde{x}_6 \\ & - 0,0526\tilde{x}_7 + 0,0891\tilde{x}_8 + 0,3236\tilde{x}_9 + 0,0844\tilde{x}_{10} \\ & - 0,2534\tilde{x}_{11} + 0,1379\tilde{x}_{13} + 0,1245\tilde{x}_{17} - 0,0332\tilde{x}_{18} \\ & - 0,2331\tilde{x}_{20} - 0,2869\tilde{x}_{23} - 0,3914\tilde{x}_{22} + 0,09913\tilde{x}_{15} \\ & - 0,2207\tilde{x}_{24} - 0,2531\tilde{x}_{25}\end{aligned}$$

На підставі побудованих моделей для кожного фактору розраховані коефіцієнти  $\Delta_i, i=1,25$  за формулою (3), Коефіцієнти  $\Delta_i$  визначають частку кожного фактору в загальній дисперсії показника СРР.

Для сортів раннього та середнього термінів досягання  $\Delta_i$  варіює в межах 0,12...16,06% (табл. 1).

Частка впливу фактору ( $\Delta_i$  для плодів групи сортів пізнього терміну досягання)–0,84...13,98 % (табл. 2).

Для подальшого аналізу результатів досліджень фактори в залежності від значень коефіцієнтів  $\Delta_i (i=1...25)$  було поділено на 3 групи.

До 1 групи відносяться фактори, що мають сильний вплив на накопичення СРР зі значенням  $\Delta_i \geq 9,50\%$ . Для сортів черешні раннього терміну досягання це середньомісячна, абсолютна максимальна, середня максимальна та мінімальна температури повітря травня та абсолютна мінімальна відносна вологість повітря травня (табл. 1)

Для плодів середнього терміну досягання це середньомісячна та середня мінімальна температури повітря травня, середня максимальна температура квітня, сума ефективних температур більше 15°C за рік та абсолютна мінімальна відносна вологість повітря травня (табл. 1).

Для плодів пізнього терміну досягання середньомісячна, середня максимальна та середня мінімальна температури червня, абсолютна мінімальна та середня відносна вологість повітря в період цвітіння (табл. 2).

До другої групи відносяться фактори, що мають середній вплив на накопичення СРР в плодах черешні зі значенням  $\Delta_i$  від 2,00 % до 9,48 %.

До третьої відносяться інші фактори, що мають слабкий вплив на накопичення СРР зі значенням  $\Delta_i \leq 2,00\%$ , Сумарний відсоток долі впливу факторів цієї групи для групи сортів раннього терміну досягання становить – 5,3%, для сортів середнього терміну досягання -4,62%, для групи сортів пізнього терміну досягання – 4,18%.



Таблиця 1

Значення відносної частки впливу ( $\Delta_i$ ) комплексу погодно-кліматичних факторів ( $X_i$ ) на накопичення фонду СРР для групи сортів черешні раннього та середнього термінів досягання

Умовне позначення фактору, ( $X_i$ )	Фактори	Частка впливу фактору ( $\Delta_i$ ) для груп сортів	
		рані	середні
X <sub>1</sub>	Середня температура травня, °С*	14,71%	13,02%
X <sub>3</sub>	Абсолютна мінімальна температура травня, °С	5,00%	8,17%
X <sub>4</sub>	Абсолютна максимальна температура травня, °С	14,23%	0,86%
X <sub>6</sub>	Середня максимальна температура квітня °С	1,26%	9,62%
X <sub>7</sub>	Середня максимальна температура травня, °С	16,06%	5,45%
X <sub>9</sub>	Середня мінімальна температура травня, °С	15,94%	14,18%
X <sub>11</sub>	Сума ефективних температур більше 15 °С за рік	4,58%	12,92%
X <sub>13</sub>	Сума активних температур за вегетаційний період, °С	-0,53%	3,84%
X <sub>14</sub>	Середня температура при цвітінні, °С	3,48%	-
X <sub>15</sub>	Середня мінімальна температура при цвітінні, °С	-0,87%	3,22%
X <sub>16</sub>	Середня максимальна температура при цвітінні, °С	2,83%	2,18%
X <sub>18</sub>	Сума ефективних температур при цвітінні, °С	0,12%	1,07%
X <sub>19</sub>	Середня відносна вологість повітря травня, %	0,83%	0,53%
X <sub>21</sub>	Абсолютна мінімальна відносна вологість повітря травня, %	0,57%	12,16%
X <sub>22</sub>	Абсолютна мінімальна відносна вологість повітря червня, %	9,54%	-
X <sub>24</sub>	Середня мінімальна відносна вологість повітря при цвітінні, %	6,84%	8,00%
X <sub>25</sub>	Середня відносна вологість повітря при цвітінні, %	-1,15%	1,33%

Примітка: \* умовні позначення фактору ( $X_i$ ) за їх нумерацією в загальних розрахунках.

Таким чином, на накопичення СРР у плодах черешні незалежно від терміну досягання найбільший вплив мають погодні умови останнього місяця формування плодів, Для сортів черешні раннього та середнього термінів досягання це погодні умови травня, пізнього – червня,



Таблиця 2

Значення відносної частки впливу ( $\Delta_i$ ) комплексу погодно-кліматичних факторів ( $X_i$ ) на накопичення фонду СРР для групи сортів черешні пізнього терміну досягання

Умовне позначення фактору, ( $X_i$ )	Фактори	Частка впливу ( $\Delta_i$ ) в групі пізніх сортів
X <sub>1</sub>	Середня температура травня, °С*	1,87%
X <sub>2</sub>	Середня температура червня, °С	13,85%
X <sub>3</sub>	Абсолютна мінімальна температура травня, °С	2,98%
X <sub>5</sub>	Абсолютна максимальна температура червня, °С	8,02%
X <sub>6</sub>	Середня максимальна температура квітня °С	-1,47%
X <sub>7</sub>	Середня максимальна температура травня, °С	2,83%
X <sub>8</sub>	Середня максимальна температура червня, °С	13,98%
X <sub>9</sub>	Середня мінімальна температура травня, °С	3,11%
X <sub>10</sub>	Середня мінімальна температура червня, °С	9,49%
X <sub>12</sub>	Різниця між середніми максимальними та мінімальними температурами квітня, °С	4,56%
X <sub>17</sub>	Гідротермічний коефіцієнт при цвітінні, в.о.	3,85%
X <sub>18</sub>	Сума ефективних температур при цвітінні, °С	0,84%
X <sub>20</sub>	Середня відносна вологість повітря червня, %	6,99
X <sub>23</sub>	Абсолютна мінімальна відносна вологість повітря при цвітінні, %	11,48
X <sub>24</sub>	Середня мінімальна відносна вологість повітря при цвітінні, %	7,94%
X <sub>25</sub>	Середня відносна вологість повітря при цвітінні, %	9,69%

Примітка: \* умовні позначення фактору ( $X_i$ ) за їх нумерацією в загальних розрахунках.

#### Висновки.

1. Виконано кореляційний аналіз між 25 погодними факторами ( $X_i$ ) та вмістом СРР в плодах черешні раннього ( $r_{Y_1 X_i}$ ), середнього ( $r_{Y_2 X_i}$ ), пізнього ( $r_{Y_3 X_i}$ ) термінів досягання. Визначена сильна та середня лінійна кореляційна залежність між 17 погодними факторами ( $X_i$ ) та вмістом СРР для сортів черешні раннього, середнього термінів досягання та 16 параметрами клімату для сортів пізньої групи досягання ( $|r_{Y_j X_i}| \geq 0,55, i = 1, \dots, 25, j = 1, \dots, 3$ ),





2. На основі методів факторного та регресійного аналізів побудовано лінійні регресійні моделі залежності накопичення фонду СРР від впливу погодних факторів для груп сортів раннього, середнього та пізнього термінів досягання,

3. На основі побудованих регресійних моделей виконано аналіз ступеня впливу погодних факторів на показник СРР шляхом розрахунку коефіцієнтів відносного впливу  $\Delta_i, \%$ . Найбільший вплив встановлений для групи температурних показників та показників вологості з максимальною долею участі  $\Delta_i \geq 9,50\%$ ,

4. Математично обґрунтовано, що на накопичення СРР у плодах черешні незалежно від терміну досягання найбільший вплив мають погодні умови останнього місяця формування плодів. Для сортів черешні раннього та середнього термінів досягання це погодні умови травня, пізнього – червня.

#### Список використаних джерел

1. Di Matteo A., Russo R., Graziani G., Ritieni A., Di Vaio C. Characterization of autochthonous sweet cherry cultivars (*Prunus avium* L.) of southern Italy for fruit quality, bioactive compounds and antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2016. № 97. P. 2782–2794. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8106>.

2. Gonçalves A. C., Campos G., Alves G., Garcia-Viguera C., Moreno D. A., Silva L. R. Physical and phytochemical composition of 23 Portuguese sweet cherries as conditioned by variety (or genotype). *Food Chemistry*. 2021. № 335. P. 27637. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127637>.

3. Papp N., Szilvássy B., Abrankó L., Szabó T., Pfeiffer P., Szabó Z., Nyéki J., Ercisli S., Stefanovits-Bányai É., Hegedűs A. Main quality attributes and antioxidants in Hungarian sour cherries: Identification of genotypes with enhanced functional properties. *International Journal of Food Science and Technology*. 2010. Vol. 45. P. 395–402. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02168.x>.

4. Bublyk M. O., Fryziuk L. A., Levchuk L. M. Fruit crop production distribution in Ukraine: A research note. *Chemistry and Chemical Biology: Methodologies and Applications*. 2014. № 9(18). P. 7–7.

5. Karagiannis E., Sarrou E., Michailidis M., Tanou G., Ganopoulos I., Bazakos C., Kazantzis K., Martens S., Xanthopoulou A., Molassiotis A. Fruit quality trait discovery and metabolic profiling in sweet cherry genebank collection in Greece. *Food Chemistry*. 2021. № 342. P. 128315. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128315>.

6. Кіщак О. А. Основи промислової культури черешні в Лісостепу України. Київ : Аграрна наука, 2017. 240 с.



7. Habib M., Bhat M., Dar B. N., Wani A. A. Sweet cherrios from farm to table: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017. № 57(8). P. 1638–1649. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1005831>.
8. Winkler A., Knoche M. Calcium and the physiology of sweet cherries: A review. *Scientia horticulturae*. 2019. № 245. P. 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.012>.
9. Polat A. A., Durgac C., Kamiloglu O. Determination of fruit quality parametes of sweet cherries grown in high elevation regions in Hatay, Turkey. *Acta Horticulturae*. 2009. № 795(2). P. 873–876. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.795.141>.
10. Hrotko K. Development of intensive orchard systems of stone fruit in Hungary. *Acta Horticulturae*. 2009. № 825. P. 23–30.
11. Blagov A., Christov. N., Sotirov D., Stoyanova A. Comparison of some new apple and sweet cherry cultivars under the environmental conditions of kyustendil, Bulgaria. *Acta Horticulturae*. 2009. № 825. P. 89–96. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.825.10>.
12. Ivanova I., Serdiuk M., Malkina V., Bandura I., Kovalenko I., Tymoshchuk T., Tonkha O., Tsyz O., Mushtruk M., Omelian A. The study of soluble solids content accumulation dynamics under the influence of weather factors in the fruits of cherries. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2021. Vol. 15. P. 350–359. <https://doi.org/10.5219/1554>.
13. Ivanova I., Serdiuk M., Tymoshchuk T., Bulygin S. & Moisiienko V. Assessment of sweet cherry fruit quality according to the requirements of the modern market. *Plant and Soil Science*. 2023. № 14(2). P. 21–32. <https://doi.org/10.31548/plant2.2023.21>.
14. Іванова І. Є., Сердюк М. Є., Тимощук Т. М., Маренич М. М. Формування фонду вітаміну С у плодах черешні під впливом погодних чинників. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 2. С. 59–66. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.07>.
15. Radicevic S., Cerovic R., Mitrovic O., Gilisic I. Pomological characteristics and biochemical fruit composition of some Canadian sweet cherry cultivars. *Acta Horticulturae*. 2008. № 795(1). P. 283–286.
16. Іванова І. Є., Сердюк М. Є., Тимощук Т. М. Сортові особливості накопичення фенольних речовин у плодах черешні в умовах Південного Степу України. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 7(820). С. 32–39. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202107>.
17. Sansavini S., Lugli S. Sweet cherry breeding programs in Europe and Asia. *Acta Horticulture*. 2008. № 795. P. 41–58, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.795.1>.
18. Сердюк М. Є., Іванова І. Є., Малкіна В. М., Кривонос І. А., Тимощук Т. М., Євстафієва К. С. Формування сухих розчинних речовин у плодах черешні під впливом абіотичних факторів. *Scientific*



*Horizons*. 2020. № 3(88). С. 127–135. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-88-3-127-135>.

