

ISSN: 2220-8674



НАУКОВИЙ ВІСНИК

ТАВРІЙСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО АГРОТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Випуск 14, Том 2
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



DMYTRO MOTORNYI TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY

НАУКОВИЙ ВІСНИК
Таврійського державного
агротехнологічного університету
Технічні науки

SCIENTIFIC BULLETIN OF TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY
Technical sciences

Виходить 2 рази на рік
Видається з 2011 р.

Випуск 14, том 2
Issue 14, volume 2

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

DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2

Запоріжжя – 2024



УДК [631.3+621.3+004+663/664]

Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. Вип. 14 т. 2. 313 с.

ISSN 2220-8674

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

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

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

Головний редактор

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

Editor in chief

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

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)

Deputy editors in chief

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

Відповідальний секретар

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

Executive secretary

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

Технічний секретар

Погорельцева Д. О. (Україна)

Technical secretary

Pogoreltseva D. (Ukraine)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

Белоев Христо, д-р техн. наук, проф. (Болгарія)
Даманаускас Вidas, д-р техн. наук, проф. (Литва)
Івановс Семенс, д-р техн. наук (Латвія)
Ольт Юрі, PhD, д-р техн. наук, проф. (Естонія)
Паскуцці Сімон, 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)

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)

**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)

**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)
Pliuhin V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**

Гавриленко Є. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Гнатушенко В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Гумен О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Дашкевич А. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Лубко Д. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
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)
Холодніак 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)

НАУКОВИЙ ВІСНИК

**Таврійського державного
агротехнологічного університету**

Випуск 14, том 2

Засновник

Таврійський державний агротехнологічний
університет імені Дмитра Моторного

Заснований у 2011 році

Свідоцтво про державну реєстрацію

КВ №24285-14125ПР від 27.12.2019 р.

Виходить 2 рази на рік

Рекомендовано до друку вченою радою
Таврійського державного агротехнологічного
університету
імені Дмитра Моторного
Протокол № 3 від 29.10.2024 р.

«Науковий вісник ТДАТУ» включено до
Категорії Б Переліку наукових фахових
видань України (технічні науки) на підставі
Наказів МОН України від 17 березня
2020 року № 409 (Додаток № 1); від 2 липня
2020 року № 886 (Додаток № 4); від
24 вересня 2020 року № 1188 (Додаток № 5).

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: 10.32782/2220-8674-2024-24-1

COMPUTER SCIENCES

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

FOOD TECHNOLOGIES

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

**SCIENTIFIC BULLETIN OF TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY**

Issue 14, volume 2

Founder

Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University

Founded in 2011

Certificate of governmental registration

KB No. 24285-14125ПР dated December 27, 2019

Published 2 times a year

Recommended for publication by the Academic
Board of Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University
Record No. 3 dated October 29, 2024

Proceedings of TSATU is included in the List of
scientific professional editions of Ukraine
(technical sciences), **category B** (on the basis of
the Orders of the MES of Ukraine dated March
17, 2020 No. 409 (Appendix No. 1); dated July 2,
2020 No. 886 (Appendix No. 4); dated
September 24, 2020 No. 1188 (Appendix No. 5).

Address of the Editorial office

Legal adress: 72312, Zaporizhzhia region
Melitopol, 18, B. Khmelnytskyi Ave.
Actual address: 69600, Zaporizhzhia region
Zaporizhzhia, 66, Zhukovskiy Str.
<https://oj.tsatu.edu.ua>,
DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1



ЗМІСТ / CONTENTS

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Панченко А. І., Волошина А. А., Холод І. М. Практичні рекомендації щодо проектування торцевих розподільних систем планетарних гідромашин

1

Panchenko A., Voloshina A., Kholod I., Voloshin A. Practical recommendations for designing end distribution systems of planetary hydromachines

Кувачов В. П., Дружич В. М., Шевченко С. О., Зеленов К. О. Дослідження стійкості руху самохідної машини з робочими органами реактивного типу

2

Kuvachov V., Druzhych V., Shevchenko S., Zelenov K. Study of stability of motion of a self-propelled machine with jet-type agricultural units

Скляр О. Г., Скляр Р. В., Комар А. С. Шляхи підвищення якості виробництва біодобрив

3

Skliar O., Skliar R., Komar A. Ways of improving the quality of biofertilizer production

Dmytrevskiy D., Chervonyi V., Horielkov V. Improvement of the homogenizer head design

4

Дмитревський Д. В., Червоний В. М., Горєлков Д. В. Удосконалення конструкції головки гомогенізатора

Ковальов О. О., Самойчук К. О., Паляничка Н. О. Зниження енерговитрат диспергування в пульсаційному гомогенізаторі рідких продуктів

5

Kovalyov A., Samoichuk K., Palianychka N. Reduced energy vitrate dispersion in pulsation homogeniser of rare products



Рибалко І. М., Захаров А. В., Тіхонов О. В., Князєв С. А., Князєва Г. О. Дослідження методів оптико-математичного моделювання мікроструктури металів та сплавів 6

Rybalko M., Zakharov A., Tikhonov O., Knyazev S., Knyazeva G. Study of methods of optical and mathematical modelling of the microstructure of metals and alloys

Коробка С. В., Стукалець І. Г., Бабич М. І., Баранович С. М., Скляр О. Г., Болтянський Б. В., Скляр Р. В. Впровадження геліосушарок для виробництва висушених сільськогосподарських продуктів 7

Korobka S., Stukalets I., Babych M., Baranovych S., Skliar O., Boltianskyi B., Skliar R. Implementation of solar dryers for the production of dried agricultural products

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Мамай О. І., Валько М. І., Яковенко Т. О., Зубкова К. В., Стоянова О. В. Дослідження процесів екстракції фенольних речовин при виробництві десертних виноматеріалів 8

Mamai O., Valko M., Yakovenko T., Zubkova K., Stoianova O. Research of the extraction processes of phenolic compounds in the production of dessert wine

Вітенько Д. О., Вітенько Т. М. Аналіз та порівняння гідродинаміки потоку у кавітаційних апаратах 9

Vitenko D., Vitenko T. Flow hydrodynamics analysis and comparison in cavitation devices

Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ломейко О. П. Розробка технології виробництва питного молока із застосуванням струминного та пульсаційного гомогенізаторів 10

Kiurchev S., Samoichuk K., Lomeiko O. Development of drinking milk production technology using stream and pulsation homogenizers

Машківський В. В., Іванова І. Є., Кривонос І. А. Формування середньої маси плодів яблуна за дії мінеральних добрив 11

Mashkivskyi V., Ivanova I., Kryvonos I. Formation of the average weight of apple fruit under the influence of mineral fertilisers



- Шкарапута Р. В., Мельник О. Ю.** Дослідження органолептичних властивостей напівфабрикатів з рослинного м'яса 12
Shkaraputa R., Melnyk O. Study of the organoleptic properties of semi-finished vegetable meat
- Кошель О. Ю., Маренкова Т. І., Степанова Т. М., Крутась А. В.** Інноваційна технологія приготування тіста для піци 13
Koshel O., Marenkova T., Stepanova T., Krutas A. Innovative technology of preparation of pizza dough
- Синенко Т. П., Гаврилюк О. С.** Визначення впливу висівок конопляних на якісні показники йогурту 14
Synenko T., Gavryliuk O. Development of cupcake technology with increased biological and nutritional value
- Priss O. P., Bulhakov P. O.** Storage waste of asparagus as a valuable source of phenolic compounds 15
Прісс О., Булгаков П. Відходи при зберіганні спаржі як цінне джерело фенольних речовин
- Самойчук К. О., Самохвал В. А.** Визначення кількісних показників віджиму технічних олій при використанні пристрою остаточного формування паливного брикету 16
Samoichuk K., Samokhval V. Determination of quantitative indicators of squeezing of industrial oils when using the device for final formation of fuel briquettes
- Одінцов С. М., Назаренко Ю. В.** Технологія сирного продукту із протеїном конопляним 17
Odintsov S., Nazarenko Y. Technology of a cheese product with hemp protein
- Червоткіна О. О., Прокопенко О. П., Паляничка Н. О.** Комплексне використання відходів плодоовочевго виробництва при виробництві добрив 18
Chervotkina O., Prokopenko O., Palianychka N. Complex use of waste from fruit and vegetable production in fertilizer production



Боковець С. П., Кошель О. Ю. Дослідження впливу борошна зеленої гречки та псиліуму на структурно-механічні властивості безглютенових маффінів

19

Bokovets S. P., Koshel O. Yu. Study of the influence of green buckwheat flour and psyllium on the structural and mechanical properties of gluten-free muffins

Боковець С. П. Використання нетрадиційної сировини рослинного походження у технології безглютенового тіста для вареників

20

Bokovets S. P. Use of non-traditional raw materials of plant origin in the technology of gluten-free dough for dumplings

Крижак Л. М., Іваніщева О. А. Роль стартових культур у виробництві сиров'ялених ковбас

21

Kryzhak L., Ivanishcheva O. The role of starter cultures in the production of raw sausage

Синенко Т. П., Юрченко В. Ю. Розробка технології кексів з підвищеною біологічною та харчовою цінністю

22

Synenko T., Yurchenko V. Development of cupcake technology with increased biological and nutritional value

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

Мірошник О. О., Мороз О. М., Пазій В. Г., Миргород Д. Г., Ганус Р. О., Галько С. В. Підвищення ефективності роботи мереж АТ «Харківобленерго» шляхом використання установок компенсації реактивної потужності

23

Miroshnyk O., Moroz O., Pazy V., Myrgorod D., Hanus R., Halko S. Increasing the efficiency of the networks of AT "Kharkivoblenergo" through the use of reactive power compensation installations

Попова І. О., Чаусов С. В., Вовк О. Ю. Обґрунтування ресурсозберігаючого режиму трифазного симетричного динамічного навантаження при обриві однієї фази

24

Popova I., Chausov S., Vovk O. Justification of the resource-saving mode of a three-phase symmetric dynamic load with a single phase break



Окушко О. В., Радько І. П., Наливайко В. А., Васюк В. В.
Сучасний стан розвитку електротехнологій в рослинництві України

25

Radko I., Nalyvaiko V., Okushko O. Current state of the development of
electrical technologies in plant production of Ukraine

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

Лубко Д. В., Мірошніченко М. Ю. Механізми безпеки інформації
та їх виклики

26

Lubko D., Miroshnichenko M. Information security mechanisms and
their challenges



ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-1**УДК 621.225.001.4**А. І. Панченко¹, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-1230-1463

А. А. Волошина¹, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0003-4052-2674

І. М. Холод¹, асистентА. А. Волошин², викладач спецдисциплін¹ *Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*² *ВСП «Мелітопольський фаховий коледж ТДАТУ»*

e-mail: voloshinaa2012@gmail.com, тел: +380975262603

**ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ
ТОРЦЕВИХ РОЗПОДІЛЬНИХ СИСТЕМ ПЛАНЕТАРНИХ
ГІДРОМАШИН**

Анотація. Основною характеристикою будь-якої розподільної системи є її пропускна здатність (витрата робочої рідини), що визначається площею прохідного перерізу цієї системи. Збільшення площі прохідного перерізу розподільної системи можна досягти шляхом використання додаткових розвантажувальних вікон рухомого розподільника в якості робочих. Встановлено, що додаткове використання розвантажувальних вікон призводить як до збільшення пропускної спроможності розподільної системи, так і до зміни амплітуди коливань (пульсації) потоку робочої рідини. Розроблено схему руху робочої рідини до робочих камер планетарного гідромотора, що дозволяє визначати кутове розташування вікон рухомого розподільника в залежності від його кінематичної схеми. Обґрунтовано максимальну кількість використання додаткових робочих вікон. Розроблено практичні рекомендації щодо кутового зміщення вікон рухомого розподільника та визначення пропускної спроможності розподільної системи залежно від її кінематичної схеми та кількості додаткових робочих вікон. Розроблені практичні рекомендації дозволяють проектувати розподільні системи планетарних гідромашин із заданими вихідними характеристиками.

Ключові слова: рухомий розподільник, нерухомий розподільник, кінематична схема, робочі вікна, розвантажувальні вікна, робоча рідина, проточні частини.

Постановка проблеми. Відомо [1–3], що одним з основних вузлів, який впливає на стабільність роботи планетарної гідромашини є її розподільна система [4]. Розподільна система необхідна для утворення гідравлічного поля, що обертається. Така розподільна система, як правило, складається з рухомого розподільника (рис. 1, а), валу (рис. 1, б) і нерухомого розподільника (рис. 1, в).

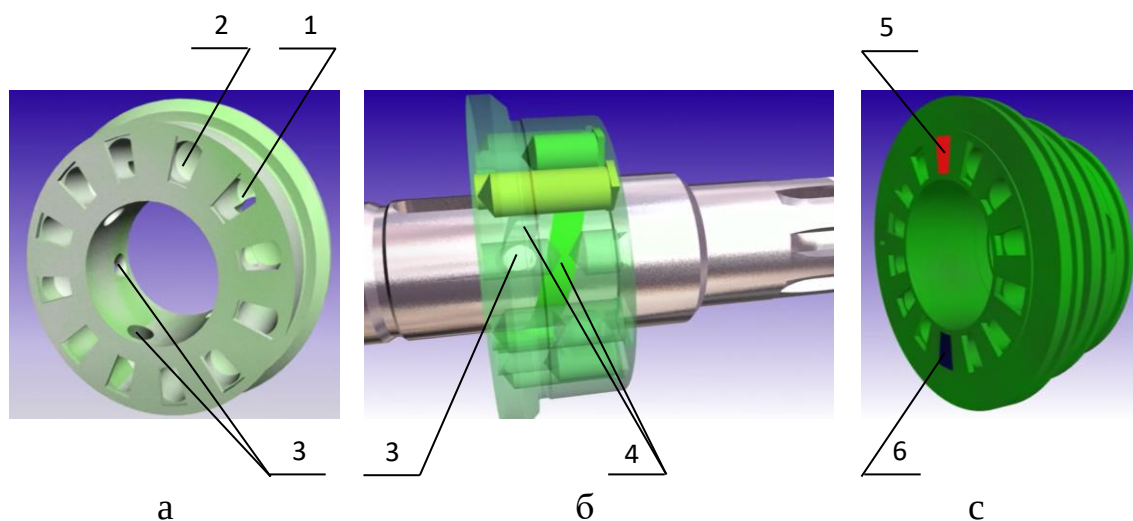


Рис. 1. Елементи торцевої розподільної системи:

а – рухомий розподільник; б – вал гідромотора з рухомим розподільником; с – нерухомий розподільник;

1 – робочі вікна рухомого розподільника; 2 – розвантажувальні вікна рухомого розподільника; 3 – радіальні канали рухомого розподільника; 4 – комутуючі пази на валу гідромотора;

5 – вікна нагнітання нерухомого розподільника; 6 – вікна зливу нерухомого

На торцевій поверхні рухомого розподільника (рис. 1, а) виконані робочі 1 і розвантажувальні 2 вікна. Для збільшення пропускної спроможності планетарного гідромотора [2, 3] розвантажувальні вікна 2, за допомогою радіальних каналів 3 рухомого розподільника і комутуючих пазів 4 на валу гідромотора використовують, як додаткові робочі вікна (рис. 1). На торцевій поверхні нерухомого розподільника (рис. 1, б) виконані вікна нагнітання 5 і зливу 6. Контактуювання торцевих поверхонь рухомого та нерухомого розподільників, утворює зону формування гідравлічного поля, що обертається [1–3].

Фізичні процеси, що відбуваються в торцевій розподільній системі планетарного гідромотора та її елементах [5] під час роботи, завжди пов'язані з рухом робочої рідини через канали з місцевими опорами і зони розподілу робочої рідини [5–7]. Щоб змодельовати проходження робочої рідини через проточні частини торцевої розподільної системи [7–10], потрібно враховувати переміщення рідини в каналах і отворах рухомого та нерухомого розподільників, а також створити уявлення про проточні частини системи розподілу робочої рідини (рис. 2).

Розглянемо рух робочої рідини через канали, виконані у нерухомому розподільнику (рис. 2, а), та через три види каналів у рухомому розподільнику (рис. 2, б, в, г).

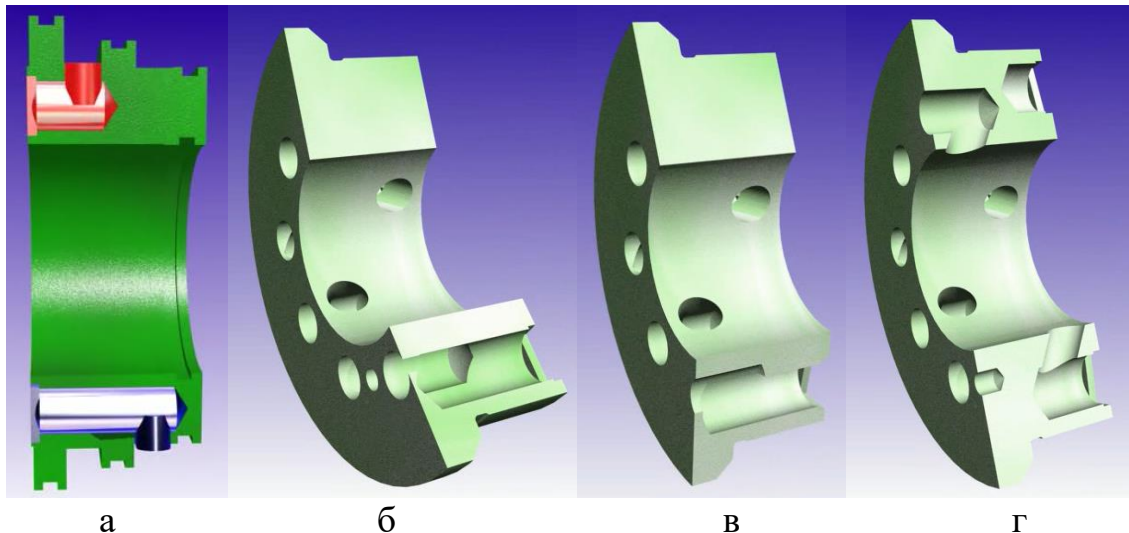


Рис. 2. Канали (проточні частини), по яких переміщається робоча рідина: а – в нерухомому розподільнику; б, в, г – в рухомому розподільнику.

На рис. 3, а показано рух робочої рідини через канал рухомого розподільника, зображений на рис. 2, б. Рідина під тиском (червоного кольору) потрапляє через вхідний отвір, радіальний канал 7 кришки в кільцеву проточку 6 між кришкою та нерухомим розподільником 5 (зеленого кольору).

Звідси рідина надходить до радіальних 7 та торцевих 8 каналів нерухомого розподільника 5, а далі до вікон нагнітання 9, які з'єднуються з торцевою поверхнею рухомого розподільника 2 (прозорого кольору). Через робочі вікна рухомого розподільника 2, розташовані на його торцевій поверхні, рідина по радіальних каналах 3 потрапляє в робочу камеру 1, утворену внутрішньою зубчастою поверхнею охоплюючого витискувача (жовтого кольору) та зовнішньою поверхнею охоплюваного витискувача. При обертанні рухомого розподільника 2 порожнина нагнітання (червоного кольору) перетворюється на порожнину зливу (синього кольору), і рідина витісняється з робочої камери 1 (рис. 3, б). З робочої камери 1 рідина по радіальному каналу 3 рухомого розподільника 2 потрапляє до вікон, розташованих на його торцевій поверхні, які з'єднуються з вікнами зливу 10, що розташовані на торцевій поверхні нерухомого розподільника 5. Далі рідина через торцеві 8 і радіальні 7 канали нерухомого розподільника 5 надходить в кільцеву проточку 6 між кришкою та нерухомого розподільником 5 та далі поступає на злив.

Рух рідини по каналу рухомого розподільника, показаному на рис. 2, в, аналогічний попередньому (рис. 3, а, б).

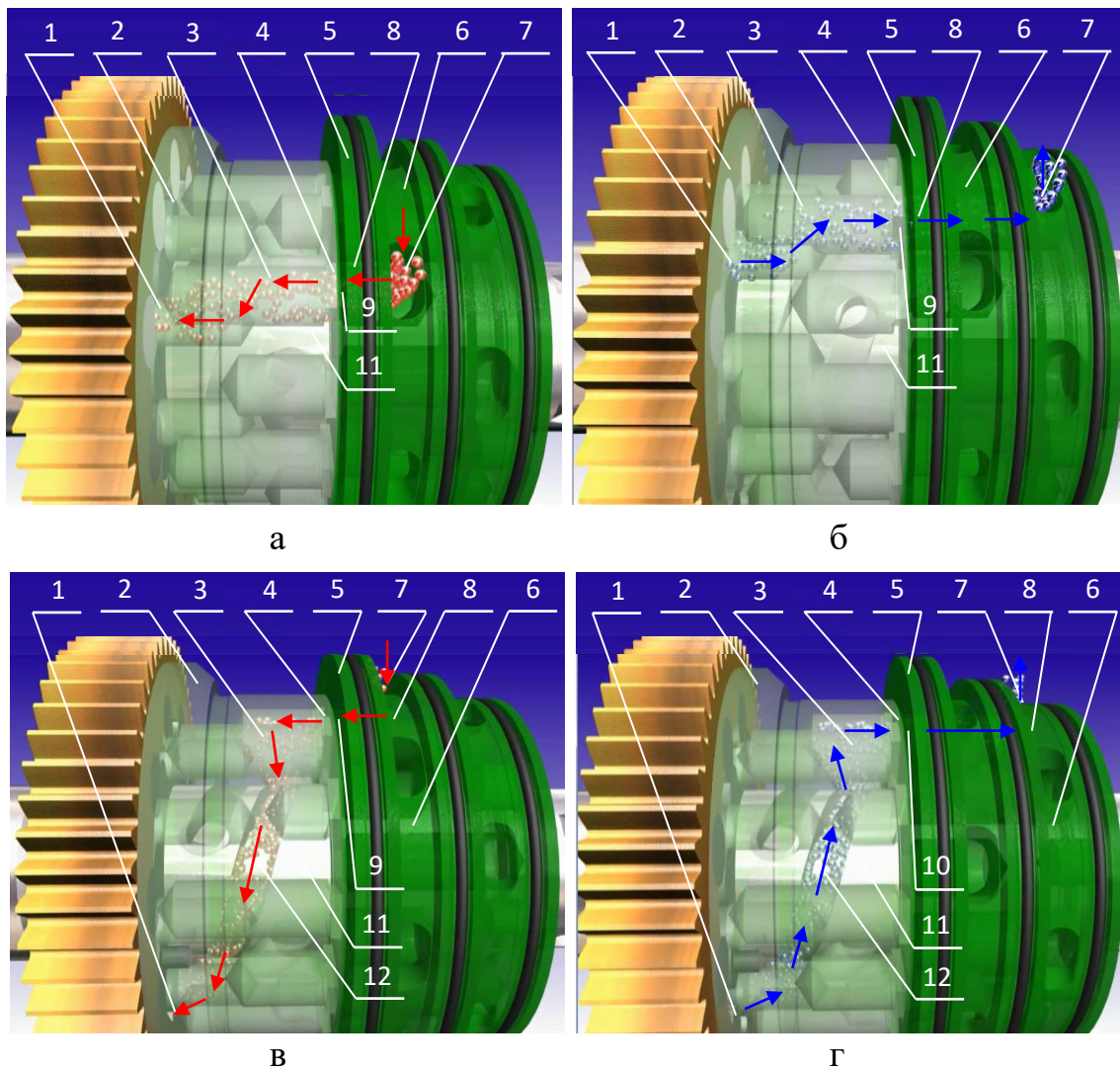


Рис 3. Рух робочої рідини через додаткові розвантажувальні вікна та комутуючий паз: а, в – зона нагнітання; б, г – зона зливу;
1 – робоча камера гідромотора; 2 – рухомий розподільник;
3 – радіальний канал рухомого розподільника; 4 – додаткове робоче вікно; 5 – нерухомий розподільник; 6 – кільцеві протоочки нерухомого розподільника; 7 – радіальні канали; 8 – торцеві канали; 9 – вікно нагнітання; 10 – вікно зливу; 11 – вал гідромотора; 12 – комутуючий паз, виконаний у вигляді гвинтової канавки на валу

Робоча рідина надходить у кільцеву протоочку 6 нерухомого розподільника 5 (рис. 3, в), а потім по радіальному 7 і торцевому 8 каналів до вікна нагнітання 9. З вікна нагнітання 9 робоча рідина потрапляє в додаткове робоче вікно 4. Далі робоча рідини, рухаючись по радіальному каналу 3, з'єднується з комутуючим пазом 12, що виконаний на валу гідромотора 11, і надходить у робочу камеру 1 розташовану діаметрально протилежно.