19. Cittadini E. D., Keulen van H., Ridder de N., Peri P. L., Rodriguez M. J. Fruit Dry Weight and quality of 'Bing' sweet cherries grown without Source Limitations. *Acta Horticulturae*. 2008. № 795(2). P. 639–644. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.795.99>.

20. Basanta M. F., Ponce N. M. A, Salum M. L., Rafo M. D., Vicente A. R., Erra-Balsolls R., Stort C. A. Compositional changes in cell wall polysaccharides from five sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars during on-tree ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014. № 62 (51). P. 12410–12427. <https://doi.org/10.1021/jf504357u>.

21. Slavin J., Lloyd B. Health benefits of fruits and vegetables. *International Review Journal*. 2012. № 3(4). P. 506–516. <https://doi.org/10.3945/an.112.002154>.

22. Chen L., Wu Y., Cheng H., Li Y., Zhao Y. A new middle ripening sweet cherry cultivar 'Linglongcui'. *Acta Horticulturae Sinica*. 2018. № 45 (7). P. 1419–1420. <https://doi.org/10.16420/j.issn.0513-353x.2017-0895>.

23. Maglakelidze E., Bobokasvili Z., Kakashvili V., Tsigriasvili L. Biological and agricultural properties of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars in Georgia. *International Journal of Science and Research*. 2017. № 6(9). P. 796–803.

24. Ivanova I., Serdiuk M., Tymoshchuk T., Havryliuk O., Tonkha V. Dynamics of the average fruit weight and the ratio of kernels to pulp in cherry fruits grown in the Southern Steppe zone of Ukraine. *Plant and Soil Science*. 2022. № 13(3). P. 27–37. [https://doi.org/10.31548/agr.13\(3\).2022.27-37](https://doi.org/10.31548/agr.13(3).2022.27-37).

25. Chigozie A. K. Regression and Principal Component Analyses: a Comparison Using Few Regressors. *American Journal of Mathematics and Statistics*. № 2(1). P. 1–5. <https://doi.org/10.5923/j.ajms.20120201.01>.

26. Дослідницький практикум. Ч. 1. Методи дослідження плодоовочевої та ягідної продукції: підручник для здобувачів ступеня вищої освіти закладів вищої освіти / М. Є. Сердюк., О. П. Прісс, Н. А. Гапріндашвілі та ін. Мелітополь : Люкс, 2020. 370 с.

27. ДСТУ ISO 874-2002. Фрукти та овочі свіжі. Відбір проб [Чинний від 2003-01-10]. Київ, 2002. 5 с. (Інформація та документація).

28. ДСТУ ISO 2173:2007 Продукти з фруктів та овочів. Визначення розчинних сухих речовин рефрактометричним методом (ISO 2173:2003, IDT). [Чинний від 2009-01-01]. Київ, 2010. 7 с. (Інформація та документація).

29. Ming-ming C., Jing-lian M. Application of principal component regression analysis in economic analysis. *Proceedings of the 3rd International Conference on Management Science, Education Technology*,



*Arts, Social Science and Economics*. 2015. P. 1205-1208.  
<https://doi.org/10.2991/msetasse-15.2015.255>.

*Стаття надійшла до редакції 05.04.2024 р.*

**I. Ivanova<sup>1</sup>, M. Serdyuk<sup>2</sup>, T. Tymoshchuk<sup>3</sup>, I. Kryvonos<sup>1</sup>, V. Malkina<sup>1</sup>,  
S. Basanets<sup>1</sup>, Ya. Pendrak<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup> **National university of life and environmental sciences of Ukraine**

<sup>3</sup> **Polissia National University**

## **STUDYING THE SHARE OF INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS ON THE ACCUMULATION OF DRY SOLUBLE SUBSTANCES IN CHERRY FRUITS USING THE PRINCIPAL COMPONENTS METHOD**

### *Summary*

Sweet cherry is a leading fruit crop in the Southern region of Ukraine. Weather conditions can both induce stressful phenomena and disrupt the coherence of biochemical processes in the fruit of the crop, and increase the accumulation of quality indicators. Abiotic environmental factors during the formation of sweet cherry fruit have a decisive influence on the accumulation of dry soluble substances. The study of the influence of weather factors on the formation of the fund of dry soluble substances in sweet cherry fruits is an urgent issue in view of predicting the potential preservation of sweet cherry fruits and its use in the waste-free chain of processing of fruit raw materials. The aim of the research was to develop a mathematical model for predicting the content of dry soluble substances in sweet cherry fruits depending on weather factors in the Southern Steppe zone of Ukraine to ensure further preservation of the biological value of fruit raw materials. The study of dry soluble substances content was carried out in the fruits of 33 varieties of sweet cherries of early, medium and late ripening from 2008 to 2019. Factor, correlation, and regression analyses were conducted and the principal components method was used. The coefficients of pairwise correlation between 25 weather and climatic factors and the content of dry soluble substances in sweet cherry fruits of early, middle, and late ripening were analysed. A strong and medium linear correlation between 17 weather and climatic factors and the content of dry soluble substances for sweet cherry varieties of early, medium ripening and 16 climate parameters for varieties of late ripening was determined. On the basis of factor and regression analyses, a linear regression model of the dependence of the accumulation of the fund of dry soluble substances on the influence of climatic factors for groups of varieties of 3 ripening periods was built. On the basis of the built regression models, the degree of influence of weather factors on the fruit quality index was analysed by calculating the coefficients of relative influence  $\Delta_i$ . The greatest influence was established for the group of temperature and humidity indicators with the maximum share of participation  $\Delta_i \geq 9.50\%$ . It is mathematically substantiated that the accumulation of dry soluble substances in sweet cherry fruits, regardless of the ripening period, is most influenced by the weather conditions of the last month of fruit formation. For early and medium-ripening cherries, these are the weather conditions of May, and for late-ripening cherries are the weather conditions of June.

**Keywords:** sweet cherry fruit, dry soluble substances, ripening time, weather and climatic factors, principal components method, factor analysis.

**DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-15**

УДК [637.521:637.04]:519.87

І. П. Паламарчук<sup>1</sup>, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-0441-6586

Н. П. Загорко<sup>2</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-4828-5343

Я. В. Яременко<sup>1</sup>, студенткаН. С. Сватова<sup>1</sup>, студентка<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування  
України<sup>2</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного

e-mail: vibroprocessing@gmail.com, тел.: +380933141847

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ЯКОСТІ М'ЯСОПРОДУКТІВ З РОСЛИННИМИ ДОМІШКАМИ

*Анотація.* У якості предмета досліджень використовували м'ясні продукти та напівфабрикати з домішками рослинного та тваринного походження. Варених ковбасні вироби, а саме сосиски, мали у структурі борошно дикорослої спельти та подрібнені гриби шампінйонів. Це дозволило збагатити продукцію харчовими волокнами, мінералами та жирними кислотами зі специфічним смаком та запахом. Січені м'ясні напівфабрикати містили у своєму складі комплексну харчову добавку на основі тваринної і рослинної сировини у межах від 0,5 до 1,5%. Існуючі математичні моделі якості харчової продукції обмежуються лише аналізом органолептичних характеристик, що реалізовується створенням та колегіальним рішенням спеціальної експертної комісії. Така структура оцінки викликає певні труднощі організаційного характеру та має явно виражений суб'єктивний характер, практично не опирається на цифрову інформацію, що є у наявності на основі результатів експериментальних досліджень. Тому метою наукової роботи стало розробка та апробація математичних моделей якості представленої вище продукції за такими схемами, як лінійна одновимірна променева та площинна у вигляді багатокутника. Розроблені математичні моделі відзначаються простотою складання та високою наочністю, можливістю обробки достатньо великого обсягу інформації, застосування необмеженої кількості параметрів для порівняльної оцінки. Використані критерії оцінки представлені безрозмірними комплексами, що дозволяють об'єктивно оцінювати факторний простір як за різноплановими самостійними параметрами, так і за розгалуженими сімействами споріднених характеристик. Представлені методи математичного аналізу нівелюють її суб'єктивний характер, що у цілому дозволяє значно поліпшити адекватність оцінки стану продукції оцінити стан варених ковбас для досліджуваних та контрольного зразків як за умовною факторною площиною, так і за окремими критеріями оцінки. Спільним для розроблених моделей стало використання окремо негативних і позитивних критеріїв оцінки.

*Ключові слова.* М'ясні продукти, рослинні та тваринні добавки, математичні моделі якості, критерії оцінки, одновимірна променева модель, модель за схемою багатокутника, безрозмірна цифрова оцінка.





*Постановка проблеми.* Проблема забезпечення достатньою кількістю харчових продуктів в умовах стрімкого зростання чисельності світового населення стає усе більш гострою: за прогнозами Департаменту економіки та соціальних питань ООН до середини 21 сторіччя чисельність людства може зрости до 10 мільярдів [1]. Окрім того, спостерігається переведення великих сільськогосподарських підприємств на вирощування обмеженої кількості монокультур, широке впровадження у побут напівпродуктів та продукції швидкого приготування, що призводить до розбалансування співвідношення у раціоні основних нутрієнтів та надлишку спожитого з ними натрію. У харчовому раціоні знижується частка спожитих фруктів, овочів та інших видів харчових волокон, зокрема, цільних злаків; що спонукає до поширення хвороб серцево-судинної системи, органів травлення, ендокринної системи, зростання ракових захворювань. Проблема розгортається на фоні погіршення стану довкілля за прискореного розвитку інтенсивних технологій ведення аграрного виробництва, у результаті чого якість вироблених харчових продуктів стрімко погіршується. Забезпечення умов організації здорового способу життя вимагає розробку харчових продуктів з домішками, які беруть участь у нормалізації перебігу біохімічних процесів; забезпечують збалансованість амінокислотного, жирокислотного та вітамінного складу, вміст достатньої кількості харчових волокон, омега-жирних кислот та мінеральних речовин, зокрема калію, кальцію, магнію, йоду [2].

*Аналіз останніх досліджень та публікацій.* За дослідженнями науковців Східної Фінляндії збільшення у раціоні частки риби та овочів, зменшення у м'ясній продукції частки жиру, заміна вершкової олії рослинними жирами та скорочення споживання хлориду натрію дозволило до 80 % зменшити летальність при захворюваннях населення віком 35 - 65 років [3]. Спільним для новітніх технологій стало введення до складу фаршевих систем полісахаридів, серед яких поширені крохмаль, пектин, глікоген, целюлоза, які містять до десятків тисяч моносхаридних одиниць  $(CH_2O)_n$  [4].

Для харчових волокон притаманні здатність утримувати значні кількості води, що може у 5-30 разів перевищувати їх власну вагу [5, 6], стабілізація утворюваних просторових структур у продуктах комбінованого складу, що сприяє нормалізації перистальтики, скорочуючи час перебування їжі у шлунково-кишковому тракті, зменшує кількість всмоктуваних канцерогенних сполук й вірогідність розвитку пухлин, зокрема, при збільшенні вмісту бобових та злакових культур, цільної зернової продукції, овочей, фруктів та горіхів [7]. Домішки з високим вмістом харчових волокон отримуються, як





правило, з висівок зернових культур, борошна грубого помелу, вівсяних концентратів [8].

Проте високий вміст клейковини (глютену) у насінні злакових рослин може призвести до генетичних захворювань целиакією (Celiac disease), яке спостерігається у 0,2 - 6% популяції у різних регіонах світу [9], що викликає підвищений ризик розвитку Т-кліткової лімфоми, який закінчується у більшості випадків смертю хворого [10], остеопорозу з ризиком переламів кісток [11]. Домішки зі спельти або дикорослої пшениці роду *Triticum* містить у 2 рази більше білка та у 1,5 – клейковини порівняно із звичайними сортами при мінімальній кількості глютену, що зумовлює їх включення у дієти алергіків на глютен [12]. Частка спельтового борошна у фарші не перевищує 4 %, що значно зменшує ризик розвитку алергічних захворювань при їх вживанні; на противагу звичним сортам окультуреної пшениці, білок спельти характеризується підвищеним вмістом більшості незамінних амінокислот [13]. Наявність у зерні спельти до 11 % крохмалю; необхідних мікроелементів, а саме, цинку, марганця, калію, вітамінів групи «В» [14, 15, 16], що покращує стан імунної системи організму та сприяє зменшенню у крові концентрації холестерину, дозволяє відмовитися від введення у композиції препаратів харчових волокон як добавку до м'ясопродуктів та напівфабрикатів.

Додавання грибів до м'ясного фаршу надає продукту нових, привабливих відтінків смаку й запаху [17]; через високий вміст хітину зменшується його поживна цінність, що сприяє загальному зниженню калорійності; зменшується у продукті частка насичених жирів; послаблюється дефіцит у раціоні харчового білка, що пов'язане із суттєвим скороченням пропозиції білку тваринного походження через скорочення поголів'я худоби.

Дві останні компоненти входять у досліджувані зразки м'ясопродуктів та напівфабрикатів. Очевидно, що оцінити їх функціональні властивості при допомозі існуючих моделей якості, які у якості критеріїв оцінки використовують органолептичні характеристики продукції, є достатньо важко. Тому метою даної наукової роботи є розробка площинної та променевої математичних моделей якості варених ковбас та м'ясних напівфабрикатів із рослинними домішками шляхом аналізу сучасних методів оцінки, використання експериментальної бази основних параметрів досліджуваної продукції.

Для виконання поставленої мети були поставлені наступні завдання:

- представлення порівняльних характеристик у вигляді безрозмірних комплексів;
- використовуючи експериментальну базу даних, вибрати критерії для адекватної оцінки стану досліджуваних зразків;



– побудувати площинну математичну модель якості та здійснити оцінку зразків варених ковбас із домішками спельти та грибів печериці;

– побудувати променеву математичну модель якості та здійснити оцінку зразків січених м'ясопродуктів із рослинними домішками.

*Матеріали та методи.* При виконанні експериментальних досліджень зразків варених ковбас були використані переважно яловичина знежилowana I сорту, свинина знежилowana напівжирна. Для надання продукції лікувально-оздоровчих властивостей використовували три збагачені гідратованим борошном спельти експериментальні суміші, що відзначаються їх масовою часткою, що дозволило зменшити вміст м'ясної складової. З метою збагачення смаку готового виробу було запропоновано ввести у рецептуру білкову добавку грибів печериць.

При виконанні експериментальних досліджень січених м'ясних напівфабрикатів були використані зразки продукції, що містили такі основні складові, як м'ясо котлетне яловиче, свинина жилована жирна, комплексна харчова добавка на основі тваринної і рослинної сировини зі вмістом у межах від 0,5 до 1,5%.

Параметри для порівняльної оцінки досліджуваних зразків м'ясопродуктів виконували за наступними методиками.

Масову частку вологи визначали методом, що основний на висушуванні у сушильній шафі наважки масою 5,0 грама до постійної ваги при температурі 130 - 150 °С, після чого зразки охолоджували в ексикаторі та зважували. Здатність до зв'язування вологи (ВЗЗ) визначали за кількістю води, виділеної з 300 грамів наважки після трикратного пресування протягом 10-хвилин вантажем масою 1 кілограм. Здатність до утримування жиру (ЖУЗ) визначали методом центрифугування при швидкості обертання ротора 1500 об/хв. Пластичність визначали методом пресування зразка після визначення у ньому параметру ВЗЗ. Розрахунок проводили з використанням площі плями, утвореної подрібненим зразком при його пресуванні на фільтрувальному папері статичним навантаженням у 1 кілограм протягом 10 хвилин. Коефіцієнт penetрації готових виробів визначали за глибиною занурення голчастого індентора у дослідний зразок.

*Результати та обговорення.* При розробці та обґрунтуванні математичної моделі якості варених ковбас та січених м'ясних напівфабрикатів, які оцінюються чисельно вище зазначеннями характеристиками продукції, а наочно представлені у вигляді найбільш простих геометричних фігур від променя до багатокутника. Існуючі математичні моделі якості продукції, зокрема, за органолептичними характеристиками давали можливість проводити виключно суб'єктивну

оцінку якості зразків колегіальною характеристикою експертної комісії. У даній науковій роботі для чисельної оцінки застосовували безрозмірні комплекси характеристик продукції у вигляді відносних величин, що дозволило зробити якісний порівняльний аналіз досліджуваних зразків продукції за об'єктивними чисельними характеристиками.

Реалізуючи променеву математичну модель, безрозмірні параметри зразків продукції відкладаються відтинком променя під певних кутом до певного базового напрямку. Виявилось достатньо зручним вибирати за базовий напрямок напрями осей декартової системи координат. Це дозволяє створювати сімейства променів, що базуються навколо однієї осі, що можна асоціювати із полярною системою координат; навколо двох осей, що подібно плоскій декартовій системі координат та навколо трьох осей, як для просторової декартової системи координат (рис. 1).



Рис. 1. Променеві математичні моделі якості:  
одновимірна, двовимірна та тривимірна

При побудові променевої моделі за сімействами похідних параметрів на базовому напрямку доцільно представляти найбільш важливу характеристику продукції, тоді інші параметри спрямовуються під кутом до основної осі. Проекція кожного променя на базову вісь визначає важливість відповідного параметра для характеристики продукції, тобто із збільшенням кута нахилу величина проекції зменшується, як і ступінь важливості даного параметру. Подібні сімейства можуть давати спеціалізовану оцінку якості,



зокрема, за фізико-механічними, фізико-хімічними та мікробіологічними характеристиками.

Коли необхідно або достатньо провести загальну оцінку якості продукції, то використовують різнопланові критерії порівняльної оцінки, що вважаються однакової важливості. При цьому доцільно застосовувати найбільш просту променеву лінійну або одновимірну модель якості, а промені для окремих зразків відкладаються під довільними кутами із міркувань наочності.

Параметр  $l_0$  (рис.1) відповідає за величиною еталонному або контрольному показнику якості даної продукції, який умовно можна представити величиною у 1 або 10. Показники поточних параметрів зразків продукції можуть наближатися або навіть перевищувати дані величини. Порівняльна оцінка буде адекватною, коли у кожну групу або сімейство входять або позитивні, або негативні критерії оцінки. Позитивним вважається такий параметр, при збільшенні якого якість продукції поліпшується, як правило, до певної величини, що обмежується вимогами стандарту, технічних або технологічних умов.

Характеристика представлених променевих математичних моделей показала, що найбільш простою є променева одновимірна модель, яка є ефективною при використанні різнопланових критеріїв оцінки, які можуть адекватно характеризувати стан продукції. Можна використовувати два сімейства або групи критеріїв оцінки, які можуть мати, наприклад, певну технологічну, процесну або технічну спорідненість та доповнюють одна одну для адекватної характеристики стану продукції. Тривимірну променеву математичну модель ефективно використовувати для комплексної оцінки продукції за трьома групами критеріїв оцінки, які можуть характеризувати, зокрема, особливості фізичної, хімічної або мікробіологічної активності досліджуваних зразків продукції.

Математичну модель якості 9 зразків січених м'ясних напівфабрикатів побудували за результатами експериментальних досліджень таких параметрів як вміст вологи, білку, жиру, вуглеводів та енергетична цінність (табл.1). Вважаючи різноплановість використаних характеристик модель будували за розробленою одновимірною променевою схемою (рис. 2).

Відносні безрозмірні комплекси  $l_i$  для відповідного дослідного зразка та  $l_0$  для контрольного значення параметра визначаються як

$$l_i = \frac{l_{oi}}{l_n}; l_0 = 1$$

Комплексний критерій оцінки дослідних зразків складає

$$k_{cep} = \frac{\sum l_i}{n}$$

Таблиця 1

Розрахункові дані для побудови одновимірної променевої математичної моделі

Показник	Характеристика якості дослідних зразків, ум. од.					
	$l_0$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$
1 <i>Вміст вологи</i>	1	1,039	1,101	1,112	1,125	1,13
2 <i>Вміст білка</i>	1	1,013	1,021	1,009	1,011	1,014
3 <i>Вміст жиру</i>	1	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948
4 <i>Вміст вуглеводів</i>	1	1,055	1,055	1,055	1,055	1,055
5 <i>pH</i>	1	1,015	1,018	1,021	1,024	1,041
6 <i>Енергетична цінність</i>	1	0,969	0,97	0,97	0,968	0,965
7 <i><math>k_{сер}</math></i>	1	1,0065	1,019	1,0192	1,0218	1,0255

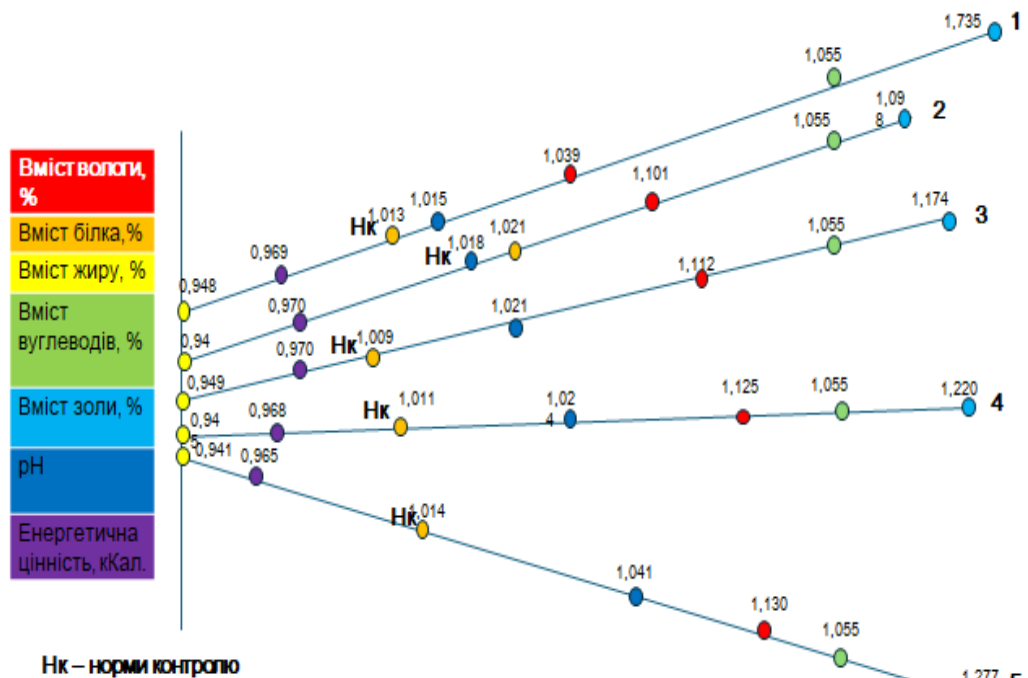


Рис. 2. Променеві математичні моделі якості для оцінки якості січених м'ясних напівфабрикатів: 1, 2, 3, 4, 5 – № дослідних зразків продукції

Очевидно, що основними особливостями променевої математичної моделі є простота та наочність представлення, глибина та об'єм інформації, можливість розгалуження інформаційних потоків за спеціалізованим впливом на продукцію механічної, фізико-хімічної, мікробіологічної дії, що дає ґрунтовну комплексну оцінку якості досліджуваних зразків продукції [18]. Використовуючи розрахункові дані з таблиці 1, побудували математичні моделі за зразками продукції, за результатами якої кращі характеристики виявив дослідний зразок № 5 (рис. 2).





Для оцінки якості дослідних зразків варених ковбас була використана також розроблена площинна математична модель за схемою багатокутника. При побудові даної моделі на основі проведених експериментальних досліджень фізико-хімічних показників досліджуваної рослинної добавки, а саме, амінокислотного складу її білків, мінерального та вітамінного складу; на основі одержаних показників розраховували енергетичну цінність та індекс незамінних амінокислот.

Порівняно із існуючими моделями за органолептичними показниками розроблена модель базується на використанні чисельних значень вищезазначених параметрів, що були обрані в якості критеріїв порівняльної оцінки (табл. 2). При цьому величини безрозмірних комплексів відкладали від центру за променями, які будували через однаковий кут. Кількість кутів даної фігури показує число параметрів, що використовуються для оцінки якості певної продукції. Аналогічно як для променевої моделі для нормативних значень даний параметр дорівнює 1,0; тому отримані точки у цьому випадку описують правильний багатокутник. Для поточних безрозмірних комплексів дослідних зразків їх величини відкладались також по відповідним променям або напівдіагоналей, описуючи неправильний багатокутник. Очевидно, що площі даних фігур складають своєрідну факторну площину зміни параметрів якості зразків продукції та нормативних їх значень. Відношення даних площ достатньо ефективно може описувати відповідність нормативним значенням або показувати раціональні напрями збільшення характеристик якості продукції та може служити критерієм порівняльної оцінки:  $k_s = \frac{S_n}{S_o}$  (де  $S_n$  та  $S_o$  –

площі багатокутників відповідно за поточними та контрольними параметрами). Тому у якості критеріїв оцінки за такої моделі можна використовувати відносні площі багатокутників  $k_s$  та величини центральних напівдіагоналей за контрольними та поточними значеннями параметрів.