При русі робочих камер відносно рухомого розподільника 2, порожнина нагнітання (рис. 3, в) змінюється порожниною зливу



(рис. 3, г), і робоча рідина витісняється з робочої камери 1. Далі рідина через канал 3 рухомого розподільника 2 потрапляє по комутуючому пазу 12, виконаному на валу 11 до вікна зливу 10 нерухомого розподільника 5. По торцевому 8 і радіальному 7 каналам нерухомого розподільника 5 робоча рідина надходить у кільцеву проточку 6 і надходить на злив.

Таким чином, використання розвантажувальних вікон в якості додаткових робочих вікон, дозволяє підвищити пропускну здатність розподільної системи, а раціональне кутове розташування розподільних вікон дозволяє забезпечити сталість вихідних характеристик планетарного гідромотора. Тому, поліпшення вихідних характеристик планетарного гідромотора шляхом розробки практичних рекомендацій щодо кутового розташування (зміщення) робочих вікон при проектуванні його розподільних систем є актуальною науковою проблемою.

Аналіз останніх досліджень. Запропоновано рішення рівнянь Нав'є-Стокса з використанням SST-моделі турбулентності [11, 12], застосовано підхід RANS, що дозволяє визначити основні характеристики вихрового потоку [13], досліджено вплив бінгамських рідин на енергетичні характеристики вихрекамерних насосів [14], а також вплив стисливості робочої рідини на ефективність гідравлічних контурів під час перехідних процесів [15, 16] Проведено дослідження динамічної точності [17] та динамічних процесів [18] позиціонування просторових систем приводів, а також зміни динаміки вихідних характеристик мехатронної системи із планетарним гідромотором [19]. Рух робочої рідини до робочих камер гідромотора не розглядалося.

Аналіз літературних джерел показав, що публікується дуже мало досліджень у галузі розрахунку, проектування та виготовлення орбітальних та планетарних гідроашин [20]. Розроблено модель, що описує трибологічні зміни геометрії робочих поверхонь роторів орбітальної гідромашини [21], виконано теоретичні дослідження впливу геометричних параметрів проточних частин героторного насоса [22] та планетарного гідромотора [2] на їх вихідні характеристики. Розглянуто сили та моменти, що впливають на зубчасту пару героторного насоса [23, 24], а також питання проектування гіпоциклоїдальних поверхонь [25] та роторів [26] насосів даного типу. Проведено аналіз витрати відцентрової машини [27] та конструктивних особливостей героторного насоса, що впливають на здатність наповнення [28], а також наведено математичні вирази для оцінки витрати робочої рідини у героторних гідромашинах [29]. Вплив конструктивних особливостей

розподільних систем планетарних гідромашин з їхньої вихідні показники не досліджувалося.

Проведено чисельне моделювання [30, 31] та експериментальний аналіз [32] нестійкості турбінних насосів. Описано тривимірну перехідну модель CFD [33], розглянуто можливість проведення гідродинамічних розрахунків у гідравлічних машинах з використанням програмних пакетів CFD [34]. Проведено експериментальні дослідження впливу конструктивних особливостей внутрішнього та зовнішнього роторів [35], а також рухомого та нерухомого розподільників [36] на функціональні параметри планетарного гідромотора, запропоновано методику зі зміщення розподільних вікон [3]. Практичних рекомендацій щодо проектування планетарного гідромотора відсутні.

Таким чином, розробка практичних рекомендацій щодо кутового зміщення вікон розподільних систем планетарних гідромашин є актуальною проблемою, вирішення якої дозволить покращити вихідні характеристики планетарного гідромотора ще на стадії проектування.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою досліджень є покращення вихідних характеристик планетарного гідромотора на стадії проектування шляхом розробки практичних рекомендацій щодо кутового зміщення робочих вікон його розподільних систем.

Для реалізації поставленої мети досліджень необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити схеми руху рідини до робочих камер гідромотора;
- обґрунтувати максимальну кількість додаткових розвантажувальних вікон;
- розробити практичні рекомендації щодо кутового зміщення вікон рухомого розподільника;
- розробити практичні рекомендації щодо визначення пропускної спроможності розподільної системи.

Основна частина. Для визначення кутового розташування вікон рухомого розподільника розроблено схеми руху робочої рідини до робочих камер планетарного гідромотора (рис. 4) в залежності від кінематичної схеми (на прикладі кінематичної схеми 7/6 при використанні трьох додаткових розвантажувальних вікон) [1, 2, 5].

Кут розташування робочих вікон рухомого розподільника при їх зміщенні визначається з виразів [3]:

- для кінематичних схем 7/6 и 11/10

$$\alpha'_i = \alpha_i \pm (\gamma_{\text{сеп}} - \gamma_{\text{від}}), \quad (1)$$

- для кінематичних схем 5/4, 9/8 и 13/12

$$\alpha'_i = \alpha_i \pm (\gamma_{\text{вип}} - \gamma_{\text{сер}}), \quad (2)$$

де α_i – кут розташування "поточного" вікна рухомого розподільника (непарні це робочі вікна, парні – розвантажувальні); $\gamma_{\text{сер}}$ – середнє значення кута перекриття, $\gamma_{\text{сер}} = (\sum \gamma_{\text{вип}} - \sum \gamma_{\text{від}}) / Z_1$; $\gamma_{\text{вип}}$ – кут перекриття при випередженні ($\gamma_{\text{вип}} > 0$), $\gamma_{\text{вип}} = \alpha_{\text{закр}} - \alpha_{\text{відкр}}$; $\gamma_{\text{від}}$ – кут перекриття вікон під час відставання ($\gamma_{\text{від}} < 0$), $\gamma_{\text{від}} = \alpha_{\text{закр}} - \alpha_{\text{відкр}} < 0$; $\alpha_{\text{відкр}}$ – діапазон відкриття вікон рухомого розподільника, $\alpha_{\text{відкр}} = \beta_i - \alpha_i - \pi / Z_2$; $\alpha_{\text{закр}}$ – діапазон закриття вікон рухомого розподільника, $\alpha_{\text{закр}} = \beta_i - \alpha_i + \pi / Z_2$; β_i – кут розташування "поточного" вікна нерухомого розподільника (непарні це вікна нагнітання, парні – зливу); Z_1 и Z_2 – кількість вікон рухомого та нерухомого розподільника, відповідно.

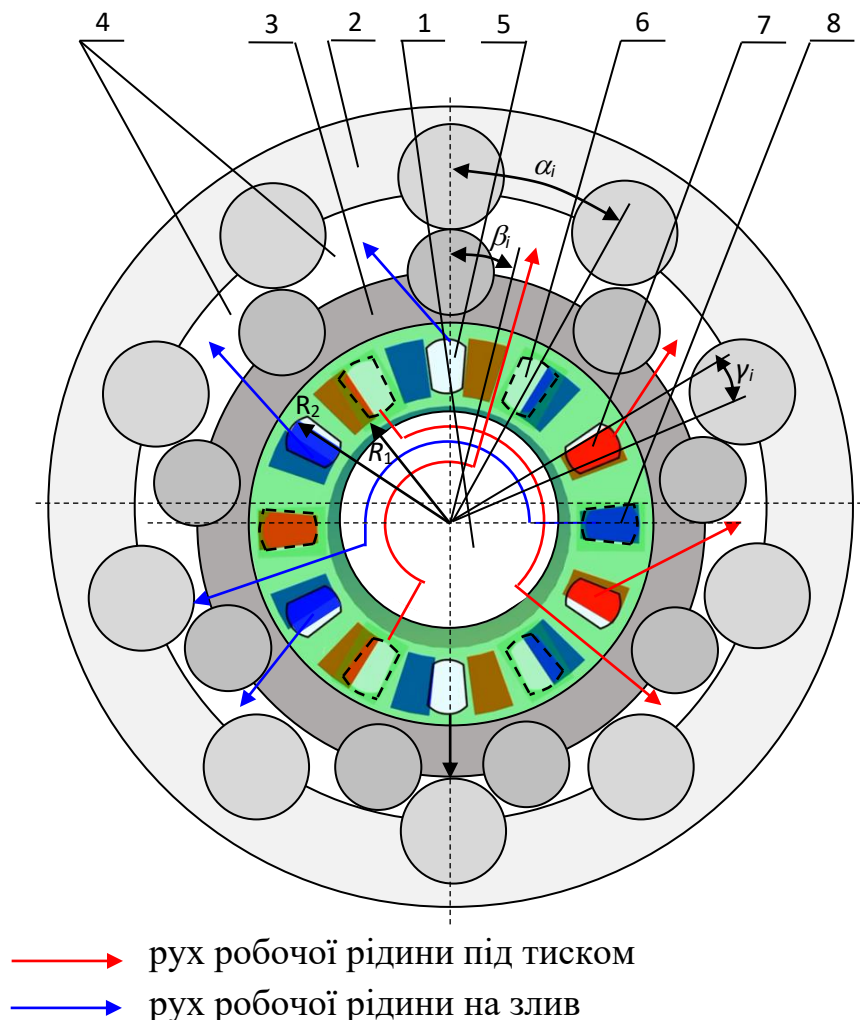


Рис. 4. Схема руху рідини до робочих камер гідромотора:
1 – вал гідромотора; 2 і 3 – зовнішній та внутрішній ротора відповідно; 4 – робочі камери гідромотора; 5 та 6 – робочі та розвантажувальні вікна рухомого розподільника відповідно; 7 та 8 – вікна для тиску та зливу нерухомого розподільника

Пропускна здатність розподільної системи (площа прохідного перерізу) визначається виразом [1–3, 5]:

$$A_i(t) = \sum_{i=1}^{Z_1} \gamma_i \cdot A_k \quad (3)$$

где γ_i – кут, що обмежує перекриття вікон рухомого та нерухомого розподільників, $\gamma_i = \pi / Z_2 - |\beta_i - \alpha_i(t)|$; A_k – площа кільця, на якому розташовані розподільні вікна, яка визначається його внутрішнім R_1 та зовнішнім R_2 радіусами, $A_k = (R_2^2 - R_1^2) / 2$.

Кількість додаткових робочих вікон, що беруть участь у роботі проектованої розподільної системи, визначається кількістю комутуючих пазів (рис. 5), розміщених на валу гідромотора та обмежується висотою h рухомого розподільника [2, 37].

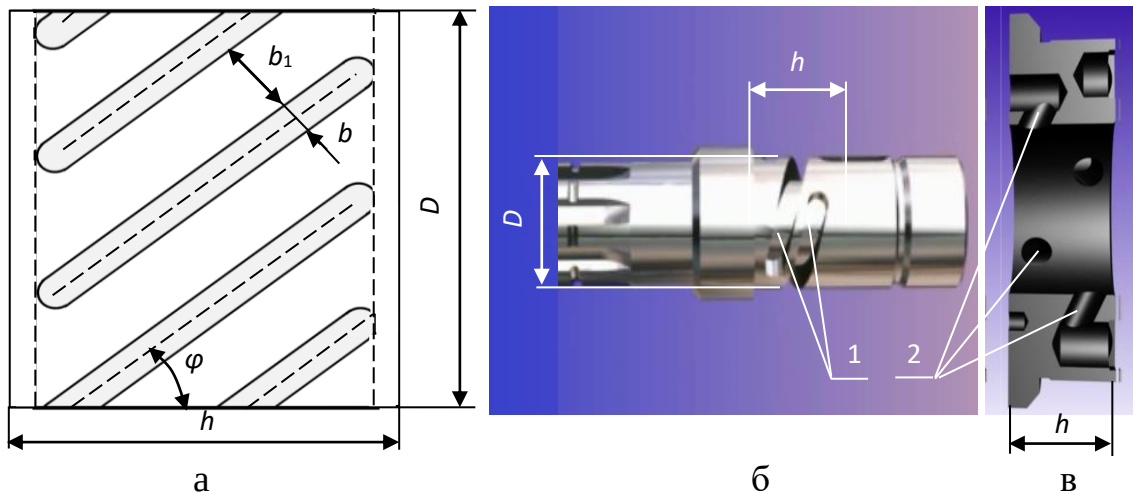


Рис. 5. Реалізація використання додаткових робочих вікон:
а – розрахункова схема визначення геометричних параметрів комутуючих пазів; б – вал гідромотора; в – рухомий розподільник;
1 – комутуючі пази валу; 2 – додаткові канали рухомого розподільника; h – висота рухомого розподільника; D – діаметр валу гідромотора; b – ширина паза; b_1 – відстань між пазами

Кількість комутуючих пазів визначають з виразу:

$$z = \frac{\pi \cdot D}{(b + b_1)} \cdot \sin \varphi, \quad (4)$$

де φ – кут нахилу комутуючого паза, $\varphi = \arctg[2 \cdot h / (\pi \cdot D)]$, де h – висота рухомого розподільника; D – діаметр валу гідромотора; b – ширина комутуючого паза; b_1 – відстань між пазами.

Практика показує, що на даній ділянці валу не рекомендується розміщувати більше чотирьох комутуючих пазів.

Результатом проведених досліджень є розробка практичних рекомендацій, що дозволяють проектувати розподільні системи планетарних гідромашин із заданими вихідними характеристиками [38]. Кутове зміщення вікон рухомого розподільника вибирається залежно від кінематичної схеми розподільної системи та кількості додаткових робочих вікон [38].

Згідно з виразом (3), для проектування розподільної системи із заданою пропускною здатністю (площею прохідного перерізу) необхідно знати сумарний кут перекриття γ_i [3, 38] та площу кільця A_k , що визначається його геометричними параметрами.

Розроблені практичні рекомендації дозволяють проектувати розподільні системи планетарних гідромашин із заданими вихідними характеристиками.

Висновки. В результаті проведених досліджень розроблено схему руху рідини до робочих камер планетарного гідромотора, що дозволяє визначати кутове розташування вікон рухомого розподільника в залежності від його кінематичної схеми; обґрунтовано максимальну кількість додаткових робочих вікон; розроблено практичні рекомендації щодо кутового зміщення вікон рухомого розподільника та визначення пропускної спроможності розподільної системи залежно від її кінематичної схеми та кількості додаткових робочих вікон.

Розроблені практичні рекомендації дозволяють проектувати розподільні системи планетарних гідромашин із заданими вихідними характеристиками.

Список використаних джерел

1. Kiurchev S., Luzan P., Zasiadko A., Radionov H., Boltianska N. Influence of the flow area of distribution systems on changing the operating parameters of planetary hydraulic motors. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1021. P. 012037. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012037>.
2. Panchenko A., Voloshina A., Boltyansky O. [et al.]. Designing the flow-through parts of distribution systems for the PRG series planetary hydraulic motors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1/3(93). P. 67–77. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.132504>.
3. Voloshina A., Panchenko A., Panchenko I., Titova O., Zasiadko A. Improving the output characteristics of planetary hydraulic machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708(1). P. 012038. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012038>.
4. Panchenko A., Voloshina A., Luzan P., Panchenko I., Volkov S. Kinematics of motion of rotors of an orbital hydraulic machine. *IOP*



Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1021. P. 012045. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012045>.

5. Панченко А. І., Волошина А. А., Засядько А. І. Проектування розподільних систем торцевого типу (на прикладі планетарних гідромоторів): монографія. – Запоріжжя: ТОВ «Науково-виробнича компанія «Інтер-М», 2023. 134 с.

6. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А. Обґрунтування кінематичних схем розподільних систем гідромашин планетарного типу. *Праці ТДАТУ*. 2018. Вип. 18, т. 2. С. 30-49. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-18-2-29-48>.

7. Панченко А. І., Волошина А. А., Засядько А. І. Вплив конструктивних особливостей торцевої розподільної системи на функціональні параметри планетарного гідромотора. *Праці ТДАТУ*. 2017. Вип. 17, т. 3. С. 33-50.

8. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А., Засядько А. І. Поліпшення вихідних характеристик планетарних гідромашин. *Праці ТДАТУ*. 2019. Вип. 19, т. 2. С. 68-85. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-2-68-85>.

9. Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А. Обґрунтування геометричних параметрів розподільних систем планетарних гідромашин. *Праці ТДАТУ*. 2020. Вип. 20, т. 2. С. 23-35. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-20-2-23-35>.

10. Панченко А. І., Волошина А. А., Волков С.В., Панченко І. А. Волошин А. А. Вплив конструктивних особливостей розподільних систем на зміну робочих параметрів планетарних гідромоторів. *Праці ТДАТУ*. 2021. Вип. 21, т. 2. С. 3-20. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2021-21-2-3-20>.

11. Rogovyi A., Khovansky S., Grechka I., Pitel J. The Wall Erosion in a Vortex Chamber Supercharger Due to Pumping Abrasive Mediums. *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange*. 2019. P. 682–691. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_68.

12. Chernetskaya-Beletskaya N., Rogovyi A., Shvornikova A., Baranov I. and others: Study on the coal-water fuel pipeline transportation taking into account the granulometric composition parameters. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7(4.3). P. 240–245. <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/19794>.

13. Rogovyi A., Khovanskyi S., Hrechka I., Gaydamaka A. Studies of the Swirling Submerged Flow Through a Confuser. *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange*. 2020. P. 85–94. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-50491-5_9.

14. Rogovyi A., Korohodskyi V., Medvediev Y. Influence of Bingham fluid viscosity on energy performances of a vortex chamber



pump. *Energy*. 2021. Vol. 218. P. 119432. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119432>.

15. Van de Ven J. D. On fluid compressibility in switch-mode hydraulic circuits. – *Part I: Modeling and analysis*. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*. 2012. Vol. 135(2). 021013-021013-13. <https://doi.org/10.1115/1.4023062>.

16. Van de Ven J. D. On Fluid Compressibility in switch-mode hydraulic circuits. *Part II: Modeling and analysis*. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*. 2012. Vol. 135(2). 021014-021014-7. <https://doi.org/10.1115/1.4023063>.

17. Strutynskyi S. Defining the dynamic accuracy of positioning of spatial drive systems through consistent analysis of processes of different range of performance. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2018. Vol. 3. P. 64-73. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-3/13>.

18. Strutynskyi S., Nochnichenko I. Design of parallel link mobile robot manipulator mechanisms based on function-oriented element base. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 4 7(100). P. 54-64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174613>.

19. Voloshina A., Panchenko A., Titova O., Panchenko I. Changes in the dynamics of the output characteristics of mechatronic systems with planetary hydraulic motors. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1741. P. 012045. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1741/1/012045>.

20. Gamez-Montero P., Codina E., Castilla R. A Review of Gerotor Technology in Hydraulic Machines. *Energies*. 2019. Vol. 12. P. 2423. <https://doi.org/10.3390/en12122423>.

21. Choi T., Kim M., Lee G. [et al.]. Design of rotor for internal gear pump using cycloid and circular-arc curves. *Journal of Mechanical Design*. 2012. Vol. 134(1). 011005-12. <https://doi.org/10.1115/1.4004423>.

22. Chiu-Fan H. Flow characteristics of gerotor pumps with novel variable clearance designs. *Journal of Fluids Engineering*. 2015. Vol. 137(4). FE-14-1137. <https://doi.org/10.1115/1.4029274>.

23. Ivanović L., Blagojević M., Devedžić G. Assoul Analytical and Numerical Analysis of Load Gerotor Pumps. *Scientific Technical Review*. 2010. Vol. 1(60). P. 30-38.

24. Ivanovic L., Miric N., Devedzic G., Ćuković S. Analysis of forces and moments in gerotor pumps. *Journal of Mechanical Engineering Science*. 2010. Vol. 10(224). P. 2257-2269. <https://doi.org/10.1243/09544062JMES2041>.

25. Stryczek, J., Bednarczyk, S., Biernacki, K. Strength analysis of the polyoxymethylene cycloidal gears of the gerotor pump. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2014. Vol. 4(14), P. 647–660. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2013.12.005>.



26. Stryczek J., Bednarczyk S., Biernacki K. Gerotor pump with POM gears: Design, production technology, research. *Archives of Civil and Mechanical Engineerin.* 2013. Vol. 3(14). P. 391–397. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2013.12.008>.
27. González J., Oro J. M. F., Argüelles-Díaz K. M. Flow analysis for a double suction centrifugal machine in the pump and turbine operation modes. *International Journal for Numerical Methods in Fluids.* 2009. Vol. 2(61). P. 220-236. <https://doi.org/10.1002/fld.1951>.
28. Altare G., Rundo M. Computational Fluid Dynamics Analysis of Gerotor Lubricating Pumps at High-Speed: Geometric Features Influencing the Filling Capability. *Journal of Fluids Engineering.* 2016. Vol. 38(11). FE-15-1757. <https://doi.org/10.1115/1.4033675>.
29. Yang D., Yan J., Tong S. Flowrate Formulation of Deviation Function Based Gerotor Pumps. *Journal of Mechanical Design.* 2010. Vol. 6(132). 064503-5. <https://doi.org/10.1115/1.4001595>.
30. Yao J., Shi W., Wu S., Zhang D., Wang H., Hu Q. Numerical calculation and experiment on pressure fluctuation in axial flow pump. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery.* 2013. Vol. 1(44). P. 119-124. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S1.022>.
31. Liu C., Jin Y., Zhou J., Tang F., Hao C., Han J. Study of internal flow in cube-type bidirection passages of axial-flow pump. *System by numerical simulation and experiment.* 2011. Vol. 5(30). P. 192-198.
32. Gentner Ch., Sallaberger M., Widmer Ch., Braun O., Staubli T. Numerical and experimental analysis of instability phenomena in pump turbines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2012. Vol. 3(15). 0320422. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/15/3/032042>.
33. Ding H., Lu J. X., Jiang B. A CFD model for orbital gerotor motor. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2012. Vol. 6(15). 062006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/15/6/062006>.
34. Rezvaya K., Krupa E., Shudryk A., Drankovskiy V., Makarov, V. Solving the hydrodynamical tasks using CFD programs. *3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems.* 2018. No18308004. <https://doi.org/10.1109/IEPS.2018.8559548>.
35. Panchenko A., Voloshina A., Titova O., Panchenko I. The influence of the design parameters of the rotors of the planetary hydraulic motor on the change in the output characteristics of the mechatronic system. *Journal of Physics: Conference Series.* 2021. Vol. 1741. P. 012027. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1741/1/012027>.
36. Voloshina A., Panchenko A., Titova O., Pashchenko V., Zasiadko A. Experimental studies of a throughput of the distribution systems of planetary hydraulic motors. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2021. Vol. 1021, P. 012054. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012054>.