Розроблена математична модель за схемою багатокутника є достатньо ефективною для оцінки якості продукції за різноплановими характеристиками. При цьому необхідно окремо будувати моделі при застосуванні позитивних та негативних характеристик. Використовуючи розрахункові дані з таблиці 2, побудували математичні моделі за зразками продукції (рис. 3).

Якісні характеристики всіх дослідних зразків виявились достатньо близькими до контрольних. Кращі результати якісної оцінки за представленими характеристиками виявились у дослідного зразка № 2.



Таблиця 2

Розрахункові дані для побудови площинної математичної моделі за схемою багатокутника

Показник		Характеристика якості дослідних зразків			
		$l_0$	$l_n$	$R_0$ , ум. од.	$R_n$ , ум. од.
1	Вологозв'язуюча здатність, %	77,63	78,44	1	1,01
2	Пластичність	7,8	8,79	1	1,12
3	Водоутримуюча здатність, %	69,1	70,81	1	1,06
4	Жирутримуюча здатність, %	2,5	2,9	1	1,16
5	Пенетрація, Па	1609,06	1766,44	1	1,1
6	Енергетична цінність, ккал/кг	253,95	226,53	1	0,9

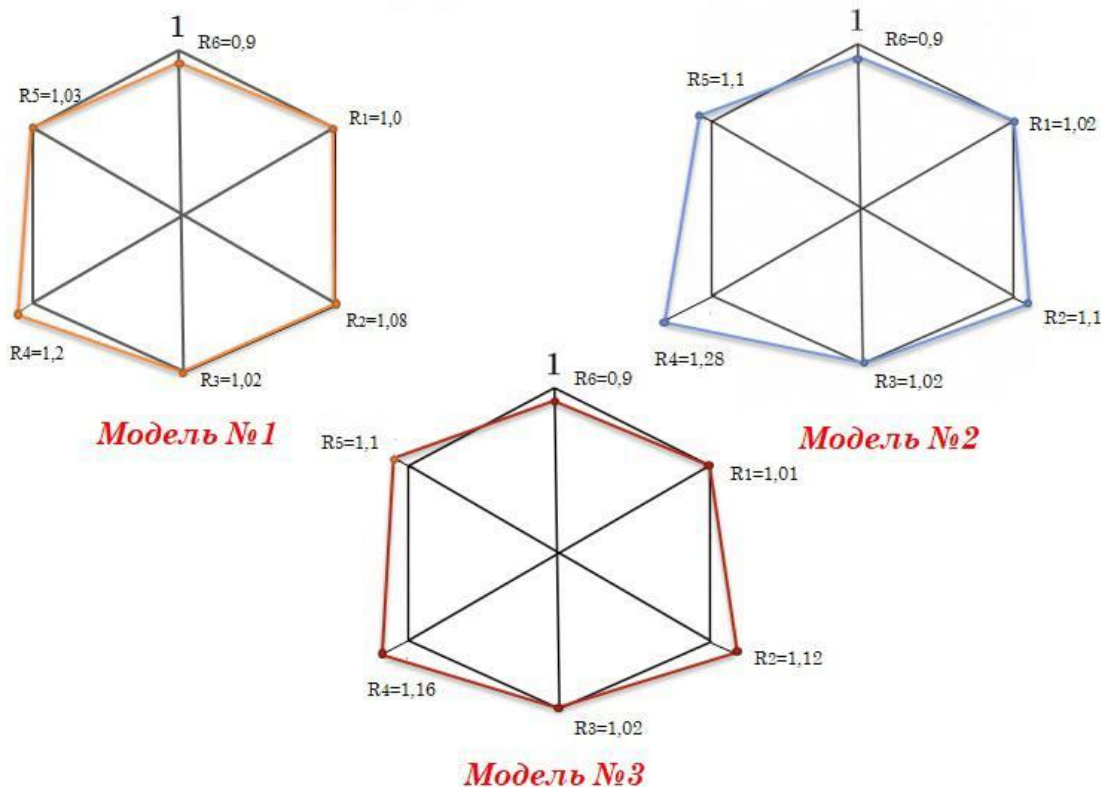


Рис. 3. Площинні математичні моделі якості за схемою шестикутника для оцінки якості варених з рослинними домішками: 1, 2, 3 – № дослідних зразків продукції

*Висновки.* Аналіз існуючих моделей якості харчової продукції виявив, що результати оцінки мають явно виражений суб'єктивний характер, не використовують цифрової інформації, в якості критеріїв оцінки мають лише органолептичні характеристики.

При використанні розроблених променевих математичних моделей критерії оцінки представлені безрозмірними комплексами, що дозволяють об'єктивно оцінювати факторний простір як за різноплановими параметрами, так і за розгалуженими сімействами



споріднених характеристик, що дозволяє поліпшити адекватність оцінки стану продукції. Кількість розгалужених сімейств споріднених характеристик обмежується трьома, хоча цього досить для якісної оцінки якості продукції, наприклад, за такими групами, як технологічні, процесні та технічні, за механічними, фізико-хімічними та мікробіологічними характеристиками. Оцінка розроблених математичних моделей виявила кращі результати якісної оцінки у дослідного зразка № 5, використовуючи у якості критеріїв оцінки довжини променів за параметрами оцінки та середньою відносною довжиною за контрольними та поточними значеннями параметрів.

Розроблені математичні моделі багатокутникового типу відзначаються простотою складання, хоча адекватність оцінки залежить від правильного вибору параметрів оцінки. Використані критерії оцінки представлені безрозмірними комплексами, що дозволяють об'єктивно оцінювати факторний простір різноплановими характеристиками та підвищити адекватність оцінки стану продукції. Модель є достатньо інформативною та наочною, а кількість параметрів оцінки є необмеженою. Оцінка розроблених математичних моделей виявила кращі результати якісної оцінки у дослідного зразка № 2, використовуючи у якості критеріїв оцінки відносні величини площ багатокутників та значення центральних напівдіагоналей за контрольними та поточними значеннями параметрів.

#### *Список використаних джерел*

1. World Population Prospects 2022 , Graphs / Profiles. United Nations Department of Economic and Social Affairs. Population Division. 2022. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/World\\_population#cite\\_note-:4-2](https://en.wikipedia.org/wiki/World_population#cite_note-:4-2) (дата звернення 01.03.2024).
2. Баль-Прилипко Л. В., Слободянюк Н. М., Леонова Б. І., Крижова Ю. П. Актуальні проблеми м'ясопереробної галузі: підручник. Друге видання переглянуте та доповнене. Київ: Видавничий центр НУБіП, 2016. 368 с.
3. Финляндия делает ставку на продукты питания будущего. URL: <https://www.goodnewsfinland.com/ru/feature/finlyandiya-delaet-stavku-na-produkty-pitaniya-budushhego/> (дата звернення 11.03.2024).
4. W. D. Katch, F. I. Katch. Exercise physiology: energy, nutrition and human performance (6<sup>th</sup> edition). Lippincott Williams & Wilkins. 2006.
5. Dietary fibre. *British Nutrition Foundation*. 2018. 5 p. <https://web.archive.org/web/20180726203523/https://www.nutrition.org.uk/nutritionscience/nutrients-food-and-ingredients/dietaryfibre.html?limitstart=0> (дата звернення 05.03.2024).



6. Keenan M. J., Zhou J., Pelkman C., Durham H. S. A., Coulon D. B., Mrtin R. J. Role of resistant starch in improving gut health, adiposity and insulin resistance. *Advances in Nutrition*. 2015. Vol. 6(2). P. 198-205.
7. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids. *US Department of Agriculture, National Agricultural Library and National Academy of Sciences, Institute of Medicine, Food and Nutrition Board*. 2005. Ch. 7. Dietary, Functional and Total Fiber.
8. Dietary fiber. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Dietary\\_fiber](https://en.wikipedia.org/wiki/Dietary_fiber) (дата звернення 11.03.2024).
9. El-Salhy M., Hatlebakk J. G., Gilja O. H. The relation between celiac disease, nonceliac gluten sensitivity and irritable bowel syndrome. *Nutritional Journal*. 2015. Vol. 14. P. 92.
10. Tack G. J., Verbeek W. H., Schreurs M. W. J. The spectrum of celiac disease: epidemiology, clinical aspects and treatment. *Nature Reviews Gastroenterology&Hepatology*. 2010. Vol. 7(4). P. 204- 213.
11. Krigel A., Lebwohl B. Nonceliac Gluten Sensitivity. *Advances in Nutrition*. 2016. Vol. 7(6). P. 1105-1110.
12. Дубовик А. У древньої пшениці спельти – нове життя. <https://www.ar25.org/article/u-drevnoyi-pshenyuci-spelty-nove-zhyttya.html> (дата звернення 05.03.2024).
13. V. Dvoracek, V. Curn, J. Moudrý. Evaluation of Amino Acid Content and Composition in Spelt Wheat Varieties. *Cereal Research Communications*. 2002. Vol. 30(1). P. 187-193.
14. Helen West, What is Spelt, and is it Good For You? <https://www.healthline.com/nutrition/what-is-spelt> (дата звернення 11.03.2024).
15. Joanne Slavin - Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3705355/> (дата звернення 14.03.2024).
16. Biskup I., Gajcy M. Fecka. The potential role of selected bioactive compounds from spelt and common wheat in glycemic control. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29068605> (дата звернення 05.03.2024).
17. Donna Berry. The magic of mushrooms in meat applications. URL: <https://www.foodbusinessnews.net/articles/9204-the-magic-of-mushrooms-in-meat-applications> (дата звернення 15.03.2024).
18. Mushtruk M., Palamarchuk I., Palamarchuk V. [et al.]. Mathematical modelling of quality assessment of cooked sausages with the addition of vegetable additives. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Science* [this link is disabled](#). 2023. Vol. 17. P. 242–255.

Стаття надійшла до редакції 08.04.2024 р.



I. Palamarchuk<sup>1</sup>, N. Zahorko<sup>2</sup>, Ya. Yaremenko<sup>1</sup>, N. Svatova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

<sup>2</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

## MATHEMATICAL MODELS OF THE QUALITY OF MEAT PRODUCTS WITH VEGETABLE ADDITIONS

### *Summary*

Meat products and semi-finished products with impurities of plant and animal origin were used as the subject of research. The cooked sausage products, namely sausages, contained wild spelt flour and chopped mushrooms. This allowed us to enrich the products with dietary fiber, minerals and fatty acids with a specific taste and flavor. The sliced meat semi-finished products contained a complex food additive based on animal and vegetable raw materials in the range of 0.5 to 1.5%. The existing mathematical models of food quality are limited to the analysis of organoleptic characteristics, which is realized by the creation and collegial decision of a special expert commission. Such an assessment structure causes certain organizational difficulties and is clearly subjective in nature, and is practically not based on the digital information available on the basis of the results of experimental studies. Therefore, the purpose of the research work was to develop and test mathematical models of the quality of the products presented above according to such schemes as linear one-dimensional ray and planar in the form of a polygon. The developed mathematical models are characterized by simplicity of compilation and high visibility, the ability to process a sufficiently large amount of information, and the use of an unlimited number of parameters for comparative evaluation. The used evaluation criteria are represented by dimensionless complexes that allow an objective assessment of the factor space both by different. The one-dimensional ray model has proven to be effective when using diverse assessment criteria that comprehensively cover the factor space of influence on product condition. Two-dimensional and three-dimensional ray models effectively assess the condition of products when using assessment criteria that have a certain affinity in the areas of interest. The latter can characterize the technological, process or technical aspects of the studied product manufacturing processes; features of the physical, chemical or microbiological activity of the studied samples. The best results of the qualitative assessment using a one-dimensional ray model of the quality of sliced meat semi-finished products were performed by the average value of all the used dimensionless parameters, as well as by individual control and current comparative characteristics. Mathematical models based on the polygon scheme allowed us to effectively assess the condition of cooked sausages for the test and control samples both by the conditional factor plane and by individual evaluation criteria. The common feature of the developed models was the use of separate negative and positive evaluation criteria.