37. Hutsol T. European Green Deal: Improving the Efficiency of Using Planetary Hydraulic Machines. *Energies*. 2023. Vol. 16(18). 6481. <https://doi.org/10.3390/en16186481>.

38. Voloshina A., Panchenko A., Boltyansky O., Zasiadko A., Verkholtantseva V. Improvement of the Angular Arrangement of Distribution System Windows When Designing Planetary Hydraulic Machines. *Advanced Manufacturing Processes III. InterPartner 2021. LNME*. 2022. P. 53-63. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_6.

Стаття надійшла до редакції 19.09.2024 р.

A. Panchenko¹, A. Voloshina¹, I. Kholod¹, A. Voloshin¹

¹**Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University**

²**Melitopol Vocational College of TSATU**

PRACTICAL RECOMMENDATIONS FOR DESIGNING END DISTRIBUTION SYSTEMS OF PLANETARY HYDROMACHINES

Summary

One of the main units determining the stability of the planetary hydraulic machine is its distribution system required to form a rotating hydraulic field. Physical processes occurring in the end system of the planetary hydraulic motor during operation are always associated with the movement of the working fluid through channels with local resistances and the working fluid distribution system. The main characteristic of the distribution system is its throughput (flow rate of the working fluid), which is determined by the cross-sectional area of this system, which depends on the use of the unloading windows of the movable distributor as working ones. The use of unloading windows as additional working ones allows to increase the throughput of the distribution system, and their specific angular location allows to ensure the constancy of the output characteristics of the planetary hydraulic motor. Therefore, improving the output characteristics of the planetary hydraulic motor by developing practical recommendations for the angular location (shift) of the working windows when designing its distribution systems is an urgent scientific problem. It has been established that the additional use of unloading windows leads to both an increase in the throughput of the distribution system and a change in the pulsation of the working fluid flow. A scheme of fluid movement to the working chambers of the hydraulic motor has been developed, allowing to determine the angular arrangement of the windows of the movable distributor depending on its kinematic scheme. The maximum number of additional working windows has been substantiated. Practical recommendations have been developed for the angular displacement of the windows of the movable distributor and determining the capacity of the distribution system depending on its kinematic scheme and the number of additional working windows. The developed practical recommendations allow to design distribution systems of planetary hydraulic machines with specified output characteristics.

Key words: movable distributor, fixed distributor, kinematic diagram, working windows, unloading windows, working fluid, flow parts.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-2

УДК 631.147:631.811.98

О. Г. Скляр, к.т.н., проф,

ORCID: 0000-0002-0456-2479

Р. В. Скляр, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-1547-5100

А. С. Комар, інж.

ORCID: 0000-0001-7037-8402

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua, тел.: +380679168580

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБНИЦТВА БІОДОБРІВ

Анотація. В статті запропонувати шляхи удосконалення конструктивно-технологічних параметрів біогазових установок, які дозволять підвищити якість виробництва добрив. Для цього зроблено аналіз п'яти розповсюджених біогазових установок за критичними параметрами: режим/температура, рН, концентрація сухих речовин, органічне навантаження (OLR), час гідравлічного утримання (HRT), склад газу, тип перемішування та контроль амонію. Аналіз досліджень показав, що біодобрива мають суттєві переваги перед іншими органічними та мінеральними добривами. Дана оцінка особливості роботи обладнання, яке використовується на біогазових установках EnviTec Biogas, WELTEC BIOPOWER, Bioenergy DevCo, BTS Biogas і Xergi Biogas для підвищення якості біодобрив. А також представлено огляд характеристик біодобрив, отриманих від розглянутих біогазових установок.

Ключові слова: біогаз, біогазова установка, властивості, хімічний склад, анаеробне зброджування, режим, температура, обладнання, дигестат.

Постановка проблеми. Неефективне використання органічних добрив, що мають низьку поживну цінність або недостатньо стабільні після біологічного перероблення, призводить до ряду екологічних і агрономічних проблем [1]. Такі добрива можуть містити патогени, важкі метали та інші забруднювачі, що небезпечно для ґрунтів, водних ресурсів і здоров'я людей. Неправильне компостування або недостатнє зброджування органічних відходів також знижує ефективність удобрення полів, оскільки рослини не можуть засвоїти необхідні мінерали в повному обсязі [2, 3].

З іншого боку, надмірне застосування мінеральних добрив, особливо азотних (N), фосфорних (P) та калійних (K) сполук, спричиняє деградацію ґрунтів, забруднення водних ресурсів через процеси вимивання (евтрофікацію), що порушує екологічний баланс. Таке застосування також може знизити родючість ґрунту через виснаження органічної речовини та збільшити ризик ґрунтової ерозії [4]. Крім того, надлишкове використання мінеральних добрив



призводить до збільшення емісій парникових газів, зокрема оксиду азоту, що підсилює глобальні кліматичні зміни.

Таким чином, проблема полягає в необхідності покращення якості органічних добрив, підвищення їх поживної цінності та стабільності, а також у зменшенні залежності від хімічних мінеральних добрив через їх негативний вплив на екосистеми та сільськогосподарські угіддя [5-7].

Аналіз останніх досліджень. Перспективи внесення добрив детально досліджуються як українськими, так і зарубіжними вченими Боровик Г., Макаренко Н. А., Голуб Г., Кухарець С., Макаренко Н. А., Нойфельд С., Шевчук В.Я., Ратушняк Г. С. та інш. [3,7-11] Біодобрива, отримані після процесів зброджування органічних відходів, мають значні переваги для аграрного сектору. Вони підвищують родючість ґрунтів, сприяють екологічній стійкості та знижують залежність від мінеральних добрив. Однак, для забезпечення безпеки та якості біодобрив необхідно дотримуватися чітких технологічних регламентів, а також впроваджувати системи контролю якості.

Хімічний склад біодобрив після біогазової установки наведено в таблиці 1 і 2 [12-14].

Таблиця 1

Хімічний склад твердої фракції гною вологістю 75%

Біодобрива	Хімічний склад, кг/т				
	N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Свинячий гній	5,9-6,5	1,4-2,0	5,3-5,8	6,1-6,3	1,5-1,8
Гній ВРХ	4,3-5,0	1,0-1,2	2,7-2,9	7,5-7,8	1,3-1,5
Пташиний послід	17-18	3,0-3,5	10-10,9	8,0-8,8	3,5-4,2
Трава	3,2-3,5	0,7-1,0	1,37-1,4	4,2-4,8	0,5-0,6
Кукурудзяний силос	3,7-4	1,2-1,3	1,3-1,4	4,2-4,5	0,8-1
Жом цукр. буряка	5,0-6,2	-	3,3-3,5	4,2-4,5	1,2-1,6
Відходи бійні	10-12	1,8-2,0	20-25	3,0-3,5	2,5-2,6



Таблиця 2

Хімічний склад рідкої фракції гною вологістю 95%

Біодобрива	Хімічний склад, кг/т				
	N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Свинячий гній	3,1 -3,8	1,4-2,0	2,3-2,4	2,1-2,4	0,5-0,8
Гній ВРХ	1,8-2,2	1,0-1,2	0,8-1,6	2,2-2,8	0,4-0,5
Пташиний послід	7,1-8,2	3,0-3,5	6,8-7,9	5,0-5,6	1,5-2,2
Трав'яний силос	2,2-2,8	0,9-1,5	1,9-2,3	2,0-2,5	0,5-0,7

Формулювання мети статті. Запропонувати шляхи удосконалення конструктивно-технологічних параметрів біогазових установок, які дозволять підвищити якість виробництва біодобрих.

Основна частина. Зброджування органічних відходів у біогазових установках є ефективним методом перетворення сировини в біогаз, а також у виробництві високоякісних добрив. Цей процес не лише зменшує обсяг відходів, але й покращує агрономічні властивості отриманих добрив, що сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур [15-17].

Анаеробне зброджування - це біохімічний процес, під час якого органічні речовини (біомаса, органічні відходи) розкладаються мікроорганізмами в умовах відсутності кисню (анаеробних умов) [18-20]. Цей процес відбувається в кілька етапів і призводить до утворення двох основних продуктів: біогазу (метану, CO₂, і незначних кількостей інших газів) та біодобрих (залишкової маси, яка може бути використана як органічне добриво) [21].

Гумусні добрива надають сприятливу дію на ґрунт, а саме [3, 12, 13]:

- покращуються фізико-механічні та фізичні властивості ґрунту;
- посилюються процеси ґрунтового обміну, підвищення біологічну активність.
- підвищується рухливість ґрунтового фосфору;
- активуються процеси нітроутворення у ґрунті, що у свою чергу сприяє зростанню загального та білкового азоту, збільшенню виділення вуглекислоти ґрунтом;
- прискорюється надходження аміачних та амідних форм азоту, фосфору в рослин;
- підвищується концентрація калію, алюмінію при зниженні кількості магнію, тобто, гумати істотно впливають на зміст і динаміку ґрунтових катіонів;
- також органічні речовини мають низьку теплопровідність та запобігають швидкій віддачі тепла з ґрунту в атмосферу.



Як результат – підвищення урожайності: озима пшениця на 15-20%, цукровий буряк до 20%, кукурудза 20-30%, картопля - до 30% [1, 3].

Аналіз досліджень вчених показав, що біодобрива мають суттєві переваги перед іншими органічними добривами [1,7,8]:

1) відсутність насіння бур'янів. У гною свиней, ВРХ та торфі є велика кількість насіння бур'янів. В 1 тонні свіжого гною знаходиться до 10 тис. насіння різних бур'янів, які, пройшовши через шлунок тварин, не втрачають здатність до проростання. Це призводить до втрати врожаю від 57 ц злакових культур із 1 га.

2) відсутність патогенної мікрофлори. Через органічні добрива часто поширюється багато збудників хвороб рослин. Біодобрива завдяки технології переробки повністю знезаражені від патогенної мікрофлори.

3) наявність активної мікрофлори, що сприяє інтенсивному росту рослин. Органічні відходи, які використовують як добриво, не мають або містять невелику кількість мікрофлори.

4) відсутність адаптаційного періоду. Гній перед внесенням у ґрунт потребує тривалої підготовки (6-12 місяців). Корисні речовини частково губляться, а решта починають діяти у ґрунті лише на 2-4 рік після його внесення. Біодобрива починають працювати відразу при внесенні.

5) стійкість до вимивання з ґрунту поживних елементів. За сезон із ґрунту вимивається близько 80% органічних добрив і всього до 15% біодобрив. Таким чином, біодобрива працюватимуть на 3-5 років довше, ніж звичайні добрива.

6) максимальне збереження та накопичення азоту. При тривалому зберіганні (компостування) органічних відходів втрачається до 50% азоту. У біодобривах азот збережеться повністю, крім того, вміст $\text{NH}_4\text{-N}$ збільшується на 10-15%.

7) екологічний вплив на ґрунт. Органічні добрива в не переробленому вигляді завдають більшої шкоди ґрунту, забруднюючи його та ґрунтові води. Тоді як біодобрива є абсолютно чистим екологічним добривом.

Водночас біодобрив мають і переваги у порівнянні з мінеральними добривами [8, 12, 17, 20]:

1) мінеральні добрива засвоюються лише на 35-50%, інші відкладаються у вигляді нітратів у продуктах та ґрунтах;

2) нітрати сприяють розвитку ракових пухлин у шлунково-кишковому тракті;

3) тривалий прийом нітратів у малих дозах призводить до збільшення щитовидної залози;

4) нітрати сприяють збільшенню холестерину та зниженню білка в крові людини та тварин;



5) біодобрива завдяки своїм біологічним властивостям засвоюються рослинами практично на 100%, при цьому вміст нітратів у продуктах мінімальний.

При роботі з мінеральними добривами необхідно точно знати граничні норми внесення. Внесення не обґрунтовано великою кількості мінеральних добрив порушує структуру ґрунту та річний цикл зміни кислотності [3,12,13].

Аналіз біогазових установок за критичними параметрами (режим/температура, рН, концентрація сухих речовин (КСР), органічне навантаження (OLR), час гідравлічного утримання (HRT), склад газу, тип перемішування та контроль амонію) наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Аналіз біогазових установок за критичними параметрами

Марка установки	Режим	рН	КСР	OLR	HRT	Склад газу	Тип перемішування
EnviTec Biogas (Німеччина)	Мезофільний (37-40°C)	6,8-7,2	8-12%	2-3 кг ОР/м³	25-30 днів	CH ₄ :55-65%, CO ₂ :35-40%, H ₂ S: низький	Механічне та газове
WELTEC BIOPOWER (Німеччина)	Мезо-/термофільний (35-55°C)	6,5-7,5	10-15%	1,5-2,5 кг ОР/м³	20-30 днів	CH ₄ :50-60%, CO ₂ :35-45%, H ₂ S: низький	Механічне
Bioenergy DevCo (США)	Мезофільний (35-40°C)		8-10%	2-2,5 кг ОР/м³	30-35 днів	CH ₄ :60-65%, CO ₂ :30-35%, H ₂ S: низький	Газорідинне
BTS Biogas (Італія)	Мезо-/термофільний (37-55°C)	6,8-7,4	10-12%	2,5-3 кг ОР/м³	20-25 днів	CH ₄ :55-65%, CO ₂ :35-40%, H ₂ S: низький	Газове та механічне
Xergi Biogas (Данія)	Мезофільний (35-38°C)	7,0	10-15%	2-3 кг ОР/м³	25-30 днів	CH ₄ : 55-65%, CO ₂ : 35-40%, H ₂ S: низький	Механічне

Для покращення якості біодобрив у біогазових установках використовується спеціалізоване обладнання, яке забезпечує оптимальні умови для процесу зброджування, ефективну обробку органічних відходів і поліпшення властивостей кінцевого продукту. Основне обладнання, яке використовується на біогазових установках EnviTec Biogas, WELTEC BIOPOWER, Bioenergy DevCo, BTS Biogas і Xergi Biogas для підвищення якості біодобрив наступне:



1. *Метантенки (ферментатори) з системами підігріву* забезпечують підтримку стабільної температури для процесу анаеробного зброджування (мезофільного чи термофільного). Стабільна температура (35-55°C) забезпечує оптимальні умови для метаногенних бактерій, підвищує розкладання органічної речовини та вивільнення мінералів (N, P, K), що робить добрива більш поживними.

2. *Системи перемішування (механічні та газові мішалки)* забезпечують рівномірне перемішування субстрату для покращення процесу зброджування. Це дозволяє уникнути осідання твердих частинок та рівномірно розподілити мікроорганізми в реакторі, що підвищує якість кінцевого продукту та його однорідність.

3. *Системи для видалення H_2S (сірководню)*. Знижують концентрацію сірководню в біогазі, що запобігає утворенню токсичних речовин у біодобривах. Як результат покращення якості біогазу, зниження вмісту токсичних сполук у біодобривах, що робить їх більш безпечними для ґрунту та рослин (Bioenergy DevCo).

4. *Дегазатори для біодобрив* зменшують вміст залишкового газу у ферментованому субстраті (біодобриві). Дегазоване біодобриво має вищу якість, оскільки позбавлене залишкового метану і сірководню, що робить його більш стабільним і безпечним для зберігання та використання (BTS Biogas).

5. *Автоматизовані системи контролю параметрів (температура, pH, OLR)* забезпечують постійний моніторинг та регулювання процесу зброджування, а це, в свою чергу, дозволяє підтримувати оптимальні умови для утворення високоякісного біодобрива.

6. *Подрібнювачі та шредери для сировини* подрібнюють органічні відходи перед подачею в реактор, що збільшує поверхню для анаеробного розкладання, прискорює процес зброджування.

7. *Системи гомогенізації* змішують різні види сировини для отримання однорідного субстрату - покращення стабільності процесу зброджування та якості добрив.

8. *Фільтри та сепаратори* відокремлюють тверду і рідку фракції біодобрив після зброджування. Сепарація дозволяє отримати різні види добрив: тверда фракція використовується як добриво, на переробку в корм та підстилку, а рідка - як рідке добриво, багате на мінерали. Це підвищує універсальність та ефективність застосування біодобрив.

9. *Системи пастеризації та дезінфекції* дозволяють видалити патогени та шкідливі мікроорганізми з біодобрив, забезпечуючи їх безпеку для рослин і людей.



10. *Мембранні системи для концентрування поживних речовин* можуть концентрувати азот, фосфор і калій, що підвищує вміст мінералів у біодобриві та збільшує їх ефективність (Xergi Biogas).

11. *Системи зворотного осмосу* відновлюють воду з рідких відходів для подальшого використання у виробничому процесі. Це зменшує об'єм рідкої фракції, одночасно концентруючи поживні речовини, що робить добрива більш цінними (WELTEC BIOPOWER).

12. *Системи компостування для твердої фракції* дозволяють стабілізувати органічну речовину та покращити структуру ґрунту після внесення такого добрива (EnviTec Biogas).

Огляд характеристик біодобрив, отриманих від розглянутих біогазових установок (див. табл. 1):

- високий вміст азоту (2-7%), фосфору (1-3%) і калію (2-6%), що робить їх ефективними для підтримки родючості ґрунту;
- містять від 50% до 70% органічних речовин, які позитивно впливають на структуру ґрунту, підвищуючи його здатність утримувати воду та поживні речовини;
- завдяки термічному режиму та ефективному анаеробному зброджуванню, біодобрива мають низький рівень патогенів, що робить їх безпечними для застосування;
- покращують структуру ґрунту за рахунок додавання органічної речовини, що підвищує аерацію, водоутримувальну здатність та родючість ґрунту;
- завдяки анаеробному зброджуванню, мінерали (особливо азот) вивільняються у форму, доступну для рослин. Коефіцієнт засвоєння азоту зростає до 85-90%, що перевищує традиційні органічні добрива.

Наведений вище аналіз розповсюджених у світі біогазових установок показує, що для підвищення якості виробництва добрив за рахунок процесу зброджування органічних відходів, можна запропонувати наступні конструктивно-технологічні шляхи:

1. Поліпшення попередньої обробки сировини задля прискорення процесу розкладання органічних речовин і покращення якості кінцевих добрив, що містять поживні речовини, легкодоступні для рослин [22,23]:

- подрібнення і гомогенізація сировини для збільшення площі контакту мікроорганізмів з субстратом;
- механічна сепарація великих часток до завантаження в метантенки;
- гідротермічна або термічна обробка субстрату для полегшення руйнування клітинних структур та прискорення зброджування.

2. Оптимізація параметрів зброджування надасть стабільний вихід біогазу та кращу якість залишкової біомаси для використання як добрив [24-26]:



- контроль температури для підтримки стабільного термофільного або мезофільного режиму (термофільний процес забезпечує вищу ступінь розкладу органічних речовин);

- автоматизоване регулювання рН для підтримки оптимального середовища для метаногенних бактерій;

- поліпшення систем перемішування для рівномірного розподілу субстрату і мікроорганізмів, що забезпечує рівномірне розкладання та знижує ризик утворення токсичних речовин.

3. Поліпшення процесів дегазації та сушки залишкової маси (дигестату) підвищить концентрацію корисних елементів (N, P, K) в добривах, збільшить термін їх зберігання та зменшить витрати на транспортування [27-29]:

- додаткова дегазація залишків у спеціальних реакторах перед випуском дигестату для максимального вилучення метану;

- системи сушіння дигестату для зниження вологості та покращення зберігання і транспортування. Використання низькотемпературної сушки для збереження корисних речовин у добривах.

4. Співферментація з додатковими джерелами органіки підвищить поживну цінність добрив та покращить структуру ґрунту при їх внесенні [22,29,30]:

- змішування гною з іншими органічними матеріалами (рослинні залишки, харчові відходи), що підвищить вихід біогазу і покращить баланс макроелементів у добривах;

- контроль співвідношення C/N для оптимізації зброджування та підвищення вмісту органічної речовини в кінцевому добриві.

5. Покращення очищення дигестату та переробки твердої та рідкої фракцій підвищить ефективності використання добрив у сільському господарстві, легке їх дозування залежно від потреб ґрунту [6,10,12]:

1) розділення твердої та рідкої фракцій дигестату для подальшої окремої обробки. Тверду фракцію можна використовувати як компост або висушене органічне добриво, а рідку — як рідке добриво;

2) насичення рідкої фракції поживними речовинами (N, P, K) для підвищення її агрономічної цінності.

6. Використання біостимуляторів і добавок до субстрату підвищить вмісту доступних поживних речовин для рослин [6,8,11]:

- додавання спеціальних ферментів або мікроорганізмів для покращення розкладання складних органічних речовин (наприклад, лігніну та целюлози);

- використання мікробних інокулянтів, які стимулюють метаболічні процеси та поліпшують баланс поживних речовин у добривах.



7. Автоматизація та моніторинг процесів підвищить ефективність роботи установки, мінімізує людські помилки та стабільність процесу зброджування [17,22]:

- інтеграція систем датчиків та контролерів для автоматичного регулювання параметрів процесу зброджування;
- використання систем моніторингу в реальному часі, що дозволяють своєчасно виявляти відхилення та оптимізувати процеси.

Висновки. Запропоновані шляхи удосконалення конструктивно-технологічних параметрів біогазових установок дозволять підвищити якість виробництва добрив. Вони сприятимуть збільшенню вмісту поживних речовин (N, P, K) у кінцевих продуктах, покращать агрономічну структуру ґрунту та зроблять добрива більш ефективними і зручними у використанні.

Список використаних джерел

1. Ковальов Н. Г. Сучасні проблеми виробництва і використання органічних добрив. *Вісник ВНІМЖ*. 2013. № 2 (10). С. 82–101.
2. Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Zollitsch W., Mayer K., Gruber L. Biogas production from maize and dairy cattle manure–influence of biomass composition on the methane yield. *Agric Ecosyst Environ*. 2018. Vol. 118. P. 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.007>.
3. Макаренко Н. А., Бондарь В. І., Борщ Г. М. Екотоксикологічна оцінка біодобрив (продуктів ферментації біогазової установки) на предмет їх відповідності вимогам органічного виробництва. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. № 4. С. 20–24.
4. Якість ґрунту. Біологічні методи. Визначення мінералізації азоту і нітрифікації в ґрунтах та впливу хімічних речовин на ці процеси (ISO 14238:1997, IDT) : ДСТУ ISO 14238:2003. [Чинний від 2003.11.06]. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 12 с. (Національний стандарт України).
5. L. E. Gauer, Grant C. A. Effects of nitrogen fertilization on grain protein content, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency of six spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars, in relation to estimated moisture supply. *Canadian Journal of Plant Science*. 1992. <https://doi.org/10.4141/cjps92-026>.
6. Montemurro F. Anaerobic digestates application on fodder crops: effects on plant and soil. *Agrochimica*. 2008. Vol. 52. P. 297–312.
7. Голуб Г., Кухарець С. Виробництво органічних добрив та біогазу в умовах фермерських господарств. *Наука та інновації*. 2016. № 4. С. 19–21.
8. Шевчук В. Я., Чеботько К. О., Разгуляев В. М. Біотехнологія одержання органо-мінеральних добрив із вторинної сировини. Київ: УАННП «Фенікс», 2001. 204 с.



9. Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г., Кощев І. А. Біогазові установки з відновлюваними джерелами енергії термостабілізації процесу ферментації біомаси. Вінниця: ВНТУ, 2017. 110 с.
10. What is digestate? Anaerobic Digestion: Opportunities for Agriculture and Anvironment, Milano, January 24–25, 2008. *Regione Lombardia, Universita Degli studi di Milano*: Ed. by F. Adani, A. Schievano, G. Bossalie. Italy, 2009. P. 7–18.
11. Тараріко Ю. Системи біоенергетичного аграрного виробництва. Київ: ДІА, 2009. 16 с.
12. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Властивості біодобрих, що отримуються після анаеробної ферментації гною. *Праці ТДАТУ*. 2013. Вип. 13, т. 3. С.110–118.
13. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Аналіз технологій підготовки залишків після анаеробного бродіння. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2015. Вип. 156. С. 649–655.
14. Григоренко С. М. Адаптивні методи утилізації відходів птахівництва. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2021. Вип. 11, т. 1. №18. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-1-18>.
15. Болтянський Б. В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник/ Б. В. Болтянський та ін. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.
16. Komar A. S. Methodological approaches to the optimization of machine technologies of animal waste disposal. *Scientific research in the modern world: Proceedings of the 8th International scientific and practical conference*. Perfect Publishing. Toronto, Canada. 2023. P. 194–198.
17. Petersen Jan-Erik. Energy production with agricultural biomass: environmental implications and analytical challenges. *Eur. Rev. Agric. Econ.* 2008. Vol. 35. P. 385–408.
18. Norazwina Zaino. Kinetics of Biogas Production from Banana Stem Waste, Biogas, Dr. Sunil Kumar (Ed.). 2012 P. 395–408.
19. Komar A. Definition of priority tasks for agricultural development. *Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. «Multidisciplinary research»*. Bilbao, Spain 2020. P. 431–433.
20. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Біоконверсні технології прискореної переробки відходів тваринництва в екологічно безпечні добрива. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2021. Вип. 11, т. 2. № 3. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-2-3>.
21. Григоренко С. М. Способи переробки пташиного посліду для виробництва теплової енергії. *Сучасні проблеми землеробської механіки: Збірник тез доп. XXIII Міжнар. наук. конференції*. Київ, 2022. С. 126–129.



22. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Методи інтенсифікації процесів метанового зброджування. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2014. Вип. 4, т. 1. С. 3–9.

23. 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.

24. Skliar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *Current issues of science and education. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference*. Rome. 2021. P. 171–176.

25. Skliar A., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Lublin, 2014. Vol.16, No 2. P. 183–188.

26. Скляр Р. В., Скляр О. Г. Основи біогазових технологій та параметри оптимізації процесу зброджування. *Праці ТДАТУ*. 2009. Вип. 9, т. 1. С. 18–28.

27. Степанов Д. В., Ткаченко С. Й., Ранський А. П. Оцінка можливостей отримання енергоносіїв з органічних відходів з урахуванням техногенного навантаження на навколишнє середовище. *Наукові праці ВНТУ*. 2012. № 1. С. 23–26.

28. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Напрями використання органічних ресурсів у тваринництві. *Праці ТДАТУ*. 2011. Вип. 11, т. 5. С. 210–218.

29. Dinh Pham Van. A review of anaerobic digestion systems for biodegradable waste: Configurations, operating parameters, and current trends. *Environmental Engineering*.

30. Войтов В.А. Аналіз технологій утилізації відходів птахівництва за кордоном. *Праці ТДАТУ*. 2019. Вип. 19, т. 4. С. 100–109. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-4-100-109>.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2024 р.

O. Skliar, R. Skliar, A. Komar
Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

WAYS OF IMPROVING THE QUALITY OF BIOFERTILIZER PRODUCTION

Summary

The article proposes ways to improve the structural and technological parameters of biogas plants that will improve the quality of fertilizer production. Fermentation of organic waste in biogas plants is an effective method of converting raw materials into biogas, as well as in the production of high-quality fertilizers. This process not only reduces the amount of waste, but also improves the agronomic properties of the obtained fertilizers, which helps to increase the yield of agricultural crops. For this purpose, an analysis was made of five widespread biogas plants according to critical parameters: mode/temperature, pH, concentration of dry substances, organic load,



hydraulic retention time, gas composition, mixing type and ammonium control. Analysis of studies has shown that biofertilizers have significant advantages over other organic and mineral fertilizers. To improve the quality of biofertilizers, biogas plants use specialized equipment that provides optimal conditions for the fermentation process, effective treatment of organic waste, and improvement of the properties of the final product. The evaluation of the features of the equipment used at biogas plants EnviTec Biogas, WELTEC BIOPOWER, Bioenergy DevCo, BTS Biogas and Xergi Biogas to improve the quality of biofertilizers is given. An overview of the characteristics of biofertilizers obtained from the considered biogas plants is also presented. The proposed ways of improving the structural and technological parameters of biogas plants will improve the quality of fertilizer production. They will help increase the content of nutrients (N, P, K) in the final products, improve the agronomic structure of the soil and make fertilizers more effective and convenient to use.

Key words: biogas, biogas plant, properties, chemical composition, anaerobic fermentation, regime, temperature, equipment, digestate.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-3

УДК 631.37:631.3.00.65

В. П. Кувачов, д.т.н.

ORCID: 0000-0002-5762-256X

В. М. Дружич, аспірант

ORCID: 0009-0007-5361-5921

С. О. Шевченко, аспірант

ORCID: 0009-0007-3371-1262

К. О. Зеленов, аспірант

ORCID: 0009-0001-1235-6341

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: volodymyr.kuvachov@tsatu.edu.ua, тел.: +380673751964

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ РУХУ САМОХІДНОЇ МАШИНИ З РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ РЕАКТИВНОГО ТИПУ

Анотація. Проблема стійкості руху одноосьової машини з робочими органами реактивного типу полягає в тому, що така динамічна система має обмежену здатність до самовирівнювання, тому необхідно враховувати не лише розподіл маси та силу тяги, а й постійно коригувати траєкторію її руху. Досліджень в цьому плані було проведено науковцями не достатньо. Метою досліджень є підвищення стійкості руху агрегатів у складі одновісних енергетичних засобів та с.-г. знарядь реактивного типу, шляхом обґрунтування схеми, параметрів та режимів їх роботи. Наукова новизна полягає в отриманні математичних моделей, використання яких дозволяють обґрунтувати параметри і режими руху самохідної одноосьової машини з позиції її стійкого руху. Практична цінність досліджень полягає у наданні рекомендацій щодо промислового виробництва вказаних машин та вибір оптимальних режимів їх роботи. В результаті проведених досліджень встановлено, що для забезпечення найкращої стійкості руху одноосьової самохідної машини з робочими органами реактивного типу її швидкість робочого руху має не перевищувати 1 м/с. Водночас, на частотах збурювального впливу близьких до нуля збільшений швидкісний режим призводить до поперечного відхилення машини на 20 мм на 1кН коливань тягового опору с.-г. знаряддя, що вимагає більшої ширини агротехнічного допуску на операції зі смугового обробітку ґрунту. Покращення стійкості руху самохідної одноосьової машини з робочими органами реактивного типу можна досягти зменшенням характеру збурювального впливу від тягового опору робочих органів, шляхом вдосконалення їх конструкції та принципу вертикального різання ґрунту. Водночас питання керуваності самохідної машини з силовим (бортовим) способом її керування потребує подальшого дослідження.

Ключові слова: плоско паралельний рух, стійкість руху, самохідна машина, збурювальний вплив, теоретичні дослідження.

Постановка проблеми. Проблема стійкості руху одноосьової самохідної машини з робочими органами реактивного типу є однією з ключових у забезпеченні її ефективного функціонування [1]. Проблема її функціонування полягає у виникненні нерівномірного розподілу



реактивної тяги, що створює асиметричні сили та моменти, які дестабілізують рух машини [2]. Одноосьові конструкції машин особливо вразливі до таких впливів, оскільки їх стабільність залежить від точного балансування тягових і реактивних сил [3]. При виникненні нерівномірного тягового навантаження машини або коливань у поздовжньо-горизонтальній площині можуть з'являтися небажані резонансні явища, що призводять до значних відхилень від заданої траєкторії її руху. Це може спричинити погіршення керованості машини, погіршення якості виконання робочих операцій тощо [4, 5].

Інша проблема полягає у виникненні нестабільності в роботі одноосьової машини через вплив зовнішніх факторів, які діють на неї, таких як нерівності поверхні агрофону, або нерівномірність дотичної сили тяги через змінний циклічний характер роботи робочих органів з активним приводом [6, 7]. Для вирішення цих проблем необхідне вдосконалення системи керування самохідної одноосьової машини, що повинно враховувати її динамічні властивості та забезпечувати корекцію траєкторії її руху в режимі реального часу. Точне моделювання руху самохідної машини з робочими органами реактивного типу, а також врахування всіх чинників, що впливають на стійкість її руху, та розробка алгоритмів щодо її стабілізації руху – є актуальними питаннями для підвищення надійності та безпеки експлуатації таких машин [8, 9].

Однак, найважливішою проблемою динаміки одноосьових самохідних машин з робочими органами реактивного типу є стійкість їх руху у горизонтальній площині [10, 11]. Розроблення нової конструкції такої машини потребує наукового обґрунтування щодо значень її конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи з точки зору забезпечення задовільної стійкості руху.

Питаннями оцінки стійкості руху традиційних машинно-тракторних агрегатів науковцями приділено багато уваги. Найбільш упорядкованим підходом до методології вивчення проблеми стійкості машинно-тракторних агрегатів викладено в працях проф., член-кор. НААНУ В.Т. Надикто [12, 13]. Зокрема, у наукових працях за його співавторством [14, 15] наголошується, що з точки зору загальновідомих понять рух в горизонтальній площині таких незамкнених динамічних систем, як машинно-тракторні агрегати, може бути стійким, але лише у малому і за обов'язкової умови урахування тих чинників, які стабілізують їх плоско-паралельне переміщення. У теоретичних дослідженнях умов функціонування динамічних систем без урахування стабілізаційних чинників слід відходити з того поняття, що стійкість руху машинно-тракторного агрегату – це рівень його здатності протистояти дії зовнішнього збурення. Одним із найбільш ефективних методів синтезу схеми і

конструктивно-технологічних параметрів машинно-тракторного агрегату є застосування амплітудних і фазових частотних характеристик відпрацювання динамічною системою вхідного збурення [15, 16].

Водночас за своєю компоувальною схемою одноосьова самохідна машина з робочими органами реактивного типу передбачає приєднання до неї технологічної частини, яка є опорою для побудованого у такий спосіб агрегату. Тому дослідження стійкості руху згаданих машин є актуальним питанням для досліджень.

Аналіз останніх досліджень. Відомо достатньо наукових досліджень, які зосереджувалися на створенні математичних моделей, що описують динамічну поведінку одноосьової машини. Побудовані науковцями моделі враховують різні фактори, такі як реактивна тяга, асиметричні сили, а також вплив нерівностей поверхні агрофону. Згадані моделі дозволяють дослідникам краще розуміти, як різні чинники впливають на стабільність машини, і передбачати її поведінку в різних умовах. Зокрема, робота авторів Ван Лі та Чен Чжао [17] зосереджується на створенні математичних моделей для аналізу динамічної поведінки одноосьових машин. Вони використовують підходи на основі теорії систем та методи чисельного моделювання для прогнозування нестабільності руху, викликані асиметричними силами реактивних органів. У своїх дослідженнях автори вказують, що точні моделі є ключовими для розробки ефективних систем керування.

Науковці Сміт і Хенсон [18] у своїй роботі використовують методи моделювання на основі кінцевих елементів для аналізу впливу різних параметрів на стійкість одноосьових машин. Вони звертають увагу на важливість врахування нерівностей поверхні, яка значно впливає на стабільність руху.

Розробка алгоритмів для автоматичного коригування траєкторії машини в режимі реального часу є ще одним важливим напрямом. Останні дослідження зосереджуються на застосуванні методів оптимального керування та штучного інтелекту для розробки адаптивних систем, які можуть швидко реагувати на зміни умов експлуатації. Наприклад, застосування алгоритмів машинного навчання дозволяє системі керування навчатися та адаптуватися до нових умов, підвищуючи стійкість руху. Автори Кім та ін. [19] запропонували новий адаптивний алгоритм стабілізації, який використовує елементи штучного інтелекту та машинного навчання для коригування траєкторії машини в режимі реального часу. Їхня система може самостійно навчатися, покращуючи свою здатність підтримувати стійкість за змінних умов експлуатації. Джонс та Лі [20] розробили оптимізаційний алгоритм, що враховує вплив зовнішніх



факторів, таких як вітер та нерівності поверхні, на рух одноосьової машини. Їхній підхід показав високі результати в експериментальних тестах, зменшуючи відхилення від траєкторії на 30%.

Деякі дослідження зосереджуються на аналізі конструктивних змін, таких як зміна розподілу маси або форми робочих органів, для покращення стійкості руху. Дослідники розглядають, як ці зміни можуть зменшити асиметричні навантаження і підвищити стійкість машини без необхідності складних алгоритмів керування. В роботах [21, 22] дослідили вплив конструктивних змін на стійкість одноосьових машин. Вони показали, що зміна розподілу маси та форма робочих органів можуть суттєво покращити стійкість без необхідності застосування складних алгоритмів керування. В роботах [23, 24] провели серію експериментів, досліджуючи, як матеріали робочих органів впливають на динаміку руху. Вони рекомендують використовувати легші матеріали з високими показниками міцності для підвищення стійкості.

Крім теоретичних моделей, важливу роль відіграють експериментальні дослідження. Вони дозволяють перевірити ефективність запропонованих методів стабілізації на реальних прототипах машин. Такі дослідження часто виявляють додаткові фактори, які не враховувалися в моделях, і допомагають удосконалити підходи до забезпечення стійкості. Автори Мюллер та ін. [25] провели широкомасштабні експериментальні дослідження на реальних прототипах одноосьових машин. Їхні результати підкреслюють важливість експериментальної перевірки математичних моделей, оскільки в реальних умовах виникають додаткові фактори, які не завжди враховуються в теорії. Науковці Фукуда та Ямада [26] провели дослідження впливу нерівностей поверхні на рух самохідної машини. Їхня робота показала, що навіть незначні нерівності можуть значно знижувати стабільність, що підкреслює необхідність використання високочутливих систем керування.

Останні дослідження все частіше залучають мультидисциплінарні підходи, об'єднуючи знання з різних галузей, таких як механіка, кібернетика, та матеріалознавство. Це дозволяє створювати більш комплексні рішення, що враховують всі аспекти роботи одноосьових машин. Науковці Браун та Кoen [27] запропонували мультидисциплінарний підхід до вирішення проблеми стійкості руху, об'єднавши методи з механіки, кібернетики та матеріалознавства. Вони підкреслюють важливість інтеграції знань із різних галузей для створення більш комплексних рішень, що враховують всі аспекти роботи одноосьових машин.

Узагальнюючи можна відзначити, що сучасні дослідження спрямовані на інтеграцію теоретичних моделей, розробку адаптивних

алгоритмів стабілізації, а також на експериментальні перевірки. Це дозволяє поступово наближатися до створення самохідних машин з підвищеною стійкістю руху, здатних ефективно працювати в різних умовах.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою досліджень є підвищення стійкості руху агрегатів у складі одновісних енергетичних засобів та с.-г. знарядь реактивного типу, шляхом обґрунтування схеми, параметрів та режимів їх роботи.

Основна частина. На даному етапі вивчення динаміки руху одноосової самохідної машини з робочими органами реактивного типу в горизонтальній площині доцільно розглянути її спрощену еквівалентну схему (рис. 1) і представити диференціальні рівняння її руху у вигляді стаціонарних лінійних моделей.

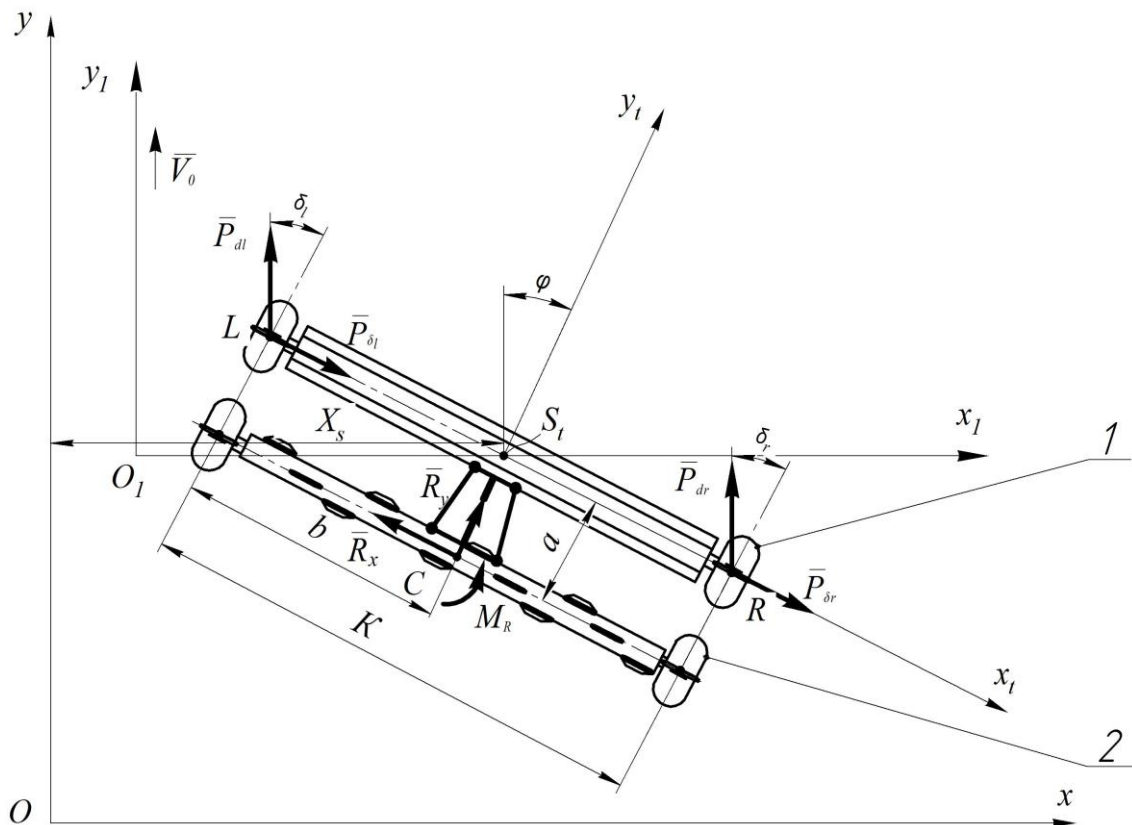


Рис. 1. Еквівалентна схема одноосової самохідної машини [1] з робочими органами реактивного типу [2] при дослідженні її плоскопаралельного руху у горизонтальній площині за силовим (бортовим) способом керування

Для спрощення рішення поставленої задачі впливу усіх сил, які діють на самохідну машину з боку сільськогосподарських знарядь, виразимо через їх головний вектор $\bar{R}$ (складові $\bar{R}_x$ і $\bar{R}_y$) і головний момент M_R . Прийнемо, що самохідна машина здійснює на гоні

відносно нерухомої горизонтальної площини xOy рівномірний поступальний рух з швидкістю V_0 . В процесі виконання роботи її остів під впливом випадкових збурень відхиляється від початкового положення і отримує додаткові швидкості. За якими починається відносний її рух по відношенню до площини $x_1O_1y_1$. При цьому площа $x_tS_ty_t$, що зв'язана з центром мас машини, обертає її в площині $x_1O_1y_1$ навколо осі S_tz , яка проходить через точку S_t . Мірою цього повороту машини служить кут φ , який побудований повздовжньою віссю S_ty_t і віссю O_1y_1 . В процесі відносного руху машини її центр мас переміщується по осі Ox , що характеризується зміною абсциси X_s .

Таким чином, самохідна машина по відношенню до площини $x_1O_1y_1$ має два ступеня вільності, яким відповідає дві узагальнені координати: кут φ і зміна абсциси X_s центра її мас.

Слід зазначити, що навіть в лінійній інтерпретації математична модель руху самохідної машини представляє собою систему досить складних диференціальних рівнянь. Тому, з метою спрощення їх складання, прийняті наступні припущення:

- 1) крен і диферент самохідної машини відсутні;
- 2) самохідна машина розглядається як фізичне тверде тіло, що має повздовжню площину симетрії, яка проходять через центр її мас;
- 3) циклічні коливання реактивного тягового опору та рушійної сили сільськогосподарських знарядь типу «копач» суттєво не впливає на швидкість поступального руху машини, в силу цього вона приймається постійною;
- 4) бокова взаємодія шин машини з поверхнею, що деформується, розглядається в рамках гіпотези «бокового уводу»;
- 5) гіроскопічні і стабілізуючі моменти шин і моменти опору їх скручування відносно вертикальної осі в силу їх незначності не враховуються.

На даному етапі вивчення динаміки руху самохідної машини в горизонтальній площині доцільно розглянути її спрощену еквівалентну схему (рис. 1) і представити диференціальні рівняння її руху у вигляді стаціонарних лінійних моделей.

До зовнішніх сил, які діють на самохідну машину при її плоско паралельному русі в горизонтальній площині (див. рис. 1), входять:

– рушійні сили P_{dl} , P_{dr} коліс лівого і правого бортів машини, що прикладені відповідно в точках L і R перетинання осей вказаних коліс з повздовжньою віссю S_ty ;

– бокові сили $P_{\delta l}$, $P_{\delta r}$, що прикладені відповідно в точках L і R , які призводять до виникнення кутів уводу δ_l і δ_r коліс лівого і правого бортів машини;

– горизонтальна та вертикальна R_x і R_y проекції сил і головний момент M_R , що діють з боку сільськогосподарських знарядь реактивного типу.

Дотичні сили тяги та сили опору кочення самохідної машини, за умов її рівномірного руху, виразимо через рушійні сили у вигляді:

$$\begin{aligned} P_{dl} &= P_{kl} - P_{fl1} - P_{fl2}, \\ P_{dr} &= P_{kr} - P_{fr1} - P_{fr2}, \end{aligned} \quad (1)$$

де P_{kl} , P_{kr} – рушійні сили тяги, які розвивають колеса з лівого та правого бортів машини відповідно;

P_{fl1} , P_{fr1} – опір кочення рушіїв самохідної машини з лівого та правого бортів машини відповідно;

P_{fl2} , P_{fr2} – опір кочення рушіїв сільськогосподарського знаряддя, відповідно з лівого та правого його бортів.