**Keywords:** meat products, vegetable and animal additives, mathematical quality models, evaluation criteria, one-dimensional ray model, polygonal model, dimensionless digital evaluation.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-16

УДК 664.8.038:635.8

А. Г. Ткаченко<sup>1</sup>, аспірант

ORCID: 0009-0008-2988-0140

І. І. Бандура<sup>1</sup>, д-р с.-г. наук

ORCID: 0000-0001-7835-3293

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

e-mail: gray.cat.atkachenko@gmail.com, тел.: +380991600913

## ПОПЕРЕДНЯ ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗБЕРІГАННЯ ГРИБІВ ШІТАКЕ В ТАРІ З РІЗНОЮ ТОВЩИНОЮ ХАРЧОВОЇ ПЛІВКИ ТА ЗАСТОСУВАННЯМ ВОЛОГОУТРИМУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ

*Анотація.* Вивчення особливостей зберігання перспективного для промислового культивування їстівного гриба *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler дозволяє визначити стратегію організації післязбиральних процедур з метою подовження терміну зберігання та підвищення візуальної привабливості плодівих тіл у пакуванні зі збереженням харчової та лікарської цінності урожаю. За результатами роботи визначено оптимальну товщину плівки для пакування шітаке у полімерну тару; перевірено можливість подовження термінів зберігання грибів за рахунок абсорбування випаровуваної вологи; проведено розрахунки природного зменшення маси та ступеня утримання вологи целюлозними серветками та саше силікагелю різної маси; доведено ефективність використання вологопоглинаючих матеріалів для удосконалення процесу збереження шітаке.

*Ключові слова:* *Lentinula edodes*, пакування, післязбиральні процедури, абсорбент, силікагель, волого-поглинаючі серветки.

*Постановка проблеми.* Гриби користуються популярністю у споживачів завдяки своєму унікальному смаку та аромату, а також служать альтернативою м'ясним стравам у повсякденному раціоні. Кожен вид грибів має унікальний біохімічний склад, що містить свій набір біоактивних сполук, вітамінів та необхідних елементів, з активними медичними властивостями [1–3]. У Японії, Китаї та Південній Кореї розширення асортименту грибів вважається важливим елементом стратегії підтримки здоров'я нації. Гриби використовують у приготуванні хліба, снєків, йогуртів, десертів і навіть алкогольних напоїв [4, 5].

Проте на даний момент понад 90 % ринку грибів в Україні та понад 80 % у Європі займає печериця (*Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach), тоді як інші види представлені переважно імпортованою сировиною та консервами. Це зумовлено, перш за все, відсутністю адаптованих технологій вирощування та переробки інших видів грибів з їх крихкими плодовими тілами, схильними до швидкого псування





[6, 7]. Проте зростає інтерес з боку споживачів до нових їстівних видів грибів з унікальними оздоровчими властивостями, серед яких шіітаке є найбільш відомим. Важливість удосконалення технології зберігання грибів шіітаке вітчизняних промислових штамів *L. edodes* 3782 та 881, які мають високі адаптивні показники до культивування з використанням доступних сировинних матеріалів, є зрозумілою. Подовження терміну реалізації якісної грибної продукції надає можливість забезпечити сталі пропозиції на внутрішньому ринку, а також відкриватиме шлях для експорту. Відомі методи зберігання плодових тіл грибів *L. edodes* потребують адаптації до використання доступних та ефективних пакувальних матеріалів, бо процедура пакування, яка значно поліпшує тривалість зберігання урожаю в задовільній якості, з іншої сторони, зумовлює суттєве зростання собівартості врожаю. Опубліковані результати наукових пошуків у цьому напрямку, залишають відкритими питання щодо впливу різних параметрів упаковки на якість і тривалість зберігання грибів.

*Аналіз останніх досліджень.* Найбільш вагомими факторами, на думку дослідників, є характеристики пакувальної плівки – товщина, газоутримуюча здатність чи вибіркова проникність, антибактеріальні властивості та інші [9, 11, 12]. Додатково вивчаються можливості контролювання вмісту вологи у модифікованому газовому середовищі, що створюється в пакуваннях за рахунок дихання грибів після збирання шляхом використання різних вологопоглинаючих матеріалів [10].

Науковці обґрунтовують швидкі процеси старіння грибної сировини окислювальними процесами, які включають ферментну деградацію клітинних і субклітинних структур і макромолекул, а також мобілізацію продуктів розпаду у біомасі [13]. Тому, головним завданням на шляху збільшення тривалості зберігання грибів є зниження активності ферментів, зокрема поліфенолоксидази. Для цього використовують шокове та вакуумне охолодження свіжезібраної продукції до 0...2 °С, систему пакування у газомодифікованих середовищах (MAP–Modified atmosphere packaging) зі спеціальними плівковими покриттями, які дозволяють підтримувати необхідне співвідношення вмісту кисню та вуглекислого газу [14].

Однак, крім складу газової суміші, також важливо контролювати рівень відносної вологості всередині пакування з грибами, щоб уникнути утворення конденсату, розвитку плісневих грибів та розмноження бактерій. Більшість полімерних матеріалів (поліетилен, поліпропілен або полівінілхлорид), що використовуються в пакуванні свіжих продуктів, мають нижчу швидкість пропускання водяної пари порівняно зі швидкістю випаровування свіжих продуктів. Таким





чином, більшість молекул води, що випаровуються з грибів, не проходить через плівку і залишається всередині упаковки, підвищуючи тиск водяної пари в мікрооточенні плодових тіл. У цих умовах навіть незначне коливання температури може спричинити конденсацію пари всередині пакування, що зумовлює посилення росту мікроорганізмів, відповідно, появу слизу, запаху гниття, потемніння поверхні грибів [15, 16]. Тому, однією з технік, що сприяє тривалому збереженню якості урожаю, є використання водопоглинаючих полімерних матеріалів, зокрема SAP (Super absorbent polymer, polyacrylate), виготовлених з поліакрилату, які забезпечують умови ненасиченої вологості [10].

Одним із ключових питань, розглянутих у попередніх дослідженнях, було визначення впливу природи пакувальних матеріалів на тривалість зберігання *L. edodes* та доведено істотний вплив цього фактору на зміни вмісту води в плодових тілах [9]. Інші результати вказують на доцільність використання абсорбентів для зниження утворення конденсату всередині пакування [10]. Дослідники наголошують на важливості індивідуального підходу до вибору товщини пакувальної плівки в залежності від конкретних характеристик грибів та умов зберігання [11, 12]. Отже, за результатами аналізу останніх виявлено необхідність визначення взаємодії між товщиною пакувальної плівки та типами абсорбентів для забезпечення оптимальних умов зберігання урожаю тих штамів *L. edodes*, які є максимально адаптованими до умов сучасного вітчизняного виробництва.

*Формулювання цілі статті (постановка завдання).* Метою цього дослідження стала попередня оцінка впливу товщини харчової полівінілхлоридної (ПВХ) стретч-плівки та водопоглинаючих засобів (целюлозні серветки – «вкладиші» та гранульований селікагель у пакуваннях 1, 2, 5, 10 г) на тривалість зберігання та споживчу якість плодових тіл грибів штаму *L. edodes* 365. Головним завданням було визначення втрат маси грибної сировини та змін візуальних характеристик врожаю впродовж тривалого зберігання у дослідних варіантах пакувань. Додатково встановлювали ступінь водопоглинання застосованих абсорбентів.

*Основна частина.* Культивування грибів проводили в умовах ТОВ «ЕСМАШ -3» на стерильних складних субстратах з вмістом 67% дубової тирси. Впродовж вирощування підтримували наступні мікрокліматичні параметри: температура в період вегетативного розвитку культури *L. edodes* 365 на рівні  $24 \pm 1$  °C, а для формування плодових тіл -  $18 \pm 1$  °C; відносна вологість повітря складала  $90 \pm 3$  %, вміст CO<sub>2</sub> у складі повітря не перевищував 0,15 %, інтенсивність освітлювання - 150...300 люкс.



*Матеріали і методи.* Плодові тіла (ПТ) шіітаке збирали за досягнення технічної стиглості: до початку спороношення та масою від 16 до 30 г. Для зберігання виробником було надано гриби з незначними дефектами поверхні: темні плями не більше 5мм у діаметрі, порушення форми, отже ті, які мали меншу візуальну привабливість, та, відповідно, могли затримуватись на полицях у торгівельних мережах. Свіжі гриби охолоджували до температури 2 °С та пакували у лотки з харчового поліпропілену (ПП-702 500 мл) по 300 ± 20 г. Для пакування використовували харчові полівінілхлоридні (ПВХ) плівки від виробника ТОВ "Виробнича фірма "ПОЛІМЕР" різної товщини: 7,5, 10 та 12 мкм, в які загортали лотки на «гарячому столі». Гриби у пакуваннях контрольного варіанту в плівку не загортали. В пакуваннях для дослідження впливу водопоглинаючих агентів на дно клали саше з силікагелем масою 1, 2, 5, 10 г та целюлозні вкладиші та використовували плівку товщиною 7,5 мкм. Маса силікагелю у варіантах обирали відповідно до можливості отримати доступні готові саше з водопоглинаючим матеріалом, які на ринок харчових продуктів пропонує торгова марка «Воложка» (м. Київ). Отже, у досліді було перевірено 9 варіантів: 1) контроль без плівки; 2) плівка 7,5 мкм; 3) плівка 10 мкм; 4) плівка 12 мкм; 5) плівка 7,5 мкм плюс целюлозна серветка -вкладиш; 6) плівка 7,5 мкм та саше з 1 г силікагелю; 7) ...з 2 г силікагелю; 8)...з 5 г; 9) з 10 г. Для кожного з варіантів досліду готували 21 пакування (по 3 на 7 контрольних точок). Гриби зберігали у холодильній камері за температури 2 ± 1 °С та перевіряли зміни кожні 5 діб аналізом грибів у 3-х пакуваннях кожного варіанту досліду.

Оцінку якості врожаю впродовж зберігання проводили за наступними показниками: візуальні зміни кольору, поверхні та пружності плодових тіл, зміни маси грибів у пакуванні, вмісту сухих речовин у плодових тілах. Також вивчали зміни маси вологопоглинаючих серветок та саше з силікагелем. Статистичний аналіз проводили у надбудові QI Macros (2021) до Excel 2016 MSO (16.0.4266.1001) код ліцензії 00339-10000-00000-AA963.

*Основна частина.* За вимогами CODEX STAN 38 пакування свіжих грибів має відбуватися відповідно до вимог «Загальних принципів гігієни харчових продуктів» (СХС 1-1969, Rev. 6-2022, Кодекс Аліментаріус). У розділі 6 зазначається, що тара має бути добре заповнена грибами, а у розділі 7 – необхідність перфорації для вільного доступу повітря та підтримання низьких температур впродовж зберігання та розташування на полицях маркетів [17]. Втім, застосування сучасних пакувальних матеріалів, зокрема ПВХ стрейчових харчових плівок, безпечних при контакті з продуктами, дозволяє забезпечити необхідний газообмін та захистити гриби від

мікробіологічної контамінації через отвори перфорації [18]. Звичайно, потрібно зважати на можливий тиск плівки на плодові тіла у пакуваннях, що може привести до механічних пошкоджень у місці дотику. Отже, у регламенті пакування враховували 2 фактори: 1) максимальну наповненість лотків для запобігання вільному пересуванню плодівих тіл та можливому травмуванню впродовж логістичних операцій; 2) натяг плівки, який мав забезпечити утримання плодівих тіл у певному положенні та необхідний газообмін.

Вже на 5 добу зберігання урожаю спостерігали появу конденсованої вологи на внутрішній поверхні плівки у пакуваннях з товщиною 10 та 12 мкм, тоді як в інших варіантах досліду суттєвих змін не відбувалося (рис. 1).

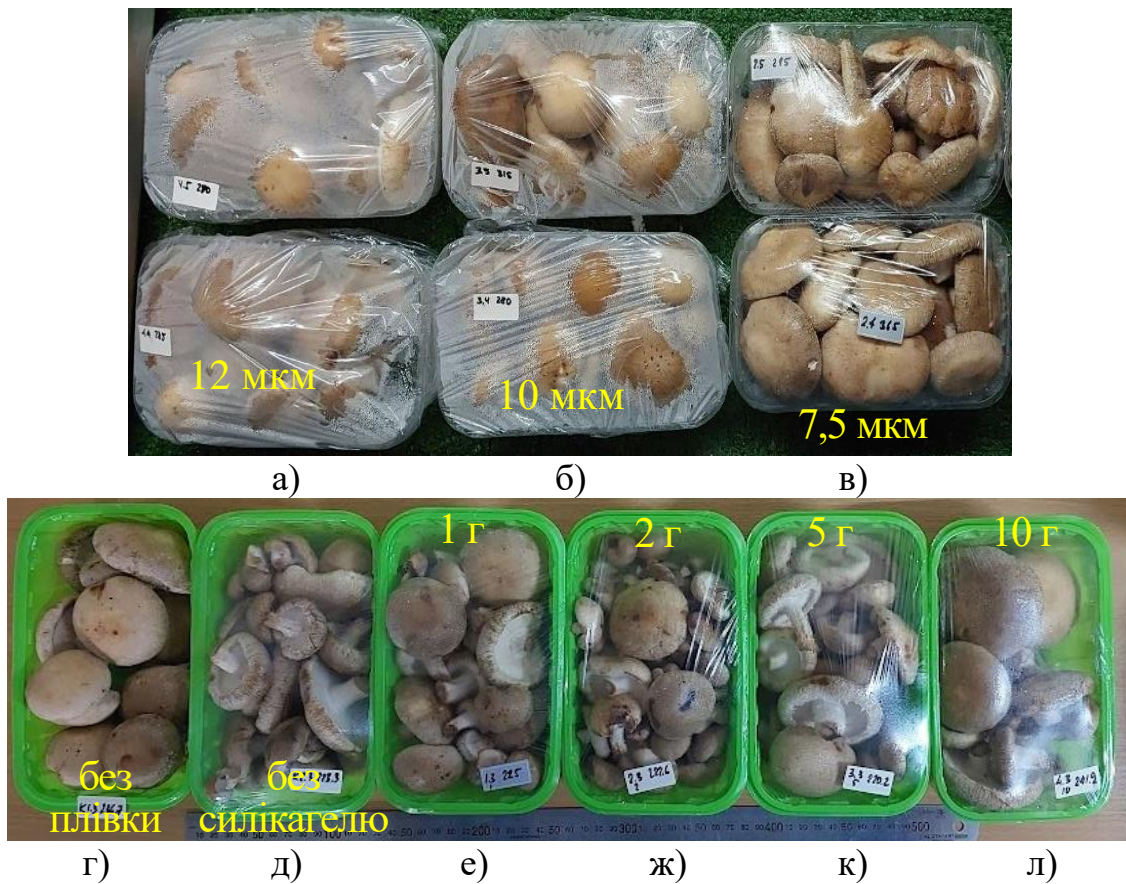
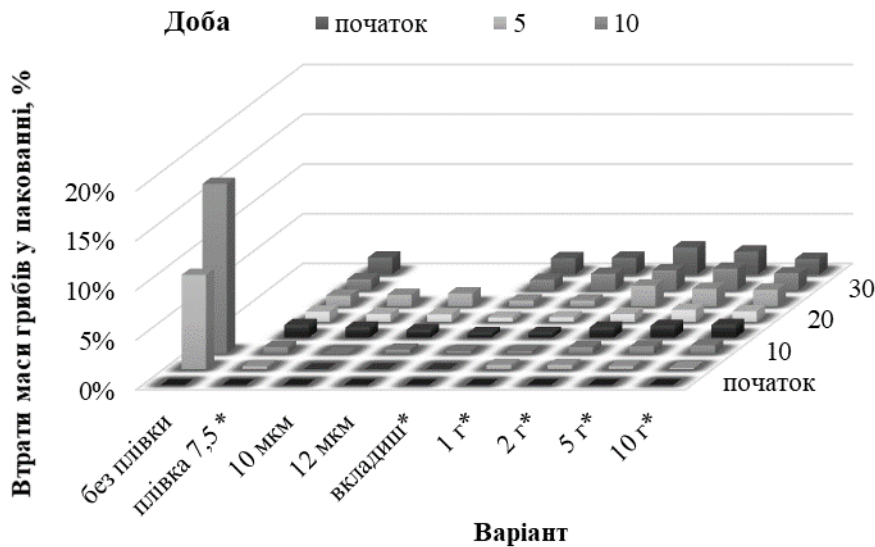


Рис. 1. Пакування з грибами шіїтаке після 5 доби зберігання: а), б), в) з різною товщиною плівок; в) з целюдозним вкладишем; г) без плівки – контроль 1; д) плівка 7,5 мкм без вологопоглиначів (контроль 2); е)-л) плівка 7,5 мкм з додаванням саше з силікагелем від 1 до 10 г відповідно

Отже, застосування ПВХ плівок товщиною більше 7,5 мкм не забезпечувало достатній газообмін за випробованих умов зберігання. Накопичення вологи в таких пакуваннях обумовлювало розвиток

вегетативного міцелію на поверхні плодових тіл, що викликало їх злипання та псувало зовнішній вигляд продукту у пакуванні. Тому варіанти з товщиною плівки 10 та 12 мкм на 25 добу зберігання мали незадовільний вигляд та були вилучені з подальших спостережень.

За результатами експерименту визначено динаміку зменшення маси грибів у пакуваннях (рис. 2).



Примітка: \* -пакування з використанням ПВХ плівки товщиною 7,5 мкм

Рис. 2. Втрата маси грибів у пакуваннях впродовж зберігання за варіантами дослідження: 1) без плівки (контроль 1); 2) полівінілхлоридна плівка (ПВХ) 7,5 мкм (контроль 2); 3) ПВХ плівка 10 мкм ПВХ 4) ПВХ плівка 12 мкм; 5) ПВХ плівка 7,5 мкм з целюлозним вкладишем; 6) ПВХ плівка 7,5 мкм з додаванням саше з 1 г силікагелю; 7) ПВХ плівка 7,5 мкм та 2 г силікагелю; 8) ПВХ плівка 7,5 мкм та 5 г силікагелю; 9) ПВХ плівка 7,5 мкм та 10 г силікагелю

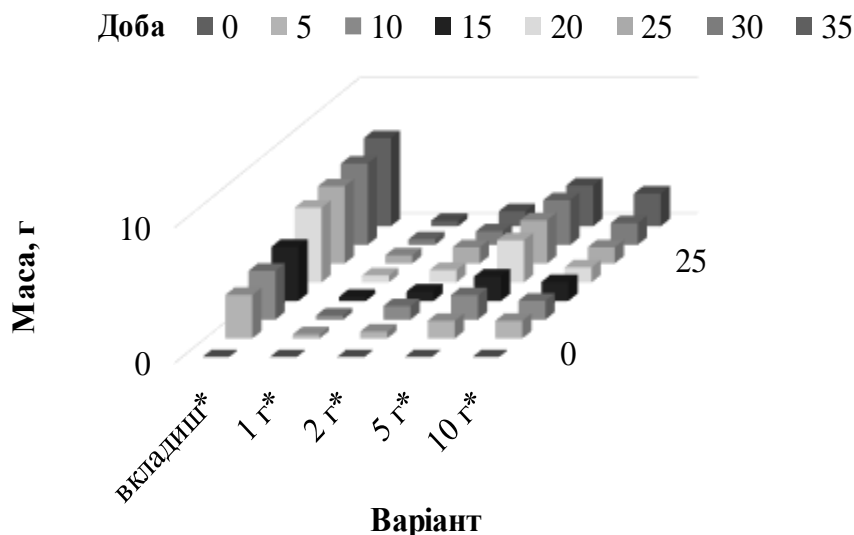
Найбільші втрати спостерігали за зберігання без застосування плівки (контроль 1), де на 10 добу зберігання маса грибів зменшилась на 17,06%. Поверхня грибів втратила пружність, зниження тургору в клітинах обумовило значне погіршення структури м'якоті плодових тіл. На розрізі такі плодові тіла втрачали еластичність. Тому цей варіант був вилучений з подальших досліджень.

Найменші зміни (1,57% від початкової маси) виявлені на кінець зберігання (35 добу) у пакуваннях з 10 г силікагелю. Втім, за результатами статистичного аналізу суттєвих відмінностей від даних, отриманих у контролі 2 (плівка 7,5 мкм без абсорбентів), з використанням целюлозної серветки, 1 та 5 г силікагелю не визначено. З дослідних зразків, що мали задовільну якість на 35 добу зберігання найбільші втрати маси (2,72%) спостерігали в пакуваннях з 2 г силікагелю, що в 1,5 рази було вище за інші варіанти. Цей



первинний результат не дає чіткої відповіді на питання з визначення вмісту оптимальної маси абсорбуючих речовин, отже необхідно продовжити пошуки. Втім, аналізування комплексу органолептичних показників урожаю, що зберігався, дозволило чітко встановити переваги застосування плівки товщиною 7,5 мкм. Так, вже на 20 добу зберігання у пакуваннях з плівками 10 та 12 мкм починалося злипання плодкових тіл за рахунок росту вегетативного міцелію на поверхні шапинок, а на 25 добу ці варіанти були вилучені з дослідження через незадовільний вигляд. Подібні зміни спостерігали в пакуваннях з плівкою 7,5 мкм без використання вологопоглинаючих засобів на 30 добу збереження, тоді як в пакуваннях з додаванням вологопоглинаючих засобів плодіві тіла легко розсипалися після відкриття.

Ефективність вологопоглинання у досліджених абсорбентів мала суттєві відмінності ( $p < 0,05$ ) (рис. 3).



Примітка: \* -пакування з використанням ПВХ плівки товщиною 7,5 мкм

Рис. 3. Збільшення маси абсорбентів впродовж зберігання за варіантами: 1) полівінілхлоридна плівка (ПВХ) плівка 7,5 мкм з целюлозним вкладишем; 2) ПВХ плівка 7,5 мкм з додаванням саше з 1 г силікагелю; 3) ПВХ плівка 7,5 мкм та 2 г силікагелю; 4) ПВХ плівка 7,5 мкм та 5 г силікагелю; 5) ПВХ плівка 7,5 мкм та 10 г силікагелю

Так, найбільший результат було отримано за використання целюлозного вкладишу, який утримував 6,5 г вологи на 35 добу зберігання, тобто більше ніж 500 % від своєї початкової ваги. Найменшу ефективність абсорбування виявлено для саше масою 10 г, маса якого впродовж зберігання збільшилась лише в 1,24 раза, тоді як для саше масою 1, 2 та 5 г в 1,4; 1,55 та 1,6 відповідно. Впродовж зберігання нагромадження вологи абсорбентами мало чіткий лінійний



характер в варіантах використання вкладишів та 5 г силікагелю, тоді як нагромадження вологи у варіантах з 1 г та 2 г силікагелю припинялося на 25 добу зберігання, а в варіанті з 10 г силікагелю графік абсорбції мав експоненційний характер. Такі результати вказують на необхідність перевірки якості пакування силікагелю та можливості збільшення їхньої загальної сорбуючої поверхні.

*Висновки.* За результатами проведених дослідів доведено ефективність зберігання грибів шіітаке в промислових холодильниках за температури  $2 \pm 1$  °С із застосуванням полівінілхлоридної харчової плівки товщиною 7,5 мкм та вологопоглинаючих матеріалів: целюлозних серветок – вкладишів та силікагелю масою 2 та 5 г для пакувань масою  $300 \pm 20$  г. Термін зберігання грибів шіітаке в задовільній споживчій якості за таких умов складає 35 діб.

#### *Список використаних джерел*

1. Cheung P. C. *Mushrooms as Functional Foods*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008. 293 p.
2. Maity P. et al. Biologically active polysaccharide from edible mushrooms: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 172. P. 408–417. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.081> (accessed 15.03.2023).
3. EFSA Panel on Nutrition N. F. [et al.]. Safety of Vitamin D2 mushroom powder (*Agaricus bisporus*) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*. 2022. Vol. 20, № 6. P. 22. URL: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2022.7326> (дата звернення 07.03.2024).
4. Antontseva E. V., Belyakova T. N., Zabodalova L., Shamtsyan, M. Polysaccharides of the oyster mushroom in yogurt production. *Dairy Industry*. 2019. Vol. 2. P. 54-55. URL: [https://www.researchgate.net/publication/330975662\\_Polysaccharides\\_of\\_the\\_oyster\\_mushroom\\_in\\_yogurt\\_production](https://www.researchgate.net/publication/330975662_Polysaccharides_of_the_oyster_mushroom_in_yogurt_production) (accessed 10.03.2020).
5. Wan-Mohtar W. A. [et al.]. Fruiting-body-base flour from an oyster mushroom—a waste source of antioxidative flour for developing potential functional cookies and steamed-bun. *AIMS Agriculture and Food*. 2018. Vol. 3, № 4. P. 481–492.
6. Bandura I., Isikhuemhen O. S., Kulik A., Serduk M., Sucharenko O., Jukova V., Koliadenko V., Gaprindashvili N. Effect of perforation size and substrate bag fruiting position on the morphology of fruiting bodies and clusters in *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. *J App Biol Biotech*. 2021. Vol. 9, № 3. P. 35–40.
7. Бандура І. І., Кулик А. С., Каліцинський С. С., Сербова І. О. Особливості зберігання грибів родини глива. *Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах*





сучасності: друга міжнародна науково-практична конференція (5–7 вересня 2017 р.). Харків: ХДУХТ, 2017. С.213–214.