Для математичного опису бокової взаємодії енергетичного засобу з агрофоном найбільш часто використовується гіпотеза «бокового уводу» у лінійній інтерпретації [13, 14]. В цьому випадку для визначення бокових горизонтальних сил в місцях контакту коліс із ґрунтом використовують коефіцієнти опору боковому уводу шин згідно гіпотези Рокара [15, 16].

Отже, для умов функціонування самохідної машини отримаємо:

$$\begin{aligned} P_{\delta l} &= k_l \cdot \delta_l, \\ P_{\delta r} &= k_r \cdot \delta_r, \end{aligned} \quad (2)$$

де k_l і k_r – коефіцієнти опору уводу коліс відповідно лівого і правого бортів машини.

Кінетична енергія самохідної машини відносно площини x_1Oy_1 (див. рис. 1) складається із двох складових, які відображають її поступальний і обертальний рух:

$$T = (M_t \cdot V_{st}^2 + J_{st} \cdot \omega_t^2)/2, \quad (3)$$

де M_t – маса машини;

V_{st} – лінійна швидкість центру мас машини відносно площини x_1Oy_1 ;

J_{st} – момент інерції машини відносно її центру мас;

ω_t – кутова швидкість машини.

Очевидно, що

$$\begin{aligned} V_{st} &= \dot{x}_s, \\ \omega_t &= \dot{\varphi}. \end{aligned} \quad (4)$$

Після підстановки в рівняння кінетичної енергії (3) похідні кутових і лінійних швидкостей (4) отримаємо:

$$T = [M_t \cdot \dot{x}_s^2 + J_t \cdot \dot{\varphi}^2]/2. \quad (5)$$

Диференціальні рівняння руху самохідної машини по відношенню до площини x_1Oy_1 будемо складати у вигляді рівнянь Лагранжа другого роду.

Взявши похідні по прийнятим узагальненим координатам, після диференціювання отримаємо:

$$\begin{cases} M_t \cdot \ddot{x}_s = Q_x; \\ J_t \cdot \ddot{\varphi} = Q_\varphi, \end{cases} \quad (6)$$

де Q_x і Q_φ – узагальнені сили, які здійснюють переміщення самохідної машини по відповідним узагальненим координатам.

З урахуванням малості переміщень самохідної машини по відповідним узагальненим координатам рівняння для визначення узагальнених сил мають такий вид:

$$\begin{aligned} Q_x &= R_x - P_{\delta l} - P_{rl}, \\ Q_\varphi &= M_R - R_x \cdot a - P_{dl} \cdot b + P_{dr} \cdot (K - b), \end{aligned} \quad (7)$$

де K , b , a – конструктивні параметри машини, природа яких зрозуміла з рис. 1.

Здійснив певні перетворення диференціальних рівнянь [6] отримаємо математичну модель руху самохідної машини в горизонтальній площині при силовому (бортовому) способі її керування в диференціальній формі запису:

$$\begin{cases} A_{11} \cdot \ddot{x}_s + A_{12} \cdot \dot{x}_s + A_{13} \cdot \dot{\varphi} + A_{14} \cdot \varphi = R_x; \\ A_{21} \cdot \ddot{\varphi} + A_{22} \cdot \dot{\varphi} + A_{23} \cdot \dot{x}_s + A_{24} \cdot x_s = M_R - R_x \cdot a - P_{dl} \cdot b + P_{dr} \cdot (K - b), \end{cases} \quad (8)$$

де $A_{11} = M_t$;
 $A_{12} = (k_l + k_r)/V_0$;
 $A_{13} = 0$;
 $A_{14} = -(k_l + k_r)$;
 $A_{21} = J_t$;
 $A_{22} = 0$;
 $A_{23} = 0$;
 $A_{24} = 0$.

В основу визначення ступеню впливу схеми та параметрів досліджуваної машини на її стійкість руху нами покладені амплітудні і фазові частотні характеристики. Для їх визначення в рівняннях [8] оператор диференціювання замінимо уявною величиною $i \cdot \omega$, де $i = \sqrt{-1}$, а ω – частота зовнішнього впливу [1].

Амплітудно-частотні характеристики представляють залежності модулів передаточних функцій розглядуваної динамічної системи від частоти ω , а фазові частотні характеристики – залежність фазового зсуву від ω . В математичній моделі досліджуваної динамічної системи характеристиками збурювального впливу є тяговий опір R_x с.-г. знаряддя.

Аналіз результатів математичного моделювання показав, що характер відпрацювання збурювального впливу самохідною машиною залежить від швидкості V_0 її робочого руху (рис. 2).

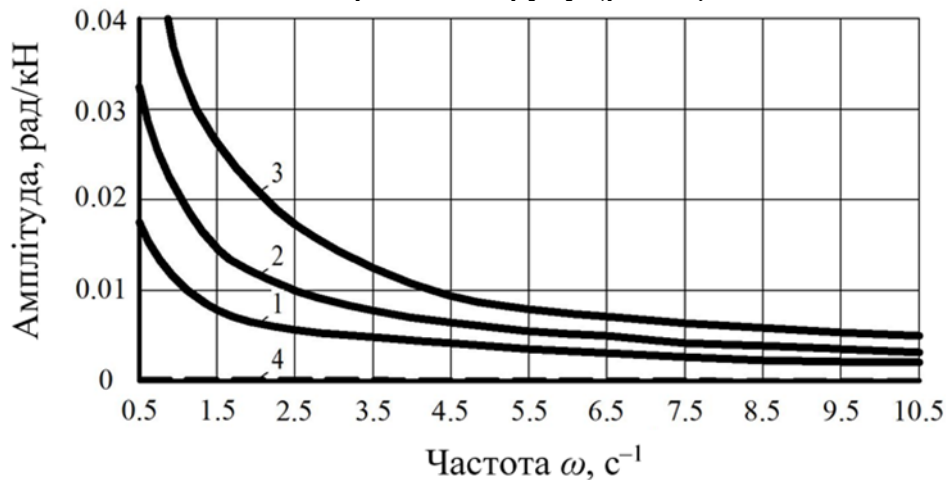


Рис. 2. Амплітудно-частотні характеристики коливань курсового кута φ самохідної машини при відпрацюванні нею збурювального впливу (тягового опору R_x с.-г. знаряддя) при різних швидкостях руху: 1 – $V_0 = 1$ м/с; 2 – $V_0 = 2$ м/с; 3 – $V_0 = 3$ м/с; 4 – ідеальна характеристика

З аналізу розрахункових амплітудно-частотних характеристик (див. рис. 2) випливає, що при збільшенні швидкості руху самохідної машини коливання амплітуди курсового кута φ , як вихідного параметру, теж зростає, що не є бажаним, оскільки віддаляє вказану характеристику від ідеальної. Для забезпечення найкращої стійкості руху машини швидкість її робочого руху має бути близькою 1 м/с. Водночас, максимальна амплітуда кутового кута φ на частотах близьких до нуля не перевищує 0,04 рад на 1 кН коливань тягового опору.

Фаза-частотні характеристики при цьому мають аналогічний характер (рис. 3).

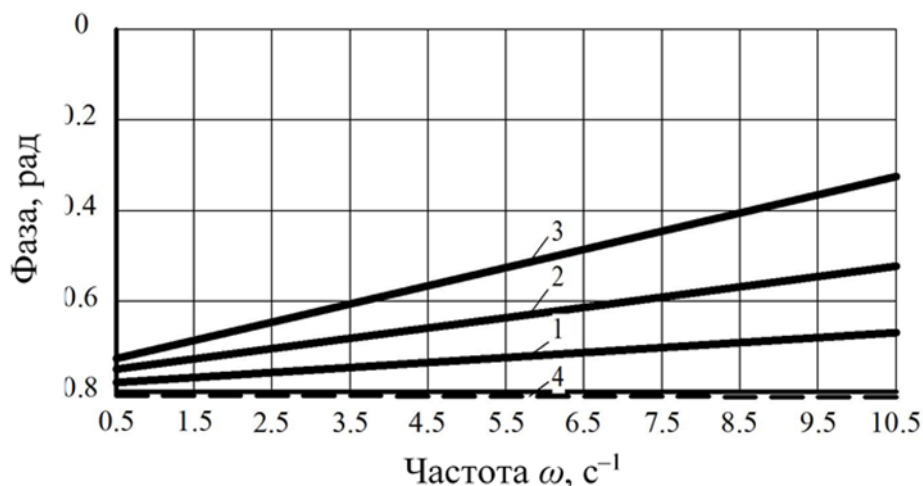


Рис. 3. Фаза-частотні характеристики коливань курсового кута φ самохідної машини при відпрацюванні нею збурювального впливу (тягового опору R_x с.-г. знаряддя) при різних швидкостях руху: 1 – $V_0 = 1$ м/с; 2 – $V_0 = 2$ м/с; 3 – $V_0 = 3$ м/с; 4 – бажана характеристика

Величина запізнення реакції динамічної системи на вхідне збурювання (див. рис. 3) при збільшенні швидкісного режиму машини змінюється не більше за 15%. У зв'язку з цим можна констатувати, що зміна швидкісного режиму машини на частотах $\omega > 3$ с⁻¹ практично не погіршує стійкості її руху в горизонтальній площині.

При збільшенні швидкості руху самохідної машини амплітуда коливання X_s також зростає (рис. 4 та 5). Найбільш відчутно цей процес проявляється на частотах коливання тягового опору, близьких до нуля. Водночас, максимальна амплітуда поперечного відхилення самохідної машини на частотах близьких до нуля при цьому не перевищує 20 мм на 1кН коливань поперечної складової тягового опору.

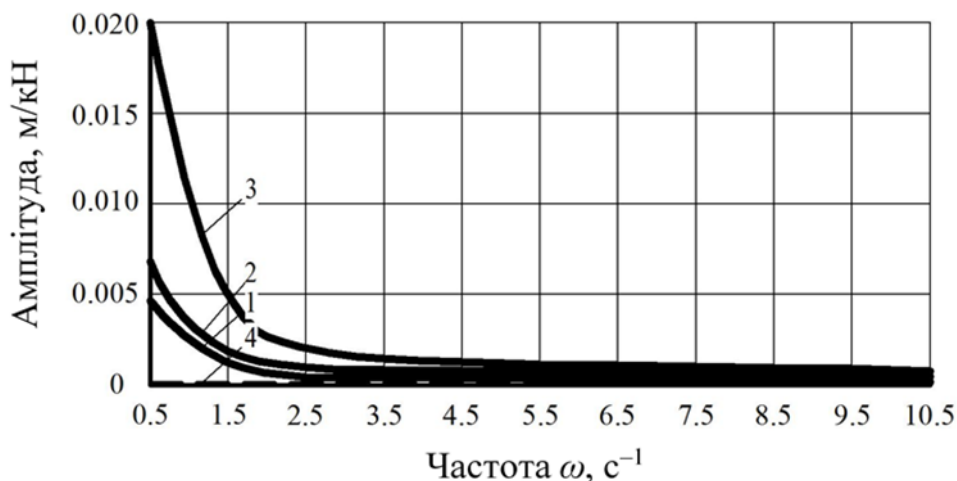


Рис. 4. Амплітудно-частотні характеристики коливань лінійного поперечного відхилення X_s при відпрацюванні самохідною машиною збурювального впливу (тягового опору R_x с.-г. знаряддя) при різних швидкостях руху: 1 – $V_0 = 1$ м/с; 2 – $V_0 = 2$ м/с; 3 – $V_0 = 3$ м/с; 4 – ідеальна характеристика

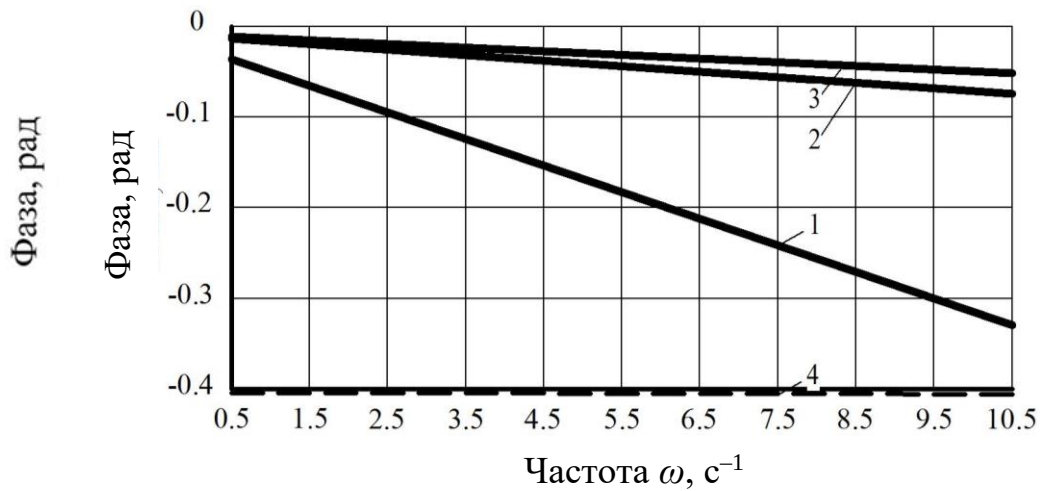


Рис. 5. Фаза-частотні характеристики коливань лінійного поперечного відхилення X_s при відпрацюванні самохідною машиною збурювального впливу (тягового опору R_x с.-г. знаряддя) при різних швидкостях її руху: 1 – $V_0 = 1$ м/с; 2 – $V_0 = 2$ м/с; 3 – $V_0 = 3$ м/с; 4 – бажана характеристика

З аналізу вищевикладених результатів досліджень можна констатувати, що коливання тягового опору знаряддя (як збурювального впливу) із підвищенням швидкісного режиму самохідної машини збільшує амплітуди її поперечного відхилення, що вимагає збільшення величини технологічного допуску на операції з смугового обробітку ґрунту. Якщо у реальних умовах експлуатації швидкість руху самохідної машини становитиме близькою до 3 м/с та при тяговому навантаженні в 5 кН амплітуда поперечного зміщення робочого органу при смуговому обробітку ґрунту становитиме $5\text{кН} \cdot 0,020\text{м/кН} = 0,12\text{м}$.

Висновки. Для забезпечення найкращої стійкості руху одноосьової самохідної машини з робочими органами реактивного типу її швидкість робочого руху має не перевищувати 1 м/с. При більшій швидкості її руху амплітудно-частотні характеристики відпрацювання динамічною системою збурювального впливу погіршуються (тобто небажано зростають). Водночас, на частотах збурювального впливу близьких до нуля збільшений швидкісний режим негативно відображається на величині поперечного зміщення машини. Практично це означає, що на 1кН коливань тягового опору с.-г. знаряддя амплітуда її поперечного відхилення наближається до 20 мм, що вимагає більшої ширини агротехнічного допуску на операції зі смугового обробітку ґрунту, що не є бажаним.

Дослідження встановлено, що максимальна амплітуда курсового кутового кута φ самохідної одноосьової машини на частотах близьких



до нуля становить 0,04 рад на 1 кН коливань тягового опору, а на частотах $\omega > 3 \text{ с}^{-1}$ збільшення швидкісного режиму руху машини практично не погіршує стійкості її руху в горизонтальній площині.

Покращення стійкості руху самохідної одноосової машини з робочими органами реактивного типу можна досягти зменшенням характеру звурювального впливу від тягового опору робочих органів, шляхом вдосконалення їх конструкції та принципу вертикального різання ґрунту. Водночас питання керованості самохідної машини з силовим (бортовим) способом її керування потребує подальшого дослідження.

Список використаних джерел

1. Надикто В. Т. [та ін.]. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві: навч. посібник. Мелітополь: Видавничий будинок «ММД», 2005. 338 с.
2. Надикто В. Т., Кюрчев В. М., Кувачов В. П. Використання техніки в АПК: підручник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. 268 с.
3. Кобець А. С., Теслюк Г. В., Пугач А. М. [та ін.]. Мостове землеробство. Елементи теорії та результати досліджень: монографія. Дніпро: Акцент ПП, 2023. 367 с.
4. Булгаков В. М., Адамчук В. В., Кувачов В. П. Результати експериментальних досліджень блоково-модульного сільсько-господарського агрегату. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 7 (820). С. 49–58.
5. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Надикто В. Т. [та ін.]. Теорія стійкого руху дискової борони. *Механізація та електрифікація сільського господарства*, 2021. № 6. С. 10–22.
6. Bulgakov V., Ivanovs S., Volskyi V., Kuvachov V. Simulation of the Flat-parallel Movement of a Bridge Agricultural Unit with an Articulated Frame. *Rural sustainability research*. 2020. Vol. 44(339). P. 8–14.
7. Bulgakov V., Olt J., Ivanovs S., Kuvachov V. Research into Dynamics of Motion Performed by Modular Power Unit as Part of Ploughing Tractor-Implement Unit. *Proceedings of the 32nd DAAAM International Symposium* (Vienna, Austria). P. 0576–0585.
8. Bulgakov V., Olt J., Chernovol M., Kuvachov V. та ін. A study of the interaction between soil and the pneumatic wheels of agricultural gantry systems. *AGRAARTEADUS: Journal of Agricultural Science*. 2020. Vol. 1. XXXI. P. 3–9.
9. Juzwik J. Incorporation of tracers and dozomet by rotary tillage and spading machines. *Soil and Tillage Research*. 1997. № 41. P. 237–248.
10. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Головач І. В., Кувачов В. П. Дослідження кочення рушіїв мостових агрозасобів по слідах постійної технологічної колії. *Вісник аграрної науки*. 2020. №10. С. 48–56.



11. Bulgakov V., Adamchuk V., Shymko L., Kuvachov V. A theoretical and experimental study of combined agricultural gantry unit with a mineral fertiliser spreader. *Agraarteadus: Journal of Agricultural Science*. 2020. № 2. XXXI. P. 139–146.
12. Булгаков В., Адамчук В., Надикто В. [та ін.]. Розробка та обґрунтування нового методу теоретичного дослідження коливальних процесів функціонування сільськогосподарських машин і машинних агрегатів. *Вісник аграрної науки*, 2022. Вип.100 (6). С. 48–54.
13. Olt J., Bulgakov V., Nadykto V. [et al.]. A mathematical model of the rear-trailed top harvester and an evaluation of its motion stability. *Agronomy Research*. 2020. Vol. 20(2). 371–388.
14. Bulgakov V., Aboltins A., Nadykto V. et al. A mathematical model of plane-parallel movement of the tractor aggregate modular type. *Agriculture (Switzerland)*. 2020. Vol. 10(10). P. 1–22.
15. Адамчук В., Булгаков В., Надикто В. та ін. Теоретичне дослідження стійкості руху асиметричного посівного машинно-тракторного агрегату. *Вісник аграрної науки*. 2023. Вип. 101(5). С. 57–64.
16. Bulgakov V., Aboltins A., Nadykto V. et al. Theoretical investigation of selection (calculation) of design parameters of modular draft device in aggregation of semitrailers. *Applied Sciences*. 2022. Vol.12 (20). P. 10267.
17. Li Wang, Zhao Chen. Dynamic Modeling and Stability Analysis of Single-Axis Autonomous Vehicles with Reactive Work Units. *Journal of Systems and Control Engineering*. 2022.
18. Smith J., Hanson E. Finite Element Modeling of Stability in Single-Axis Autonomous Vehicles: Impact of Surface Irregularities. *International Journal of Vehicle Dynamics*. 2021. 206–218.
19. Kim J., Lee S., Park H. Adaptive Real-Time Stabilization of Single-Axis Autonomous Vehicles Using AI and Machine Learning Algorithms. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2023. 163–178.
20. Jones M., Lee H. Optimization Algorithm for Stability Control of Single-Axis Vehicles Under External Disturbances. *International Journal of Control, Automation and Systems*. 2022. 64–72.
21. Bulgakov V., Pascuzzi S., Ivanovs S., Kuvachov V. та ін. Study of the steering of a wide span vehicle controlled by a local positioning system. *Journal of Agricultural Engineering*. 2021. Vol. LII. P.1144.
22. Bulgakov V., Pascuzzi S., Ivanovs, S.,Kuvachov V. та ін. Measure of the deflections from linear trajectory of a skid-steer gantry tractor during its motion. *2021 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)*. 2021. P. 22–26.



23. Bulgakov V., Olt J., Smolinskyi S., Kuvachov V. A theoretical and experimental study of the traction properties of agricultural gantry systems. *AGRAARTEADUS: Journal of Agricultural Science*. 2020. Vol. 1. XXXI. P. 10–16.

24. Bulgakov V., Ivanovs S., Viktor M., Kuvachov V. Simulation of elastic-dissipative connection of multi-axle block-modular agricultural tractor modules. *Proceeding 20th International Scientific Conference engineering for rural development* (Jelgava, 26.-28.05.2021). 2021. P. 628–634.

25. Müller F., Schmidt A., Bauer L. Experimental Validation of Mathematical Models for Single-Axis Machines: Insights from Large-Scale Prototyping. *Journal of Mechanical Engineering and Robotics*. 2023. P. 72–81.

26. Fukuda T., Yamada K. Impact of Surface Irregularities on the Stability of Autonomous Vehicles: A Case Study on Single-Axis Machines. *Journal of Robotics and Autonomous Systems*. 2022. P. 121–128.

27. Brown J., Cohen D. Multidisciplinary Approach to Enhancing Stability in Single-Axis Vehicles: Insights from Mechanics, Cybernetics, and Material Science. *Journal of Advanced Vehicle Systems*. 2023. P. 265–273.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2024 р.

**V. Kuvachov, V. Druzhych, S. Shevchenko, K. Zelenov,
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university**

STUDY OF STABILITY OF MOTION OF A SELF-PROPELLED MACHINE WITH JET-TYPE AGRICULTURAL UNITS

Summary

The problem of the stability of the movement of a single-axle machine with agricultural units of the reactive type is that such a dynamic system has a limited ability to self-level, so it is necessary to take into account not only the distribution of mass and the force of traction, but also to constantly adjust the trajectory of its movement. Scientists have not conducted enough research in this regard. The purpose of the research is to increase the stability of the movement of aggregates in the composition of single-axis power tools and agricultural machinery. a jet-type tool, by substantiating the scheme, parameters and modes of their operation. The scientific novelty consists in obtaining mathematical models, the use of which allows you to substantiate the parameters and modes of motion of a self-propelled uniaxial machine from the position of its steady motion. The practical value of the research lies in the provision of recommendations for the industrial production of the specified machines and the selection of optimal modes of their operation. As a result of the conducted research, it was established that to ensure the best stability of the movement of a single-axle self-propelled machine with agricultural units of the reactive type, its operating speed should not exceed 1 m/s. At the same time, at frequencies of disturbance influence close to zero, the increased speed mode leads to a lateral deviation of the machine by 20 mm per 1 kN of the traction resistance oscillations. a tool that requires a greater width of



agrotechnical tolerance. Improving the stability of the movement of a self-propelled single-axle machine with agricultural units of the reactive type can be achieved by reducing the nature of the binding effect from the traction resistance of the working bodies, by improving their design and the principle of vertical cutting of the soil. At the same time, the issue of controllability of a self-propelled machine with a power (on-board) control method requires further research.