8. Bach F. [et al.]. Influence of cultivation methods on the chemical and nutritional characteristics of *Lentinula edodes*. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2019. Vol. 30. № 12. P. 1006-13.

9. Ye J., Li J., Han X., Zhang L., Jiang T., Xia M. Effects of Active Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Quality of Shiitake Mushrooms (*Lentinula edodes*) Stored at Cold Storage. *Journal of Integrative Agriculture*. 2012. Vol. 11(3). P. 474–482.

10. Wang H., An D., Rhim J., Lee D. Shiitake mushroom packages tuned in active CO<sub>2</sub> and moisture absorption requirements. *Food Packaging and Shelf Life*. 2017. Vol. 11. P. 10-15.

11. Li Y., Ding S., Wang Y. Shelf life predictive model for postharvest shiitake mushrooms. *Journal of Food Engineering*. 2022. Vol. 330. e 111099. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111099>.

12. Abdelshafy A., Luo Z., Belwal T., Ban Z., Li L. A Comprehensive Review on Preservation of Shiitake Mushroom (*Lentinus Edodes*): Techniques, Research Advances and Influence on Quality Traits. *Food Reviews International*. 2021. Vol. 39. P. 1-34.

13. del Río L. A. [et al.]. The activated oxygen role of peroxisomes in senescence. *Plant Physiology. American Society of Plant Biologists*. 1998. Vol. 116, № 4. P. 1195–1200. <https://doi.org/10.1104/pp.116.4.1195>.

14. Tao F., Zhang M., Yu H. Effect of vacuum cooling on physiological changes in the antioxidant system of mushroom under different storage conditions. *Journal of Food Engineering*. 2007. Vol. 79, № 4. P. 1302–1309. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.011>.

15. Ayala Zavala J. F. High Relative Humidity In-Package of Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Advantage or Disadvantage Considering Microbiological Problems and Antimicrobial Delivering Systems. *Journal of Food Science*. Wiley Online Library. 2008. Vol. 73. № 4. P. 41-47.

16. Linke M., Geyer M. Condensation dynamics in plastic film packaging of fruit and vegetables. *Journal of Food Engineering*. 2013. Vol. 116, № 1. P. 144–154.

17. International Food Standards. Codex Alimentarius. General Principles Of Food Hygiene (CXC 1-1969, Rev. 6-2022). URL: [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/shproxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXC%2B1-1969%252FCXC\\_001e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/shproxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXC%2B1-1969%252FCXC_001e.pdf) (accessed 20.04.2024).

18. Donglu F. [et al.] Effect of nanocomposite packaging on postharvest quality and reactive oxygen species metabolism of mushrooms (*Flammulina velutipes*). *Postharvest Biology and Technology*. 2016. Vol. 119. P. 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.012>.

Стаття надійшла до редакції 22.04.2024 р.



A. Tkachenko<sup>1</sup>, I. Bandura<sup>1</sup>

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

**A PRELIMINARY EVALUATION OF THE EFFICACY OF STORING  
SHIITAKE MUSHROOMS IN CONTAINERS USING VARIETY FOOD FILMS  
AND MOISTURE-RETAINING MATERIALS**

*Summary*

Mushrooms are known as a food with unique functional properties, but with limited shelf life for fresh fruiting bodies. Different approaches were investigated to prolong the mushroom storage process: modified gas media (MGM) inside packages, sorbents, and moisture-retaining materials. However, each species and even strain of mushrooms have individual morphological and nutritional characteristics that can affect the keeping time and sensory parameters of the crop. This article presents the result of research about efficiency of storage of local strains of *Lentinula edodes* under temperature of  $2 \pm 1$  °C using polyvinyl chloride cling film with different thickness: 7.5, 10 and 12  $\mu\text{m}$  which is produced in Ukraine. Mushrooms' physiological process continues under low temperatures, which promotes changes in air content (MGM) and increases the humidity value inside containers. Two types of moisture-retaining materials were used for preventing of moisture: a) silica gel (sachet with 1, 2, 5 and 10 grams) and cellulose napkins. Mushroom crop placed into food polypropylene containers by  $300 \pm 20$  g each and kept 35 days. The smallest changes (1.57% of the initial weight of mushroom) were detected at the end of the storage in packages with 10 g of silica gel. However, the lowest sorbtion efficiency was found in this variant, the weight of sachets with 10 g silica gel increased only 1.24 times during storage, while for sachets weighing 1, 2 and 5 g in 1.4; 1.55 and 1.6 respectively. Therefore, the packaging approach with using food film with thickness of 7.5  $\mu\text{m}$  and moisture-absorbing materials: cellulose napkins - liners and silica gel weighing 2 and 5 g had a higher complex assessment of this research.

**Keywords:** *Lentinula edodes*, moisture-retaining materials, shelf life, silica gel, cellulose napkin.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-17

УДК 634.574:637.523.2

Л. М. Крижак<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-4882-897X

Г. П. Калініна<sup>2</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-6178-7885

Л. В. Фіалковська<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-4353-0963

<sup>1</sup> Вінницький торговельно-економічний інститут ДТЕУ<sup>2</sup> Білоцерківський національний аграрний університет

e-mail: liliakrizhak44@gmail.com, тел.: +380967242684

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГОРІХУ ФІСТАШКА (*PISTACIA VERA L.*) У ТЕХНОЛОГІЇ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ

*Анотація.* Фісташка є багатим джерелом біологічно активних компонентів, які порівняно з іншими горіхами мають більш здоровий харчовий профіль: з низьким вмістом жиру, що складається в основному з мононенасичених жирних кислот, високим вмістом білка, харчових волокон, мінералів, особливо калію, вітамінів, таких як вітаміни С і Е. Вміст фітохімічних речовин, таких як токофероли, каротиноїди та, що важливо, фенольні сполуки, чим приваблює інтерес споживачів і науковців. Хоча фісташки були менш вивчені, ніж інші горіхи (волоський, мигдаль, фундук тощо), численні дослідження довели їх сприятливий вплив на організм людини. У статті зібрані дані щодо найбільш сприятливого впливу фісташок з огляду наукових досліджень якісного складу та оцінки біологічних властивостей фісташок, їх споживання та використання. Фісташки мають широке застосування у кондитерській галузі як рецептурний компонент харчових продуктів і як окремий продукт взагалі. Фісташки як білоквмісний компонент цікаві і у технології інших продуктів широкого асортименту, в тому числі ковбасному виробництві. Метою цього дослідження було оцінити фізико-хімічні властивості горіху фісташка (*Pistacia vera L.*) у перспективі застосування при виробництві сиров'ялених ковбас.

*Ключові слова:* здоров'я, харчова та біологічна цінність, горіх, фісташка, технологія, ковбаса, зберігання.

*Постановка проблеми.* Горіхи, завдяки високому вмісту ненасичених і незамінних жирних кислот, фенольних сполук та інших складових, вважаються цінним джерелом біологічно активних компонентів.

Клінічні випробування показали, що споживання горіхів позитивно впливає на такі стани здоров'я, як гіпертонія, діабет, серцево-судинні захворювання, рак, інші запальні захворювання та загальна смертність. Горіхи – це багаті поживними речовинами продукти зі здоровим профілем жирних кислот, а також містять інші біологічно активні сполуки з визнаною користю для здоров'я. Серед горіхів фісташки мають нижчий вміст жиру але найвищий вміст

калію,  $\gamma$ -токоферолу, вітаміну К, фітостеролів, каротиноїдів ксантофілу, деяких мінералів (Cu, Fe та Mg), вітаміну B<sub>6</sub> та тіаміну, що обумовлює їх високий антиоксидантний і протизапальний потенціал.

*Аналіз останніх досліджень.* Фісташка є одним з найбільш універсальних і самобутніх сортів горіхів, має неповторний смак і колір, який чудово поєднується з тортами, тістечками, морозивом і деякими солоними стравами. У 2022-2023 році світове виробництво фісташок склало понад 747 тисяч тон. Хоча фісташки походять із Центральної Азії, Сполучені Штати виробляють більше половини фісташок у світі, більше, ніж будь-яка інша країна. Однак країною з найбільшою площею садів фісташки в 2021 році була Туреччина, де фісташкові дерева займали трохи менше 390 тисяч гектарів, у порівнянні з приблизно 165,5 тисячами гектарів в Сполучених Штатах. У 2022-2023 роках валове виробництво фісташки у всьому світі склало близько шести мільярдів доларів США (рис. 1) [1].

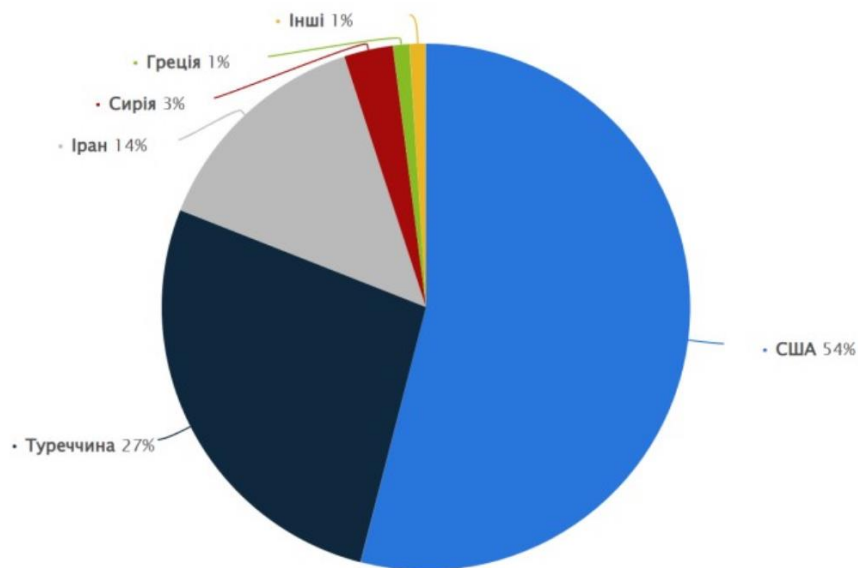


Рис. 1. Частка світового виробництва фісташки у 2022/2023 роках

*Формулювання цілей статті.* Враховуючи попит і споживчі властивості горіхової сировини, метою досліджень є обґрунтування використання очищених ядер фісташки в м'ясній промисловості в технології сиров'ячених та сиров'ячених ковбас.

*Основна частина.* Фісташка (*Pistacia vera* L.) є одними з найпопулярніших горіхів у світі завдяки своєму смаку, поживній цінності та користі для здоров'я. Споживання горіхів, таких як фундук, мигдаль, волоський, фісташка та кеш'ю, є характерним для середземноморської дієти [2].

Частково це пов'язано з тим фактом, що споживання горіхів асоціюється зі здоровим харчуванням та рекомендовано дієтологами,



оскільки фісташки мають низьку калорійність, високий вміст мононенасичених жирних кислот і низький вміст насичених жирних кислот. Крім того, вони є багатим джерелом білків, вуглеводів, харчових волокон, вітамінів (А, Е, К, В<sub>1</sub> і В<sub>6</sub>) і мінералів (калію, фосфору, магнію та заліза). В 100 г ядер фісташки міститься близько 4 г незамінної амінокислоти триптофану [3].

Фісташка є універсальним горіхом, який споживають як закуску сирим, смаженим, солоним або ароматизованим. Також використовують як рецептурний компонент у технології морозива, кондитерських та хлібобулочних виробів, крім того, фісташка використовується в багатьох стравах, закусках, гарнірах, салатах та пудингах. У технологіях традиційних пудингів (наприклад, Shole-Zard шафрановий рисовий пудинг в Ірані), лукум, фісташкових тістечок, фісташкового морозива, фісташкового сиру, цілі або подрібнені ядра фісташки регідратуються до або під час приготування та обробки [4, 5]. У м'ясній промисловості очищені ядра фісташки регідратують і змішують із ковбасним фаршем перед начиненням оболонки. Тому сенсорні властивості регідратованих ядер фісташки, а особливо їх текстура, мають велике значення.

Фісташка є горіхом з низьким вмістом води (3–6%) і багатим поживними речовинами, головним чином жиру (48–63%) і білка (18–22%), а також харчових волокон. Рекомендована щоденна норма споживання фісташки – 1,5 унції, що еквівалентно 42,5 г (табл. 1).