Key words: plane-parallel motion, stability of motion, self-propelled machine, disturbing influence, theoretical studies.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-4

UDC 637.143

D. Dmytrevskiy^{1, 2}, PhD

ORCID: 0000-0003-1330-7514

M. Chervonyi³, PhD.,

ORCID: 0000-0002-9085-2260

V. Horielkov³, PhD

ORCID: 0000-0002-9315-9322

¹State Biotechnological University²Dmytro Motornyi Tavria State Agrrotechnological University³Karazin Kharkiv National University

e-mail: dmitrevskyidv@gmail.com, phone: +380963422635

IMPROVEMENT OF THE HOMOGENIZER HEAD DESIGN

Summary. An analysis of the equipment used for the homogenization of milk raw materials was carried out. Technologies for obtaining homogenized milk are considered. Disadvantages of existing technological processes have been identified. The areas of improvement of homogenization processes are defined and the need for the development of equipment for their implementation is substantiated. The research methods of the homogenization process are substantiated, a description of the studied raw materials is given, and the design of the homogenizer head is proposed. The influence of the geometric parameters of the modernized homogenizer head on the efficiency of the homogenization process was determined, and the optimal parameters were determined experimentally. As a result of the conducted research, it can be concluded that the homogenization process is very important for the production of pharmaceutical emulsions. The calculation and modeling of the homogenizing head of the valve homogenizer was carried out. In order to carry out two-stage homogenization, it was proposed to modernize the homogenizing head. the previous design is inferior to the modernized one in terms of homogenization of food liquids

Key words: homogenization, milk raw materials, fat balls, nozzle diameter, homogenizer head, preparation of raw materials, piston stroke, viscosity of emulsions, density of emulsions.

Formulation of the problem. The yogurt production process is now almost fully automated, thanks to modern equipment. For this, you will need a technological line, which includes a pump, a two-layer tank made of food-grade stainless steel and equipped with a frame-type device, a normalizer, a homogenizer, and a separator for separating cream.

The technological process of yogurt production by the tank method consists of the following operations: reception and preparation of raw materials and materials, normalization of fat and dry substances, cleaning, homogenization of the mixture, pasteurization, cooling, fermentation, introduction of fillers and dyes, fermentation, mixing, cooling, bottling, packaging, labeling and storage [1].

Milk, selected for quality, is normalized according to the mass fraction of fat and dry matter. For fat, milk is normalized either in the flow, using a

separator - normalizer, or by adding whole milk or cream to skimmed milk [2]. In terms of solids, milk is normalized by adding milk powder, which is reconstituted in accordance with current regulatory documentation [3]. In addition, normalization of dry matter is carried out by evaporating pasteurized and homogenized milk at a temperature of 55-60 °C.

In the production of sweet yogurt, normalized milk is heated to 43 ± 2 °C, sugar, previously dissolved in part of normalized milk at the same temperature in a ratio of 1:4, is added [4]. The mixture is purified on separators - milk purifiers, homogenized at a pressure of 15 ± 2.5 MPa and temperature of 45-85 °C.

The end of fermentation is determined by the formation of a strong clot. The curd is cooled for 10-30 minutes and mixed in order to obtain a uniform consistency of the milk curd and to avoid whey separation [5]. The curd, cooled to 16-20 °C, is sent for bottling, packaging, labeling and re-cooling in refrigerating chambers to a temperature of 4 ± 2 °C. After that, the technological process is considered complete, the product is ready for sale [6].

Valve-type homogenizers are the main devices for homogenization of liquid food products. In them, the product is homogenized at different temperatures and different pressures, depending on the production technology [7]. All valve homogenizers have a similar design. The main unit is the homogenizing head, in which homogenization takes place [8]. The quality of the process depends on the operation of such elements as the seat and the valve. If one of these elements is damaged, the quality of homogenization deteriorates significantly [9].

Homogenization of liquid products by pushing them through the valve gap of the homogenizing head of the machine received the greatest distribution in the processing industry [10].

Analysis of recent research and publications. Two-stage homogenization is used in industry. The working pressure in the injection chamber is equal to the sum of both differences. The use of two-stage homogenization is due to the fact that in many emulsions, after homogenization of the first stage, there is agglomeration of dispersed particles at the exit, which worsen the dispersion effect [11].

The task of the second stage consists in fragmentation and dispersal of such relatively unstable formations [12].

This requires not a very large mechanical action, therefore the pressure drop in the second stage of the homogenizer is much smaller than in the first stage, on the operation of which the degree of homogenization mainly depends [13].

The productivity of the homogenizer is regulated by the frequency of rotation of the electric motor and crankshaft with different eccentricity of the crank [14].

The main working organs of the homogenizing head are the seat and the valve, the degree of dispersion of the particles during homogenization depends on their design. The valve gap can be smooth or wavy with a constant or variable cross-section. To overcome resistance when passing through a narrow gap, the product is supplied under high pressure (up to 20 MPa). The force applied when feeding the product raises the valve, and a narrow channel is formed between it and the seat through which the liquid flows. The valve remains above the seat in the floating bath, and due to the change in hydrodynamic conditions, the height of the channel is constantly changing [15].

The force with which the valve is pressed against the seat is often created by a spring, in some designs - by pressurized oil, and can be adjusted. It is determined by the pressure with which the product is supplied [16].

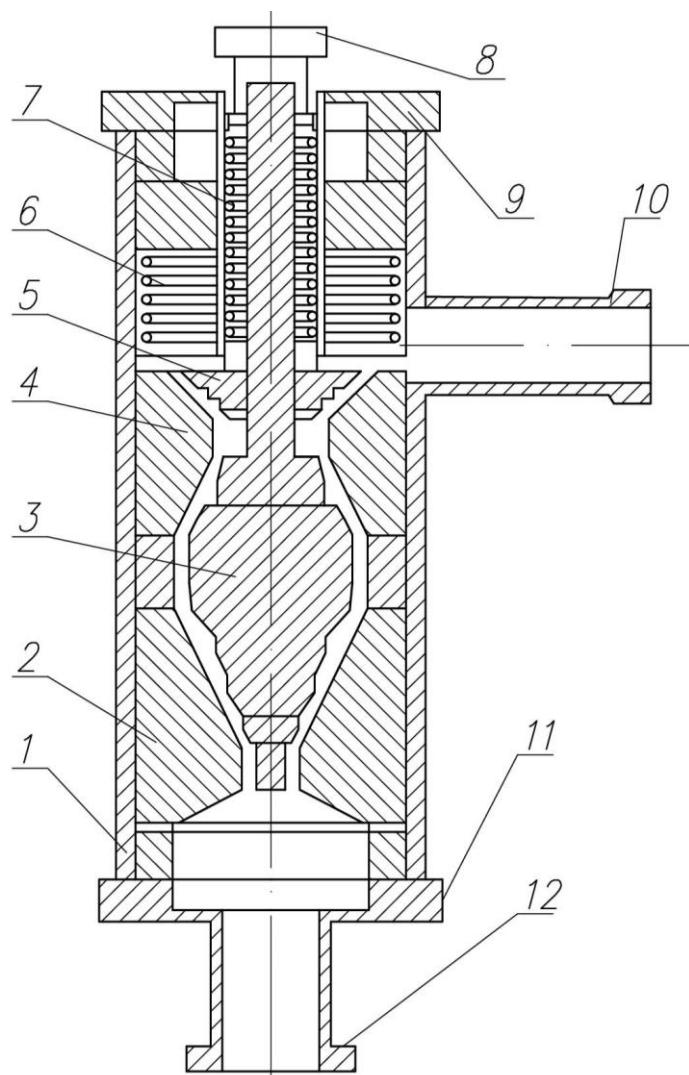
The fineness of grinding depends on the pressure, the design of the homogenizing head, the uniformity of the supply, the condition and pretreatment of the product. According to the type of homogenizing head, homogenizers can be divided into single-, two- and multi-stage. The homogenizing head is the node of the homogenizer, where the spraying of the treated medium takes place directly [17].

The two-stage head consists of a body and a valve device, the main parts of which are the valve seat and the valve. The valve is connected to the rod, the protrusion of which is pressed by a spring. The compression force of the spring is adjusted by moving the cap nut with the steering wheel, which, together with the spring, rod and cup, form a pressure device. The liquid pumped by the pump under the valve plate presses on the plate and pushes the valve away from the seat, overcoming the resistance of the spring. In the gap formed between the valve and the seat with a height of 0.05 to 2.50 mm, the liquid passes at high speed, homogenizing at the same time.

Formulation of the purpose of the article. Improving the design of the homogenizer head and determining the rational parameters of its operation.

Presentation of the main research material. The modernization of the homogenizing head consists in carrying out two-stage homogenization in one head, instead of in two, as it happened before. For this, the following construction is proposed.

This design provides for the use of a double valve. The first is a valve with an inclined and concentric groove in the horizontal plane, the second, the upper valve also has a groove. Each valve is lifted separately under fluid pressure. Valve springs have different stiffness, which allows these valves to rise separately from each other, thereby increasing the fluid pressure at the inlet. The surface of the valve has a groove that increases the degree of grinding of raw materials (Fig. 1).



1 – body; 2 – lower saddle; 3 – a valve with an inclined and concentric cut in the horizontal plane; 4 – upper saddle; 5 – upper inclined valve; 6 – upper valve spring; 7 – lower valve spring; 8 – ring; top nut; 9 – upper nut; 10 – outlet pipe; 11 – lower nut; 12 – inlet pipe

Fig. 1. Modernized homogenizing head with a double valve

The product is fed through the lower nozzle into the head, after which it creates pressure on the valve, which in turn creates pressure with the help of a spring and rises together with a large spring and a movable seat. When the product passes through the first valve gap, it enters the previous chamber. The anterior chamber fills and creates pressure on the movable saddle. The saddle rises and creates a second valve gap. After passing through two slits, the homogenized product is released for further processing.

During the research, the initial parameters remain the same as in the non-modernized head: $v = 10$ m/s, emulsion density $\rho = 1035$ kg/m³, dynamic emulsion viscosity $\mu = 0.0026$ Pa·s.



After the calculations, the velocity distribution and total pressure distribution were obtained.

The emulsion enters with a speed $v = 10$ m/s, and gradually the speed increases because the cross-section of the working volume narrows. When the emulsion enters the valve gap, the speed becomes maximum. After that, the speed decreases in front of the second gap. In the second gap, the speed increases gradually, as the cross-section of the working volume narrows, and at the exit from the valve gap, it also reaches the maximum speed. It is established that the greatest pressure is created in front of the valve, after the valve rises under the action of pressure and the emulsion passes through the valve gap, the pressure gradually decreases.

The pressure along the movement of the emulsion changes from the largest value to the smallest. The velocity initially has a small velocity, and in the valve gap it reaches a maximum value, after which the velocity gradually decreases. The pressure changes from its highest value, after passing through the valve gap, it gradually decreases. It can be seen from the speed graph that the speed increases in the valve gap, then decreases before the second gap, increases again in the second valve gap and gradually decreases after that. To compare the speeds in both homogenizing heads, let's plot the speed lines in one graph.

From the graph, you can see how the speed of the emulsion differs before and after the modernization of the homogenizing head. Therefore, the speed of emulsion passage in the modernized head increases twice, as it passes through two valve slots. Therefore, it can be said that two-stage homogenization of the product takes place in the modernized homogenizing head. The use of two-stage homogenization is due to the fact that in many emulsions, after homogenization of the first stage, there is agglomeration of dispersed particles at the exit and the creation of "clusters", which worsen the effect of dispersion.

The task of the second stage consists in fragmentation and dispersal of such relatively unstable formations. Therefore, for better homogenization, such a homogenizing head is more convenient to use.

Determination of rational parameters of the homogenization process in order to establish the rational parameters of the homogenization process and determine the geometric dimensions of the main elements of the homogenization head, it was necessary to conduct a series of experimental studies.

At the first stage of research, it was necessary to determine the dependence of the average diameter of fat balls on the homogenization pressure and the diameter of the inlet valve. Graphic dependences of the values of the average diameter of fat globules are presented (Fig. 2). During the experimental studies, the diameter of the intake valve was changed using special nozzles. Also, the stroke of the plunger was changed with the help of a crank mechanism.

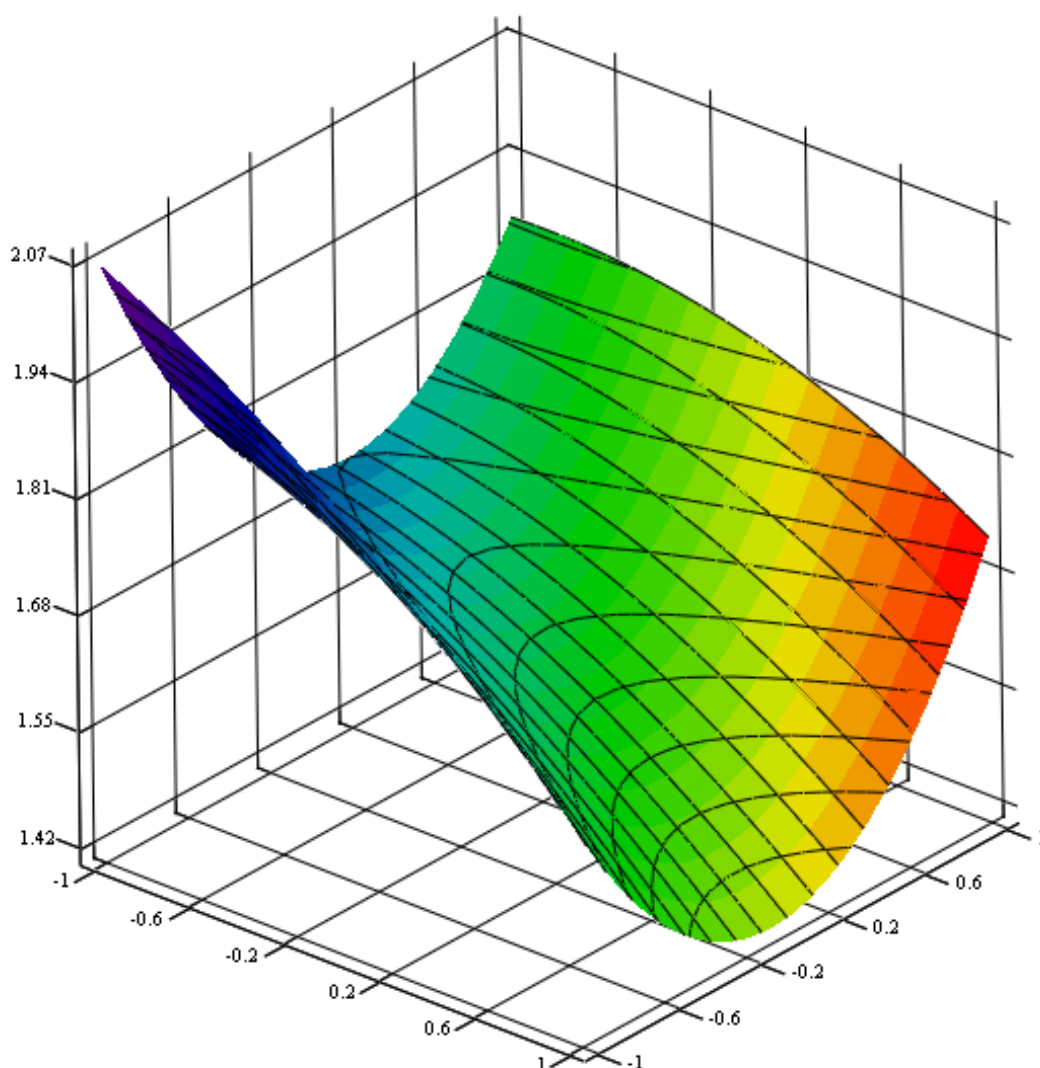


Fig. 2. Dependence of the average size of fat globules on the homogenization pressure and the diameter of the inlet valve. The stroke of the piston is 0.06 m

The conducted studies show that with increasing homogenization pressure, the average diameter of fat globules decreases. Process studies were carried out for homogenization pressure values of 8 MPa, 10 MPa, 12 MPa, and 16 MPa. Also, with the help of special nozzles, the diameter of the inlet valve of the homogenizer was changed. The values of the diameter of the inlet valve hole were: 5 mm, 10 mm, 15 mm and 20 mm.

During the experimental studies, the stroke of the plunger was changed by changing the crank mechanism. The stroke of the piston has values of 0.06 m, 0.07 m and 0.08 m.

As the diameter of the plunger stroke increased, the average diameter of fat balls decreased, which had a positive effect on the quality of dairy products. The next stage of the research was the determination of the average diameter of fat balls from the homogenization pressure, the diameter of the nozzle at the exit from the homogenizer. Figure 3 show graphic dependences of the values of the average diameter of fat globules. During the experimental studies, the homogenization pressure was changed, as well as the diameter of the outlet nozzle with the help of special nozzles. Also, as in the previous case, the stroke of the plunger was changed with the help of a crank-rod mechanism.

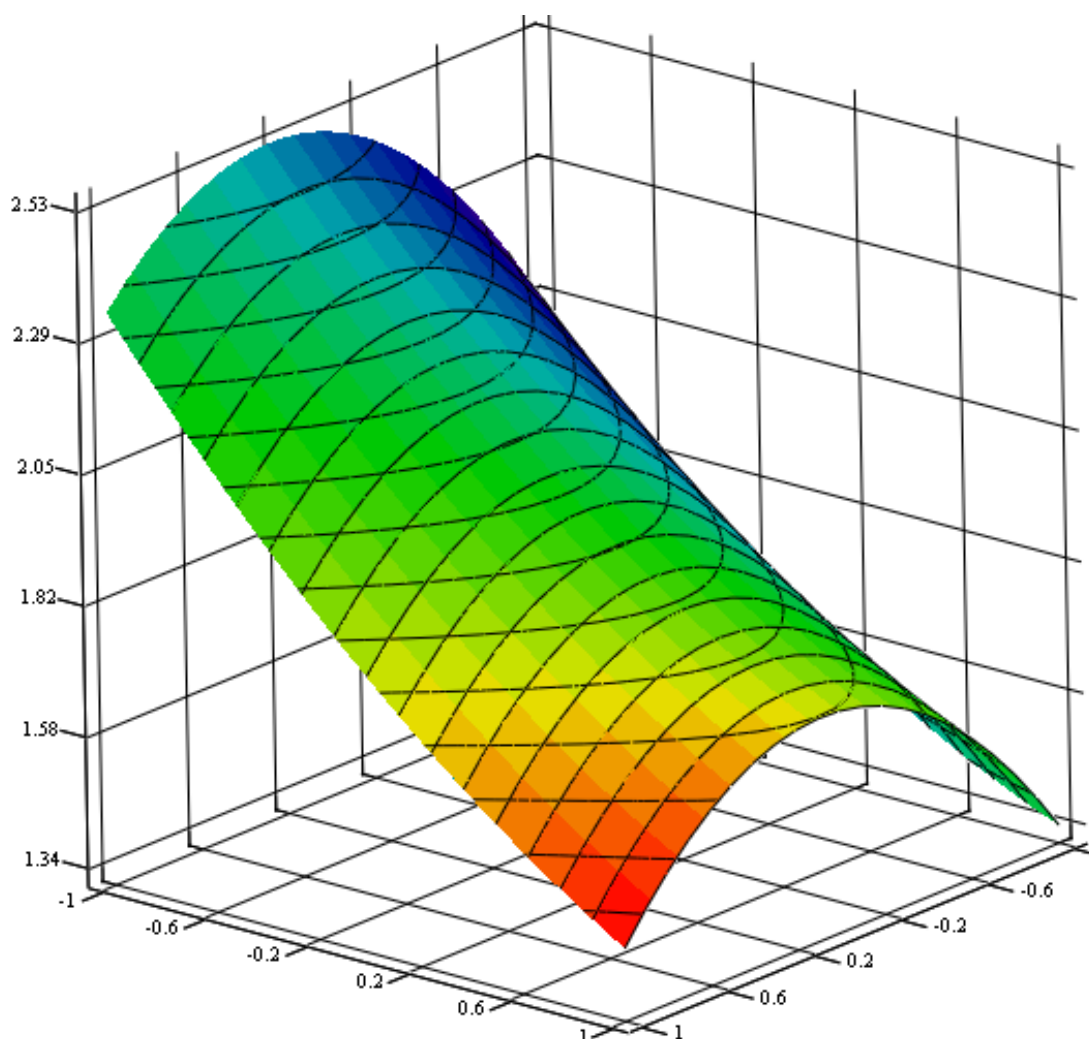


Fig. 2. Dependence of the average size of fat balls on the homogenization pressure and the diameter of the nozzle at the outlet. The stroke of the piston is 0.06 m

During the research, the diameter of the outlet nozzle was changed. Special nozzle nozzles with a diameter of 0.002 m, 0.003 m and 0.004 m were used.

As the diameter of the outlet nozzle decreased, the average diameter of fat globules decreased. Also, as in the previous case, with an increase in the stroke of the plunger, the average diameter of the fat globules also decreased.

Thus, it was established that the stroke of the piston, the diameter of the inlet nozzle, and the diameter of the outlet nozzle affect the average size of fat balls.

Conclusions. The main advantages of introducing membrane technologies into the processing process are presented. The modernization of the homogenizing head consists in carrying out two-stage homogenization in one head, instead of in two, as it happened before. For this, the following construction is proposed. This design provides for the use of a double valve. The first is a valve with an inclined and concentric groove in the horizontal plane, the second, the upper valve also has a groove. Each valve is lifted separately under fluid pressure. Valve springs have different stiffness, which allows these valves to rise separately from each other, thereby increasing the fluid pressure at the inlet. The surface of the valve has a groove that increases the degree of grinding of raw materials. As a result of the research, it can be concluded that the process of homogenization is very important during the production of dairy products. The calculation and modeling of the homogenizing head of the valve homogenizer was carried out. In order to carry out two-stage homogenization, it was proposed to modernize the homogenizing head. the previous design is inferior to the modernized one in terms of homogenization of food liquids.

References

1. Bagci P. O. Effective clarification of pomegranate juice: a comparative study of pretreatment methods and their influence on ultrafiltration flux. *Journal of Food Engineering*. 2014. Vol. 141. P. 58-64. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.05.009>.
2. Дейниченко Г. В., Дмитревський Д. В., Гузенко В. В., Афукова Н. О. Аналіз застосування мембранних апаратів для виробництва соків із плодової сировини. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 21, т. 1. С. 36–43. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2021-21-1-36-43>.
3. Cherevko O. I., Deinychenko G. V., Dmytrevskiy D. V., Guzenko V. V., Heier H. V., Tsvirkun L. O. Application of membrane technologies in modern conditions of juice production. *Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2020. Вип. 2 (32). С. 67-77. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4369743>.