Таблиця 1

Склад поживних речовин сухого несоленого ядра горіху [6]

Назва показника	г/100 г
Білок	20,2
Загальний ліпід (жир)	45,3
Насичені жирні кислоти	5,9
Мононенасичені жирні кислоти	23,3
Поліненасичені жирні кислоти	14,4
Вуглеводи, за різницею	27,2
Клітковина, загальна дієтична	10,6
Цукри, всього	7,66
Крохмаль	1,67
Енергетична цінність	2340 кДж

Сиров'ялена ковбаса – продукт складних біохімічних, мікробіологічних, фізико-хімічних і органолептичних змін м'яса впродовж дозрівання за визначених контрольованих умов щодо



температури та вологості повітря в камерах. Фактично, суттєві зміни фізико-хімічних та органолептичних характеристик та строків дозрівання сирого м'яса в основному спричинені розвитком молочнокислих бактерій, які і формують якість сиров'ялених ковбас [18, 19, 20].

Таблиця 2

Фісташка (сире несолене ядро) вміст мікроелементів [6, 7]

Вміст мікроелементів	Відсоток (мг/100 г)	Вітаміни	Відсоток (мг/100 г)
Кальцій	105	Вітамін С, загальна аскорбінова кислота	5,6
Залізо	3,92	Тіамін	0,87
Магній	121	Рибофлавін	0,16
Фосфор	490	Ніацин	1,3
Калій	1020	Пантотенова кислота	0,52
Натрій	1	Вітамін В-6	1,7
Цинк	2,2	Фолієва кислота	51
Мідь	1,3	Вітамін В-12	0
Марганець	1,2	Вітамін А	51,4
Селен	0,007	Вітамін Е (альфа-токоферол)	2,86
Фтор	0,0034	Вітамін D (D2 + D3)	0
		Вітамін К (філохінон)	0,0013

Таблиця 3

Біоактивні сполуки горіху фісташка

З'єднання, од	Відсоток (мг/100 г) g	Насіннева частина
Каротиноїди, заг		Ядро
Бета каротин	0,305 [6]	
Альфа-каротин	0,010 [6]	
Лютеїн + Зеаксантин	2,9 [6]	
Хлорофіли		Ядро (різні сорти)
Хлорофіл	1,8 до 15,0 [8, 9]	
Хлорофіл b	1–5,0 [8, 9]	
Феафітин a	2,6 [9]	(Бронте)
Гамма-токоферол	20,6	Ядро





З'єднання, од	Відсоток (мг/100 г) g	Насіннєва частина
Гамма-токотрієнол	1,67	Ядро
Фітостероли, заг		Ядро
Кампстерол	10 [6]	
Бета-ситостерин	198 [6]	
Стигмастерин	5 [6]	
Фенольні сполуки, загальна, мг GAE	1677 [10]–1420 [11]	Шкірка і ядра
Ресвератрол	0,006–0,697 [12, 13, 14]	Ядро
Флавоноїди	16–70 [15]	Шкірка і ядра
Антоціани (ціанідин-3-галактозид, ціанідин-3-глюкозид)	69,6 [16]	Шкіра
Проантоціанідини	211–307 [10]	Шкірка і ядра
Ізофлаволи (геністеїн, геністеїн-7-о-глюкозид, дадзеїн)	159 [17]	Ядра

Такі ковбаси можуть піддаватися впливу патогенних бактерій і бактерій псування, а також окислення ліпідів, що призводить до скорочення строків зберігання [21]. Для подовження строків зберігання та зменшення втрат поживних речовин м'ясних продуктів проводять інгібування або затримки окислення шляхом використання синтетичних антиоксидантів (наприклад, ВНА, ВНТ і РG) [22]. Але це має негативний вплив на здоров'я споживачів. Тому увагу науковців і споживачів привертає нова тенденція заміни синтетичних на природні джерела антиоксидантів (наприклад, горіхи, екстракти рослин).

*Висновки.* Фісташки є цінним компонентом здорового харчування, що забезпечує високий вміст білка, ненасичених жирів, харчових волокон, мікроелементів і різноманітних біологічно активних сполук, таких як стероли, токофероли та лютеїн. Поліфеноли здатні сповільнювати окислення жирних кислот, білків, і пігментів м'яса, що гарантує збереження органолептичних показників. Горіх фісташка є найбільш універсальним джерелом природних антиоксидантів, які за умови дотримання технології та належного зберігання сиров'ялених ковбас сприятимуть збереженості продукту. Тому використання фісташки у технології м'ясних продуктів, в тому числі сиров'ялених ковбас, є перспективним і актуальним.

*Список використаних джерел*

1. Shahbandeh M. Production share of pistachios worldwide in 2022/2023, by country. URL: <https://www.statistics.com/statistics/933042/global-pistachio-production-by-country> (дата звернення 11.03.2024).
2. Widmer R. J., Flammer A. J., Lerman L. O., Lerman A. The Mediterranean Diet, its Components, and Cardiovascular Disease. *Am. J. Med.* 2015. Vol. 128. P. 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2014.10.014>.
3. PortFIR (Plataforma Portuguesa de Informação Alimentar) Pistachio Nutritional Composition. URL: <http://portfir.insa.pt/foodcomp/food?21237> (дата звернення 11.03.2024).
4. Ghzaïel I., Zarrouk A., Nury T., Libergoli M., Florio F., Hammouda S., Menetrier F., Avoscan L., Yammine A., Samadi M. [et al.]. Antioxidant properties and cytoprotective effect of *Pistacia lentiscus* L. seed oil against 7 $\beta$ -hydroxycholesterol-induced toxicity in C2C12 myoblasts: Reduction in oxidative stress, mitochondrial and peroxisomal dysfunctions and attenuation of cell death. *Antioxidants*. 2021. Vol.10. P. 1772.
5. Gunathilake M., Van N. T. H., Kim J. Effects of nut consumption on blood lipid profile: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.* 2022. Vol. 32. P. 537–549.
6. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. *Food Data Central*. URL: [fdc.nal.usda.gov](https://fdc.nal.usda.gov) (дата звернення 11.03.2024).
7. Popa D.-S., Bigman G., Rusu M. E. The role of vitamin K in humans: Implication in aging and age-associated diseases. *Antioxidants*. 2021. Vol. 10. P. 566. <https://doi.org/10.3390/antiox10040566>.
8. Bellomo M. G., Fallico B. Anthocyanins, Chlorophylls and Xanthophylls in pistachio nuts (*Pistacia vera*) of different geographic origin. *J. Food Compos. Anal.* 2009. Vol. 20. P. 352–359. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.04.002>.
9. Giuffrida D., Saitta T., La Torre L., Bombaci L., Dugo G. Carotenoid, chlorophyll and chlorophyll-derived compounds in pistachio kernels (*Pistacia vera* L.) from Sicily. *Ital. J. Food Sci.* 2009. Vol. 18. P. 309–316.
10. Nutrient Data Laboratory. Beltsville Human Nutrition Research Center Agricultural Research Service. *USDA Database for the Flavonoid Content of Selected Foods Release 3.3*. U.S. Department of Agriculture; Washington, DC, USA: 2018.
11. Neveu V., Perez-Jiménez J., Vos F., Crespy V., du Chaffaut L., Mennen L., Knox C., Eisner R., Cruz J., Wishart D. [et al.]. Phenol-explorer: An online comprehensive database on polyphenol contents in foods. *Database J. Biol. Databases Curation*. 2010. <https://doi.org/10.1093/database/bap024>.



12. Tokuşoglu O., Unal M. K., Yemiş F. Determination of the phytoalexin resveratrol (3,5,4'-trihydroxystilbene) in peanuts and pistachios by high-performance liquid chromatographic diode array (HPLC-DAD) and Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) *J. Agric. Food Chem.* 2005. Vol. 53. P. 5003–5009. <https://doi.org/10.1021/jf050496+>.
13. Grippi F., Crosta L., Aiello G., Tolomeo M., Oliveri F., Gebbia N., Curione A. Determination of stilbenes in sicilian pistachio by high-performance liquid chromatographic diode array (HPLC-DAD/FLD) and evaluation of eventually mycotoxin contamination. *Food Chem.* 2008. Vol. 107. P. 483–488. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.079>.
14. Gentile C., Tesoriere L., Butera D., Fazzari M., Monastero M., Allegra M., Livrea M. A. Antioxidant activity of Sicilian pistachio (*Pistacia vera* L. var. *Bronte*) nut extract and its bioactive components. *J. Agric. Food Chem.* 2007. Vol. 55. P. 643–648. <https://doi.org/10.1021/jf062533i>.
15. Tomaino A., Martorana M., Arcoraci T., Monteleone D., Giovinazzo C., Saija A. Antioxidant activity and phenolic profile of pistachio (*Pistacia vera* L., Variety *Bronte*) seeds and skins. *Biochimie.* 2010. Vol. 92. P. 1115–1122. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2010.03.027>.
16. Seeram N. P., Zhang Y., Boerman S. Phytochemicals and health aspects of pistachio (*Pistacia vera* L.) In: Alasalvar C., Shahidi F., editors. *Tree Nuts Composition and Health Effects*. CRC Press; Boca Raton, FL, USA: 2010. Nutraceutical Science and Technology.
17. Bulló M., Juanola-Falgarona M., Hernández-Alonso P., Salas-Salvadó J. Nutrition attributes and health effects of pistachio nuts. *Br. J. Nutr.* 2015. Vol. 113. P. 79–93. <https://doi.org/10.1017/S0007114514003250>.
18. Крижак Л. М., Семко Т. В., Іваніщева О. А. Дослідження особливостей використання штамів пробіотиків у технології виробництва ферментованих м'ясних продуктів. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2023. Вип. 13, т. 1. С. 242-251.
19. Власенко В. В., Крижак С. В., Крижак Л. М., Петлюк Л. А. Технологічні властивості м'ясного фаршу з стартовою культурою РЦІ-47. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. № 3(95). С. 110-113.
20. Merzlov S. V. [et al.]. Impact of lactic acid product on quality indices of raw meat for the smoked sausages production. *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*. 2021. Т. 59, № 3. С. 378-384.
21. Van Ba H., Seo H. W., Cho S. H., Kim Y. S., Kim J. H., Nam J. S., Pil Nam S. Antioxidant and anti-foodborne bacteria activities of Shiitake byproduct extract in fermented sausages. *Food Control*. 2016. Vol. 7. P. 201–209.



22. Rajaei A., Barzegar M., Mobarez A. M., Sahari M. A. & Esfahani Z. H. Antioxidant, anti-microbial and antimutagenicity activities of pistachio (*Pistachia vera*) green hull extract. *Food and Chemical Toxicology*. 2010. Vol. 48(1). P. 107–112.

*Стаття надійшла до редакції 15.03.2024р.*

**L. Kryzhak<sup>1</sup>, H. Kalinina<sup>2</sup>, L. Fialkovska<sup>1</sup>**  
**<sup>1</sup>Vinnitsia Institute of Trade and Economics, DTEU**  
**<sup>2</sup>Bila Tserkva national agrarian university**

### **PROSPECTS OF USING THE PISTACHIO NUT (*PISTACIA VERA* L.) IN THE TECHNOLOGY OF SAUSAGE PRODUCTS**

#### *Summary*

Pistachios are a rich source of biologically active components that, compared to other nuts, have a healthier nutritional profile: low in fat, consisting mainly of monounsaturated fatty acids, high in protein, dietary fiber, minerals, especially potassium, vitamins such as C and E. The content of phytochemicals such as tocopherols, carotenoids and, importantly, phenolic compounds, which attracts the interest of consumers and scientists. Although pistachios have been less studied than other nuts (walnuts, almonds, hazelnuts, etc.), numerous studies have proven their beneficial effects on the human body. The article collects data on the most beneficial effect of pistachios from a review of scientific research on the qualitative composition and assessment of the biological properties of pistachios, their consumption and use. Pistachios are widely used in the confectionery industry as a recipe component of food products and as a separate product in general. Pistachios as a protein-flavored component are also interesting in the technology of other products of a wide range, including sausage production. The aim of the research was to evaluate the physicochemical properties of the pistachio nut (*Pistacia vera* L.) in the perspective of use in the production of raw-roasted sausages. Raw sausage is a product of complex biochemical, microbiological, physicochemical and organoleptic changes in meat during ripening under certain controlled conditions regarding temperature and air humidity in the chambers. In fact, significant changes in physico-chemical and organoleptic characteristics and ripening periods of raw meat are mainly caused by the development of lactic acid bacteria, which shape the quality of raw sausages. Such sausages can be exposed to pathogenic bacteria, as well as lipid oxidation, which leads to a reduction in shelf life. In order to extend the shelf life and reduce the loss of nutrients in meat products, oxidation is inhibited or delayed by using synthetic antioxidants. This negatively affects the health of consumers. Therefore, the attention of scientists and consumers is attracted by the new trend of replacing synthetic with natural sources of antioxidants (for example, nuts, plant extracts).

**Keywords:** health, food and biological value, nut, pistachio, technology, sausage, storage.



**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.