4. Deinychenko G. V., Dmytrevskiy D. V., Zolotukhina I. V., Perekrst V. V., Guzenko V. V. Directions of improvement of processes of membrane separation of juices from fruit and berry raw materials. *Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2021. Вип. 1 (33). С. 89–98. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5036090>.
5. Дейниченко Г. В., Золотухіна І. В., Дмитревський Д. В., Гузенко В. В., Перекрест В. В., Гладкова О. С. Сучасні технології баромембранних процесів у харчовій промисловості. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2021. № 2(43). С. 86-93. <https://doi.org/10.33274/2079-4827-2021-43-2-86-93>.
6. Xiaochan An, Yunxia Hu, Ning Wang, Zongyao Zhou, Zhongyun Liu. Continuous juice concentration by integrating forward osmosis with membrane distillation using potassium sorbate preservative as a draw solute. *Journal of Membrane Science*. 2019. Vol. 573. P. 192-199. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.12.010>.
7. Omar J. M., Nor M. Z. M., Basri M. S. M., Che Pa N. F. Clarification of guava juice by an ultrafiltration process: analysis on the operating pressure, membrane fouling and juice qualities. *Food Research 4*, 2017. (Suppl. 1). P. 85–92. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(s1\).s30](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(s1).s30).
8. Yee W. P., Nor M. Z. M., Basri M. S. M., Roslan J. Membrane-based clarification of banana juice: pre-treatment effect on the flux behaviour, fouling mechanism and juice quality attributes. *Food Research 5*, 2021 (Suppl. 1). P. 57–64. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(s1\).046](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(s1).046).
9. Miyoshi T., Yuasa K., Ishigami T., Rajabzadeh S., Kamio E., Ohmukai Y., Saeki D., Ni J., Matsuyama H. Effect of membrane polymeric materials on relationship between surface pore size and membrane fouling in membrane bioreactors, *Applied Surface Science*, 2015. Vol. 330. P. 351-357. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.01.018>.
10. Постнов Г. М., Шипко Г. М., Червоний В. М., Постнова О. М. Експериментальні дослідження процесу гомогенізації молока в полі ультразвукових хвиль. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2016. Вип. 2(24). С. 258-266.
11. Samoichuk K., Kovalyov A., Oleksiienko V., Palianychka N., Dmytrevskiy D., Chervonyi V., Horielkov D., Zolotukhina I., Slashcheva A. Determining The Quality Of Milk Fat Dispersion In A Jet-Slot Milk Homogenizer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. № 5(11–107). P. 16–24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213236>.
12. Samoichuk K., Zhuravel D., Palyanichka N., Oleksiienko V., Petrychenko S., Slobodyanyuk N., Shanina O., Galyasnyj I., Adamchuk L., Sukhenko V. Improving the quality of milk dispersion in a counter-jet



homogenizer. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 633–640. <https://doi.org/10.5219/1407>.

13. Mayta-Hancco J., Trujillo A. J. & Juan B. Homogenization at ultra-high pressure (UHPH). Effects on milk and applications in cheese manufacture. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*. 2020. Vol. 31(2). <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i2.17934>.

14. Zamora A. & Guamis B. Opportunities for Ultra-High-Pressure Homogenisation (UHPH) for the Food Industry. *Food Engineering Reviews*. 2015. Vol. 18. P. 393–403. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9097-4>.

15. Samoichuk K., Kovalyov O. & Lubko D. DESIGN OF Parameters of stream milk homogenizer of slot type. *Праці Таврійського Державного Агротехнологічного Університету*. 2018. Vol. 18(2). P. 285–293. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-18-2-285-293>.

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

17. Самойчук К. О., Сєрий І. С. & Ковальов О. О. Development of an industrial design and evaluation of economic efficiency from the introduction of a jet-slot milk homogenizer. *Proceedings of the Tavria State Agrotechnological University*, 2020. Vol. 20(1). P. 15–25. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-20-1-15-25>.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024 р.

Д. В. Дмитревський^{1, 2}, В. М. Червоний³, Д. В. Горєлков³

¹Державний біотехнологічний університет

²Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

³Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГОЛОВКИ ГОМОГЕНІЗАТОРА

Анотація

Проведено аналіз обладнання, що застосовуються для гомогенізації молочної сировини. Розглянуто технології отримання гомогенізованого молока. Виявлені характерні недоліки існуючих технологічних процесів. Визначено напрями удосконалення процесів гомогенізації та обґрунтовано необхідність розробки обладнання для їх реалізації. Обґрунтовано методи дослідження процесу гомогенізації, приведено опис досліджуваної сировини та запропонована конструкції головки гомогенізатора. Визначено вплив геометричних параметрів модернізованої головки гомогенізатора на ефективність процесу гомогенізації, експериментально визначені оптимальні параметри. Встановлено, що зі зростанням тиску гомогенізації відбувається зменшення середнього діаметру жирових кульок у молоці. В якості об'єкта дослідження обрано процес



гомогенізації молочної сировини. Наведено основні переваги впровадження мембранних технологій у процес обробки.

Модернізація гомогенізуючої головки полягає в тому, щоб проводити двохступінчасту гомогенізацію в одній головці, а не в двох, як це відбувалось раніше. Для цього запропонована наступна конструкція.

В даній конструкції передбачено застосування подвійного клапан. Перший являє собою клапан з похилим і концентричним нарізом в горизонтальній площині другий, верхній клапан також має наріз. Кожен клапан підіймається окремо під тиском рідини. Пружини клапанів мають різну жорсткість, що дозволяє цим клапанам підніматися окремо один від одного, тим самим збільшуючи тиск рідини на вході. Поверхня клапану має наріз, який збільшує ступінь подрібнення сировини.

У результаті виконаних досліджень можна зробити висновок, що процес гомогенізації являється дуже важливим під час виробництва молочних продуктів. Було проведено розрахунок та моделювання гомогенізуючої головки клапанного гомогенізатора. Для того щоб проводити двоступінчасту гомогенізацію було запропоновано модернізувати гомогенізуючу головку. попередня конструкція поступається модернізованій у якості гомогенізації харчових рідин.

Ключові слова: гомогенізація, молочна сировина, жирові кульки, діаметр сопла, головка гомогенізатора, підготовка сировини, хід поршня, в'язкість емульсій, густина емульсій.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-5

УДК 637.134

О. О. Ковальов, к.т.н., ст. викл.,

ORCID: 0000-0002-4974-5201

К. О. Самойчук, д.т.н, проф.,

ORCID: 0000-0002-3423-3510

Н. О. Паляничка, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-8510-7146

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: oleksandr_kovalov@tsatu.edu.ua, тел.: +380963205531

ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ДИСПЕРГУВАННЯ В ПУЛЬСАЦІЙНОМУ ГОМОГЕНІЗАТОРІ РІДКИХ ПРОДУКТІВ

Анотація. В статті проаналізовано конструкції пульсаційних гомогенізаторів рідких продуктів. Результати аналізу дозволяють стверджувати, що для забезпечення якості продукту згідно вимог технологічної документації конструктивні особливості прототипу та аналогу передбачають багаторазову обробку продукту протягом однієї операції. Це призводить до підвищення енергетичних витрат диспергування та зниження продуктивності гомогенізаторів. Запропоновано корисну модель, в якій обґрунтовано доцільність використання 3...5 поршнів-ударників, замість одного. Доведено, що впровадження вдосконалення забезпечить зниження енергетичних витрат диспергування за рахунок підвищення інтенсивності впливу поршнів на продукт протягом одного циклу. Обґрунтовано, що за рахунок збільшення кількості поршнів-ударників можливо досягти підвищення продуктивності обладнання, що досягається за рахунок зниження кратності обробки емульсії в гомогенізаторі.

Ключові слова: пульсаційний, кратність обробки, поршень, амплітуда, шток, знежирене молоко, диспергування, вершки

Постановка проблеми. Питання енергетичної ефективності переробки продуктів харчування в молокопереробній галузі безпосередньо корелює з конкурентоздатністю продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках України. Окрім високої якості, яка має забезпечуватись на кожному етапі переробки сировини, задля відповідності вимогам нормативної документації та міжнародних стандартів, важливо забезпечити мінімальні витрати енергії на кожному з етапів технологічного процесу. Однією з нормативних операцій, на виконання якої витрачається суттєвий відсоток витрат енергії в відсотковому відношенні до загальних енерговитрат технологічного процесу є диспергування молочного жиру (гомогенізація) [1]. Метою її проведення є 3-4 разове зменшення середнього діаметра жирових кульок, внаслідок чого забезпечується рівномірний розподіл дисперсної фази (вершків) в об'ємі молочної



плазми (дисперсійна фаза). Здійснення гомогенізації попереджає розшарування молочних продуктів та втрату цінного молочного жиру на стінках обладнання та тари, сприяє покращення смакових якостей та засвоюваності продукту [2].

До характерних особливостей процесу диспергування молочного жиру належать високі значення питомих витрат електроенергії, які для найбільш поширених в галузі клапанних гомогенізаторів складають більше 7 кВт·год/т переробленого продукту [1-4]. Цей тип диспергаторів забезпечує отримання продукту, середній діаметр жирових кульок в якому знаходиться на рівні вимог технологічної документації та складає 0,75-0,80 мкм. Численні спроби зниження надмірних витрат клапанних гомогенізаторів дозволили дослідникам висунути близько 10 гіпотез процесу. Між тим, жодна з них повною мірою не пояснює процеси, які відбуваються в області клапанної щілини. Протиріччя в гіпотезах пояснюються як складністю проведення досліджень, що пов'язано з мікроскопічними розмірами часток дисперсної фази та швидкостями руху рідини, що перевищують 100 м/с, так і парадоксами гідродинаміки [2]. Конструкції, які були створені на базі відомих гіпотез або мають високі значення енергетичних витрат диспергування (мікрофлюїдизатори, клапанні), або не забезпечують відповідність продуктів вимогам нормативної документації (вакуумні, вібраційні, електрогідравлічні) [1,5].

Аналіз останніх досліджень. Дослідження наукових основ процесу диспергування дозволило вченим стверджувати, що підвищення енергоефективності диспергування можливе за реалізації одного з таких принципів, як:

- пошук оптимальної форми камери гомогенізації [6,7];
- вдосконалення конструкцій ромбічної, Т-подібного та П-подібного міні-міксерів [1,8];
- зміні гідродинамічних параметрів потоку, або застосуванням додаткових елементів, які мають забезпечувати інтенсифікацію процесу руйнування жирових кульок [9,10].

Одним з можливих шляхів було названо дослідження та впровадження конструкцій, принцип дії яких засновано на створенні максимальної різниці швидкостей (або прискорень) між знежиреним молоком та вершками, як окремими фазами процесу диспергування [4]. До конструкцій такого типу належить пульсаційний гомогенізатор молока, в якому на молочну емульсію, що знаходиться в камері гомогенізації здійснюються інтенсивні впливи імпульсів, які виникають внаслідок зворотно-поступового руху робочих органів. Поршень-ударник, що закріплений на вертикальному штоці забезпечує зворотно-поступальний рух поршня вниз та вгору.

Знежирена фаза молока при руху поршню вниз або вгору має певну швидкість відносного руху, внаслідок чого вона захоплює жирові кульки, які рухаються в протилежному до руху знежиреного молока напрямку, що пояснюється дією сил інерції [11]. Такий механізм створює необхідні гідродинамічні передумови для руйнування часток жирової фази [12]. Проведені аналітичні дослідження, дані яких підтверджені пошуковими експериментами дозволяють стверджувати, що використання диспергатору імпульсного типу здатне забезпечити зменшення середнього діаметра жирових кульок до верхньої межі технологічно обумовлених значень (0,8 мкм) [10]. Питомі витрати енергії при дослідженнях лабораторного зразку гомогенізатора цього типу складають близько 1,5 кВт·год/т переробленого продукту [13]. Це свідчить про те, що при забезпеченні необхідної якості переробки молочної сировини, використання пульсаційних гомогенізаторів здатне забезпечити майже 6 кратне енергозбереження відносно конструкцій клапанного типу.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою даної статті є дослідження можливості подальшого зниження енергетичних витрат диспергування. Додатково досліджувалась можливість підвищення продуктивності пульсаційного гомогенізатора молока. Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- проводився аналіз конструктивного рішення, принципу роботи, переваг та недоліків прототипу та аналогу;
- здійснювалось обґрунтування конструктивного рішення пульсаційного гомогенізатора молока, в якому за рахунок збільшення кількості поршнів-ударників скорочується кратність обробки продукту, що дозволить прогнозовано досягти зниження енергетичних витрат процесу та забезпечити підвищення продуктивності пульсаційного гомогенізатора молока.

Основна частина. В якості аналогу розглядалась конструкція пульсаційного гомогенізатора молока, яка використовується для переробки рідких продуктів, зокрема в молокопереробній галузі. Основу цього диспергатора складає циліндр, в якому встановлюється поршень-ударник, що здійснює зворотно-поступові рухи за рахунок імпульсів від штоку [14]. Конструктивні особливості поршня, передбачають наявність в ньому наскрізних отворів, які мають форму дифузорів та основа яких критичним перерізом розташовується на глибині, що дорівнює половині товщини поршня-ударника. В верхній та нижній частинах циліндр обладнаний патрубками підведення сировини та відведення гомогенізованої емульсії. Також конструкцію оснащено насосом, який забезпечує нагнітання продукту з пульсацією, частота яких співпадає з частотою коливань поршня-ударника [14].



Сировина для обробки за допомогою насосу з пульсацією крізь патрубок подачі під тиском подається до циліндру. Проходячи крізь наскрізні отвори, що виконані в поршні-ударнику, емульсія прямує до нижньої частини циліндру. При певних значеннях частот пульсації насосу та коливань поршня-ударнику, що обумовлене імпульсами від штоку виникають резонансні коливання рідини, що в свою чергу призводить до ковання жирових кульок молока відносно молочної плазми, а відтак-до руйнування жирових кульок за рахунок створення максимальної різниці швидкостей фаз [14]. Готовий продукт у вигляді гомогенізованої емульсії відводиться крізь відповідний патрубок.

Результати аналітичних досліджень описаного диспергатора, підтверджені проведенням експериментальних досліджень, свідчать, що мінімально достатня для досягнення необхідної якості вихідного продукту кратність проходження продукту крізь наскрізні отвори в поршні-ударнику складає 12 разів [10,15]. Таким чином багатократна обробка продукту при здійсненні однієї операції технологічного процесу призводить до зниження продуктивності диспергатора, а використання одного поршня-ударника обумовлює підвищення енергетичних витрат диспергування [4,10].

В якості прототипу вдосконалення розглянемо гомогенізатор для рідких продуктів, який складається з циліндру, в якому передбачені патрубки підведення сировини та відведення готової продукції та встановлено поршень-ударник, який здійснює зворотно-поступальні рухи в вертикальному напрямку за рахунок імпульсних рухів штока. Характерною особливістю поршня-ударника, є наявність в ньому наскрізних отворів, виконаних у вигляді дифузорів з кутом конусності 45-55° та основа яких розташовується критичним перерізом на глибині, що дорівнює половині товщини поршня-ударника [16].

Молочна сировина, що піддається гомогенізації надходить до верхньої порожнини циліндру крізь патрубок подачі. В подальшому, прямуючи крізь отвори дифузорів та зазор між циліндром і поршнем-ударником, жирова фаза емульсії зазнає впливу швидкісних струменів емульсії, що утворюються в місцях виходу з наскрізних отворів дифузорів у поршні-ударнику. Максимальна швидкість струменів, яка забезпечує підвищення якості диспергування жирової фази забезпечується при виконанні дифузорів з кутом конусності 45-55° [16].

До недоліків наведеного пристрою належить низька продуктивність, що пояснюється наявністю в конструкції лише одного поршня-ударника. Крім того, виходячи з вимог технологічної документації та міжнародних стандартів, задля забезпечення не тільки високої дисперсності, а й необхідної рівномірності складу, емульсія має пройти крізь отвори в поршні-ударнику, щонайменше 12 разів, що

обумовлює підвищення енергетичних витрат диспергування при впровадженні даної корисної моделі [10,13].

Пропоноване вдосконалення розглянутих вище конструкцій полягає у встановленні до циліндру додаткових поршнів-ударників, що прогнозовано призведе до зниження енергетичних витрат диспергування та дозволить підвищити продуктивність пульсаційного гомогенізатора рідких продуктів [17,18]. Для вирішення поставленого завдання в циліндр, що складається з циліндру з патрубками підведення та відведення молока та встановлений на штоці поршень-ударник, який має наскрізні отвори відповідно до запропонованої корисної моделі додатково обладнується поршнями-ударниками в кількості 3...5.

Встановлення додаткових поршнів-ударників забезпечує підвищення рівномірності впливу робочих поверхонь отворів дифузорів в поршні-ударнику на емульсію, що в свою чергу обумовлює підвищення продуктивності пульсаційного гомогенізатора за рахунок скорочення кількості циклів обробки продукту протягом однієї технологічної операції [19]. Отримання прогнозованого ефекту підвищення продуктивності підтверджує аналітична залежність для пульсаційного гомогенізатора (1) [10,20]

$$Q = \frac{\pi D^2 S n N}{2 K}, \quad (1)$$

де Q- продуктивність гомогенізатора, м³/с;

D- діаметр поршня, м;

S- амплітуда коливань поршня, м;

n- частота коливання поршня с⁻¹;

N– кількість поршнів, шт.;

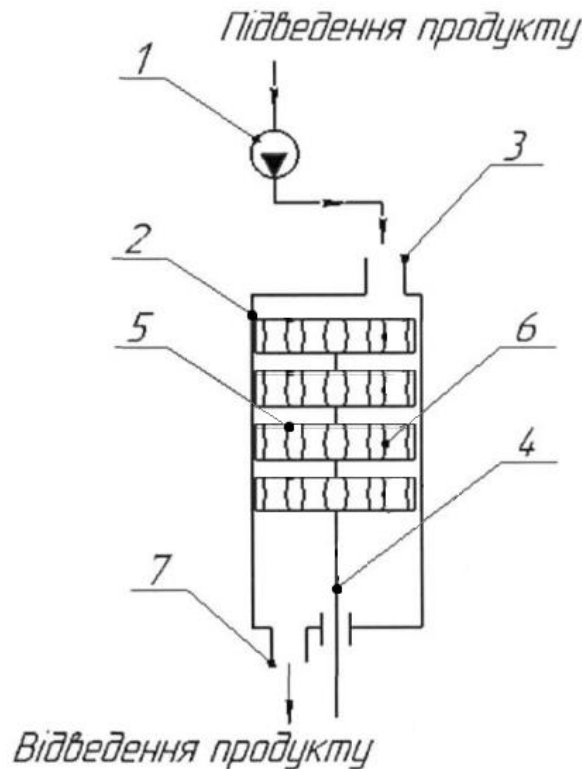
K-кратність обробки емульсії

Збільшення кількості поршнів-ударників призводить до підвищення потужності, що витрачається для роботи гомогенізатора. Результати проведених досліджень, наведені в [10] дозволяють стверджувати, що мінімальні значення енергетичних витрат диспергування досягаються при використанні конструкції, що містить 3...5 поршнів-ударників.

Запропонований пульсаційний гомогенізатор для рідких продуктів (рис.1) складається з насоса 1, що забезпечує подачу сировини, циліндру 2, патрубку підведення 3, штоку 4, поршнів-ударників 5 з наскрізними отворами 6 в формі дифузорів та патрубку відведення гомогенізованої емульсії 7.

При роботі пристрою насос 1 забезпечує подачу сировини через патрубків подачі 3 до верхньої частини циліндру 2. В подальшому емульсія через наскрізні отвори 6 у поршнях-ударниках 5 прямує до

нижньої порожнини циліндру. Зменшення середнього діаметру часток дисперсної фази відбувається в результаті коливань рідини, що обумовлюється імпульсним рухом штока 4, що здійснює зворотно-поступові переміщення в вертикальному напрямку. Гомогенізована емульсія відводиться крізь патрубок 7.



1–насос- для подачі сировини; 2–циліндр; 3–патрубок підведення сировини; 4–шток; 5–поршні-ударники; 6–наскрізні отвори; 7–патрубок відведення гомогенізованої емульсії

Рис. 1. Пульсаційний гомогенізатор для рідких продуктів

Молочні продукти, які переробляються з використанням пульсаційного гомогенізатора для рідких продуктів задовольняють вимогам споживачів, нормативних документів та міжнародних стандартів якості як за середнім діаметром жирових кульок так і за рівномірністю дисперсності продукту.

Висновки. Низька енергоефективність диспергування все ще залишається суттєвою проблемою для науковців та фахівців молокопереробної галузі. Тому з метою зниження енергетичних витрат процесу диспергування при одночасному забезпеченні високої якості за показниками середнього діаметра жирових кульок та рівномірності їх розподілу був проведений аналіз конструкцій пульсаційних гомогенізаторів для рідких продуктів.

Результати проведеного аналізу свідчать, що конструкції прототипу та аналогу характеризуються високими значеннями

енергетичних витрат, що пояснюється використанням одного поршня-ударника. Крім цього в розглянутих конструкціях досягається гомогенізація, як операція по зменшенню середнього діаметра жирових кульок, але для забезпечення рівномірності дисперсного складу продукту на рівні вимог нормативної документації та потенційних покупців, продукт має зазнавати багаторазового впливу в межах однієї операції технологічного процесу, що знижує продуктивність диспергаторів цього типу.

Запропоновано корисну модель, в якій рекомендовано встановити 3...5 поршнів-ударників. Рекомендована межа кількості поршнів обумовлена мінімізацією енергетичних витрат диспергування при отриманні продукту на рівні вимог технологічної документації. Збільшення кількості поршнів-ударників забезпечить підвищення продуктивності за рахунок зниження тривалості обробки продукту протягом однієї технологічної операції. Однак основним ефектом вдосконалення буде зниження енергетичних витрат на проведення диспергування, що пояснюється зниженням кратності обробки продукту, що досягається за рахунок більш інтенсивного впливу поршнів-ударників. Таким чином, впровадження запропонованого вдосконалення дозволить отримати продукт з високими показниками дисперсності та рівномірності розподілу за умови підвищення продуктивності та зниження енергетичних витрат диспергування.

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. Самойчук К. О. Розвиток наукових основ гідродинамічного диспергування молочних емульсій: автореф. дис ... док. техн. наук: 05.18.12. Харків, 2018. 44 с.
5. 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.
6. Нужин Е. В., Гладушняк А. К. Гомогенизация и гомогенизаторы: монография. Одесса: Печатный дом, 2007. 264 с.



7. Tartar L. The General Theory of Homogenization. *Lecture Notes*. 2009. P. 470.
8. Dhankhar P. Homogenization fundamentals. *IOSR Journal of Engineering*. 2014. Vol. 4(5). P. 1-8.
9. Vladislavljevic G., Al Nuumani 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. In: *Dairy Science and Technology*. Second Edn. Taylor & Francis Group, LLC. Boca Raton London New York. 2006. 279 p.
12. Ward K., Fan Z. H. Mixing in Microfluidic Devices and Enhancement Methods. *J. Micromech. Microeng.* 2015. Vol. 25(9). P. 94001–94017.
13. 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.
14. Пульсаційний гомогенізатор для рідких продуктів: пат. № 129459 Україна; МПК⁷ В 01 F 5/06. №u201806124; заявл. 01.06.2018; опубл. 25,10,2018. Бюл. №20.
15. Hakansson A., Fuchs L., Innings F., Revstedt J., Trdgardh 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>.
16. 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>.
17. Гомогенізатор для рідких продуктів: пат. № 121278 Україна; МПК В01F 5/06, В01F 7/00. № u201706676; заявл. 27.06.2017; опубл. 27.11.2017, бюл. № 22.
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. Samoichuk K., Kovalyov A., Fuchadzhly N., Hutsol T., Jurczyk M., Pająk T., Banaś M., Bezalychna O., Shevtsova A. Energy Costs Reduction for Dispersion Using a Jet-Slot Type Milk Homogenizer. *Energies*. 2023. Vol. 16. P. 2211.



20. Jiang B., Shi Y., Lin G., Kong D., Du J. Nanoemulsion prepared by homogenizer : The CFD model research. *Journal of Food Engineering*. 2019. Vol. 241. P. 105–115.

21. Morales J., Watts A., McConville J. Mechanical particle-size reduction techniques. *AAPS Adv. Pharm. Sci. Ser.* 2016. Vol. 22. P. 165–213.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024 р.

A. Kovalyov, K. Samoichuk, N. Palianychka
Dmytro Motornyi Tauria State Agrotechnological University

REDUCED ENERGY VITRATE DISPERSION IN PULSATION HOMOGENISER OF RARE PRODUCTS

Summary

The high share of energy costs in the balance of the cost of food processing in Ukraine forces scientists to look for ways to increase the energy efficiency of processing enterprises, in particular, the milk processing industry. Dispersion is one of the technologically mandatory, but at the same time, the most energy-consuming operations of the technological process. The percentage share of energy consumption for carrying out this operation alone is 25-40% in the total energy balance of processing dairy products.

The results of prospective studies indicate that it is possible to achieve a 6-fold reduction in energy costs for dispersion by developing and implementing structures that ensure the intensification of the impact on the product. One example of such a design is a group of pulsating homogenizers for processing liquid products. When they work, the product passes from the upper to the lower cavity of the cylinder, in which a piston-impactor is installed on the rod, due to which the reciprocating movement of the piston and the effect on the product of the jets formed in the area of the through holes of the piston are ensured. The article analyzes the designs of the analogue and prototype of the useful model. The obtained results allow us to state that the design features of the considered useful models cause high values of energy costs when a product is affected by one impactor piston and cause a decrease in productivity due to a large number of product processing cycles in one technological operation.

The proposed design solves the problems of high dispersion energy costs and low productivity by installing additional impact pistons, the number of which should be within 3...5. The proposed improvement will ensure the intensification of the effect of the working bodies of the homogenizer on the product, which will lead to a decrease in the energy costs of the dispersion process and ensure the production of a product with a uniform dispersion composition. Productivity will be increased by reducing the frequency of product processing in the homogenizer.

Key words: pulsating, multiplicity of processing, piston, amplitude, stem, milk, dispersion, cream.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-6

УДК 620.18

І. М. Рибалко¹, д.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-3663-019X

А. В. Захаров¹, асп.

ORCID: 0000-0001-9894-7355

О. В. Тіхонов¹, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-7209-8375

С. А. Князєв², к.т.н.

ORCID: 0000-0001-6422-3658

Г. О. Князєва², д.ф.

ORCID: 0000-0002-5290-7566

¹Державний біотехнологічний університет²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

e-mail: zakharovandrey1997@gmail.com, тел.: +380660838947

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИКО-МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОСТРУКТУРИ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

Анотація. В даній роботі було розглянуто методи узагальненого підсумовування і послідовностей кольорів на фотографіях структур. Показано, що ці методи тісно пов'язані з описом твердості структури та іншими її характеристиками. Ефективність запропонованого методу полягає в тому, що у величезній кількості фізичних процесів має місце ефект автоколивань. Автоколивання виникають тільки в процесах зі зворотним зв'язком. При цьому вони можуть бути як періодичними, так і не періодичними. Зворотний зв'язок - це коли на стан системи впливають не тільки зовнішні чинники (для структур це здебільшого теплові), а й початковий внутрішній стан системи, пов'язаний із розсіюванням енергії.

Ключові слова: моделювання, гістограми, оптико-математичний опис, мікроструктура, структуроутворення, матеріалознавство.

Постановка проблеми. Наплавлення є одним із найпоширеніших методів підвищення довговічності та зносостійкості робочих механізмів сільськогосподарської техніки. Відомо, що зносостійкість поверхні в умовах механічного зношування в основному визначається її структурою і фазовим складом. Кожен тип зносу має певну комбінацію структури та фазового складу для забезпечення максимальної зносостійкості поверхні.

Процес нанесення покриття має вирішальний вплив на структуру покриття та реалізацію зміни фази. Великі варіації хімічного складу наплавлених шарів залежать від співвідношення основного і наплавлювального матеріалів, високих температур нагріву в діапазоні швидкостей охолодження. Це призводить до різних структур і фазових станів у поверхневих шарах з одного і того ж матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературі запропоновано математичні моделі, що описують фазові перетворення у зварних з'єднаннях [1-13]. Ці моделі дають змогу прогнозувати структури без великих експериментальних досліджень. Ця методика дозволяє досліджувати отримані структури і виявити відсоток утворених фаз і в кожному конкретному випадку та аналізувати інші параметри.

Мета дослідження. Метою даної роботи є моделювання утворення структур за допомогою оптико-математичних описів їх змін при введенні модифікуючих домішок, з урахуванням автоколивань.

Основна частина. Запропоновано програму розрахунку узагальнених кольорів.

Програма заснована на залежності [11-14]:

$$s_{i+1} = s_i + u_i(c_i - s_i) \quad (1)$$

де c_i - колір точки на фотографії;

u_i - коефіцієнт підсумовування;

s_i - узагальнений колір попередньої точки;

s_{i+1} - узагальнений колір даної точки.

Наведена формула придатна не тільки для дійсних, а й для комплексних чисел і матриць. У програмі передбачено обмеження нижньої та верхньої меж кольорів. Ці обмеження відразу вносять нелінійність у перетворення кольорів (1), так звана рекурсивна формула підсумовування. У ній наступний стан залежить від попереднього. У певному сенсі Марковський процес, який може мати фізичний сенс. Відомо, що не всякий Марковський процес є автоколиванням [15].

Щоб формула (1) стала зрозумілішою, наводимо докладний розгляд від сканування структуроутворення по горизонталі на прикладі 3 послідовних точок i , $i+1$, $i+2$. Для скорочення опису назвемо ці точки 1, 2, 3. Припустимо $s_1 = c_1$. Тоді $s_2 = c_1 + u_1(c_2 - c_1)$. В цьому випадку формулу для $s_3 = s_2 + u_2(c_3 - s_2)$ замість s_2 потрібно підставити $c_1 + u_1(c_2 - c_1)$ тобто, залежність для s_3 перетвориться на $c_1 + u_1(c_2 - c_1) + u_2[c_3 - c_1 - u_1(c_2 - c_1)] = u_2c_3 + u_1(1 - u_2)c_2 + (1 - u_1)(1 - u_2)c_1$.

За будь-якого $n > 1$, згідно з (1), отримаємо:

$$p_n = u_n;$$

$$p_{n-1} = u_{n-1}(1 - u_n);$$

$$p_{n-2} = u_{n-2} \prod_{j=n-1}^n (1 - u_j);$$



$$p_{n-i+1} = u_{n-i+1} \prod_{j=n-i+2}^n (1 - u_j); \quad (2)$$

$$p_2 = u_1 \prod_{j=2}^n (1 - u_j);$$

$$p_1 = \prod_{j=1}^n (1 - u_j).$$

Тут

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1;$$

не залежить від u_j .

Можна записати у зворотному порядку

$$q_1 = u_1;$$

$$q_2 = u_2(1 - u_1);$$

$$q_i = u_i \prod_{j=i}^{i-1} (1 - u_j), \quad (3)$$

$$q_{n-1} = u_{n-1} \prod_{j=i}^{n-2} (1 - u_j);$$

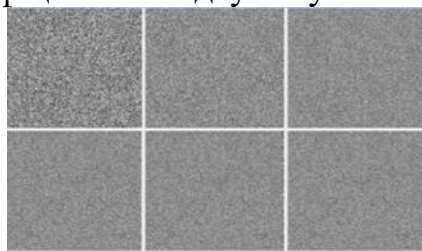
Більше того, якщо в якості u_j , наприклад, використовувати матрицю розміром n на n , то отримані матриці p_j визначатиме узагальнений метод підсумовування векторів розмірності n

Необхідно тільки дотримуватися правил множення послідовності матриць, або зліва, або справа. Якщо прийняти гіпотезу автоколивань, то потрібно за допомогою формули (1) спробувати змодельовати рисунок, схожий на реальну структуру досліджуваного матеріалу. Для цього беремо довільну структуру, що складається з випадкового набору кольорів і за допомогою підбору коефіцієнтів підсумовування отримуємо потрібний рисунок. Ці коефіцієнти в моделі відіграватимуть роль нелінійних перетворювачів безперервного зовнішнього впливу в переривчастий процес.

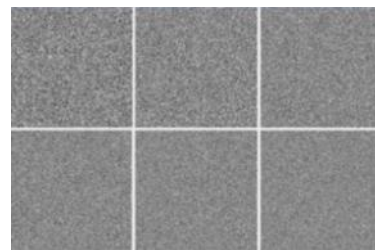
У цьому матеріалі представлено рисунки за двома програмами: vrek-43 і vrek-42 (див. рис 1).

На кожному рисунку за програмою vrek-43 один і той самий коефіцієнт підсумовування. Там стоять відповідні написи. Крім того, розрахунок повторювали кілька разів по 5 рисунків. Було зроблено багато циклів для кожного варіанта. Використовували випадки розгляду перетворення кольорів, коли використовували аналіз 5, 10 точок поспіль. Кілька разів розрахунок проводили для збіжності до граничної структури. На рисунках наведено результати останнього розрахунку.

Згідно з наступною програмою vrek-42, у якій чергування коефіцієнтів підсумовування на кожному рисунку йде спочатку по горизонталі, потім по вертикалі, отримали чіткіші структури. На рисунках 1 і 2 навіть проявилися натяки на зерна. При цьому розмір зерна чітко проявляються від збільшення числа послідовних точок у формулі (1). рисунки 2-4 вийшли вже без виявлення зерен. Для них характерна менша різниця між вертикальним і горизонтальним коефіцієнтом підсумовування.



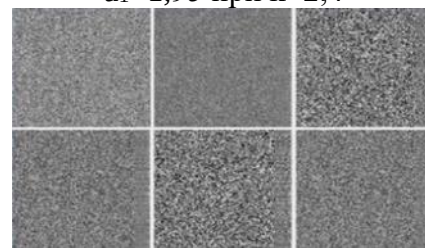
a
 $u_1=0,05$



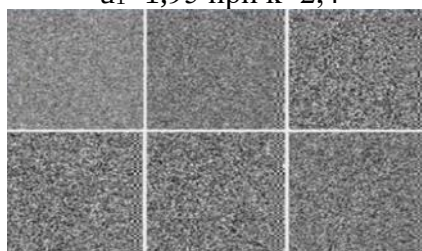
б
 $u_1=0,05$ при $k=1,35$
 $u_1=1,95$ при $k=2,4$



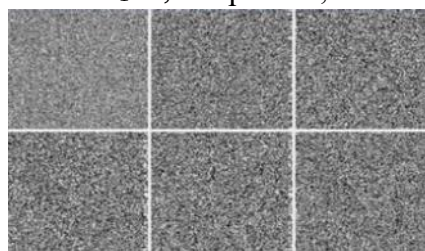
в
 $u_1=0,05$ при $k=1,35$
 $u_1=1,95$ при $k=2,4$



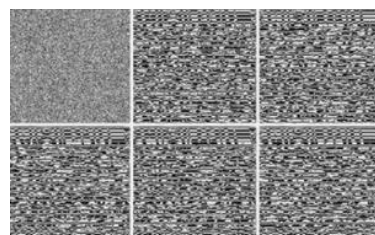
г
 $u_1=0,05$ при $k=1,35$
 $u_1=1,95$ при $k=2,4$



д
 $u_1=0,05$ при $k=1,5$
 $u_1=1,95$ при $k=2,4$
 $u_1=1$ при $k=3$



ж
 $u_1=0,05$ при $k=1,5$
 $u_1=1,95$ при $k=2,4$
 $u_1=1$ при $k=3$



з
 $u_1=5; u_g=0,05; u_v=1,95$

Рис. 1. Моделювання структур за різними програмами Vrek-43 і Vrek-42

Наведені й оцінені рисунки за програмою vrek-42 показано не тільки для отриманого вигляду структури, а й щоб перевірити, чи правильна їхня відповідність вихідній: 1-й рисунок майже такий, як 3-й, а 2-й майже такий, як 4-й. 1-й і 3-й отримані після підсумовування по горизонталі. 2-й і 4-й отримані після підсумовування по вертикалі. Є ще 0-й рисунок Він зроблений для горизонтального коефіцієнта підсумовування після 4-го разу розрахунків, тоді як інші після 5-го разу ітерацій.

Кожна точка фотографії виходить після розрахунку за формулою (1), наприклад, 9 наступних точок по горизонталі. Обходимо послідовно всі точки фотографії. Отримуємо новий масив кольорів. Потім для нового масиву кольорів кожна точка фотографії виходить після розрахунку за формулою (1), наприклад, 9 наступних точок по вертикалі. Обходимо послідовно всі точки фотографії. Отримуємо новий масив кольорів. Видаємо на екран перший із 5 рисунків. Потім проводимо обробку аналогічно 2-го, ..., 5-го рисунків. Потім знову проводили обробку 1-го, ..., 5-го рисунків. Рисунок у цьому разі буде мало схожий на вихідну випадкову структуру. Таких рисунків можна отримувати безліч разів.

На вибіркових рисунках наведено різні варіанти і періоди розрахунків, які відображають різну якість модельованих структур.

Розглянемо операцію підсумовування. Узагальненим середнім показником є $c(n)$, яка являється величиною [15]:

$$c(n) = \sum_{j=1}^n p_j c_j, \quad (4)$$

де c_j - послідовність кольорів на фотографії структури;

n - кількість розглянутих точок;

p_j - вагові множники, що обов'язково підкоряються заданій умові.

$$\sum_{j=1}^n p_j = 1 \quad (5)$$

Як правило вагові множники мають бути додатними.

Розберемо деякі приклади узагальнених сум. Найпростіший, коли:

$$p_j = \frac{1}{n}, \quad (6)$$

тобто, не залежить від j .

У цьому випадку узагальнена середня є просто арифметичною середньою. Наведемо ще 4 випадки, які будуть використані в їхніх



дослідженнях. У прикладах введено додатковий індекс від 1 до 4, що належить до ступеня числа k .

Позначимо:

$$P_{1j} = \sum_{k=1}^j k \quad (7)$$

$$P_1 = \sum_{j=1}^n P_{1j} \quad (8)$$

Тоді для виконання умови (2):

$$p_{1j} = \frac{P_{1j}}{P_1} \quad (9)$$

Зауважимо для подальшого, що в цьому прикладі за великих порядків величини $P_{1j} \in \frac{1}{j}$. Якщо j прагне до нескінченності, то сума цих величин має порядок $\ln j$, і теж прагне до нескінченності. Для послідовностей p_{1j} , що мають таку властивість, формула (4) називається регулярним методом підсумовування.

У роботі розглядалося ще три приклади, що мають написані вище властивості:

$$P_{2j} = \sum_{k=1}^j k^2 \quad (10)$$

$$P_2 = \sum_{j=1}^n P_{2j} \quad (11)$$

$$p_{2j} = \frac{P_{2j}}{P_2} \quad (12)$$

$$P_{3j} = \sum_{k=1}^j k^3 \quad (13)$$

$$P_3 = \sum_{j=1}^n P_{3j} \quad (14)$$

$$p_{3j} = \frac{P_{3j}}{P_3} \quad (15)$$

$$P_{4j} = \sum_{k=1}^j k^4 \quad (16)$$

$$P_4 = \sum_{j=1}^n P_{4j} \quad (17)$$

$$p_{4j} = \frac{P_{4j}}{P_4} \quad (18)$$

Використовуючи метод Вороного (його ще називають методом Нерлунда, або N-методом, або W-методом) маємо [16]:

$$c_v = \sum_{j=1}^n p_{n-j+1} c_j \quad (19)$$

На наведених на графіках рис. 2 чорний колір належить до вагових множників $p_{1j}, p_{2j}, p_{3j}, p_{4j}$. Червоний колір відноситься до графіків вагових множників, оцінених методами Вороного $p_{1,n-j+1}, p_{2,n-j+1}, p_{3,n-j+1}, p_{4,n-j+1}$. Графіки побудовано для $n=1000$. Позначення графіків здійснюється зверху вниз, зліва направо.

Згідно з формулою методу Вороного, це арифметичне середнє ϵ для 4 наведених вище прикладів. Одна й та сама послідовність кольорів не дає однакових узагальнених середніх у цьому випадку. Виняток становлять випадкові рівномірно розподілені послідовності кольорів. Для них незалежно від методу підсумовування узагальнений колір за більших n з точністю 0,1 дорівнює 128 з 256. Тобто, відповідає лише половині від 256.

Метод Вороного має властивість спільності: якщо збільшувати число точок до нескінченності і узагальнена сума має межу, то ця межа не залежить від послідовності: P_{n-j+1} .

Друга властивість методу Вороного полягає в такому. Якщо послідовність кольорів впливає з аналітичних (нескінченно диференційованих) функцій, то узагальнена сума методу Вороного має межу. Для фотографій структур остання властивість не має місця. Але проте використання методу Вороного (19) з його методом (4), що виходить з нього, дає можливість чисельного порівняння середніх між собою, що підвищує можливість оцінки залежності твердості від цих параметрів.



Рис. 2. Порівняння графіків побудованих за відомим методами та методом Вороного (Voron-13)



Крім 2 формул (4) і (19) розрахунку узагальнених середніх кольорів, є ще величезна кількість й інших чинників, що мають властивості, схожі на залежність (6), і з описом регулярності, хоча є сумніви, чи завжди він потрібен, особливо за невеликих значень n .

Як виявилось, питання про великі й малі n і регулярність становить значний інтерес. Його можна розв'язати тільки дослідним шляхом. Тому і в цьому випадку будемо шукати залежність твердості та зносостійкості від факторів, що належать до узагальнених середніх показників.

За більших n доводиться збільшувати кількість факторів за рахунок показників узагальнених середніх і пов'язаних із ними розкидів навколо середніх значень.

Результати досліджень. Розглянуті вище залежності припускають одновимірність послідовності точок зі своїми кольорами. Насправді ж на фотографії зображено точки на площині. Можна довести, що якщо повторно застосовувати один і той самий метод підсумовування, наприклад, (4) або (19), спочатку в горизонтальному, а потім у вертикальному напрямку, то отримаємо один і той самий результат. Але якщо підсумувати в горизонтальній площині за формулою (4), а потім отриману послідовність за формулою (19), то отримаємо інший результат. Аналогічно, якщо по горизонталі підсумувати за (19), а потім отриману послідовність за (1), то отримаємо третій результат. Якщо ж отриману послідовність підсумувати за (19), то отримаємо четвертий результат. Одночасно із середніми можна отримувати 4 показники значень розкиду відносно середніх. Разом, на кожен із 4 за (9), (12), (15), (18) методів підсумовування отримаємо $4 \times 4 = 16$ середніх і стільки ж відхилень від середнього.

Крім того, для методу середніх арифметичних (6) також підраховані й відхилення для кожної фотографії.

Ці результати показують, що підсумовування за великими n має фізичний сенс. Особливо слід відзначити аргументи під номерами 12 і 13, що стосуються арифметичних середніх і відхилення від них. Ці номери трапляються в переважній більшості в розрахунках з найбільшими і близькими до них коефіцієнтами кореляції. За малих n доводиться збільшувати число факторів за рахунок варіювання числа цього показника. У роботі воно змінювалося від 2 до 10 за одного й того самого методу підсумовування (9). Складність завдання за малих n полягає в тому, що різниці середніх за (4) і (19) для деяких структур малі. А за різницями методів (4) і (19) будуються гістограми, за якими розраховують середні показники і відхилення. Для коротких гістограм важко очікувати помітної кореляції.

Результати виконаних розрахунків та оптико-математичний опис структуроутворення наведено на рис. 3.

Розрахунок середніх і відхилень проводили в горизонтальному і вертикальному напрямках. Розглядали 9 гістограм по горизонталі, і 9 гістограм по вертикалі, які чергуються одна з одною. Разом, 18 гістограм.

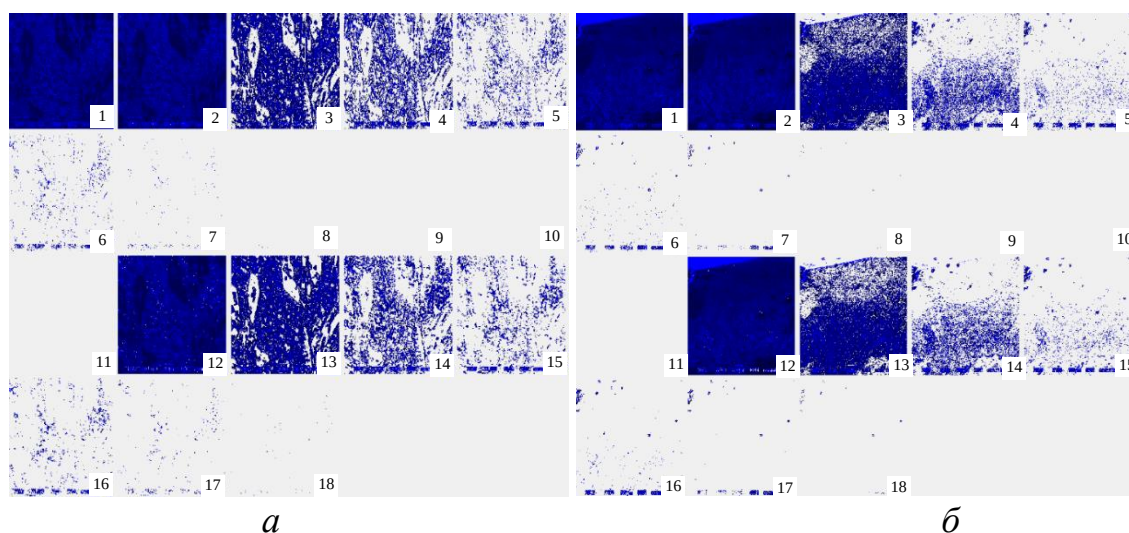


Рис. 3. Гістограми абсолютної величини різниць за $n=5$ між узагальненими середніми показниками з коефіцієнтами підсумовування (9) за методом (4) і (19); наплавлення електродом Т-620 з додатковим введенням бентонітової глини: а – середина наплавлення; б – поверхня

Із 18 гістограм отримуємо 36 чисел: 18 середніх і 18 відхилень. Це використано для визначення факторів за його номером, отриманим під час розрахунку кореляції. Розглянемо детальніше. Середні значення мають непарні номери. Відхилення - парні. Використовуємо перші 4 номери:

1. Середнє по горизонталі для 1-ї гістограми ($n=2$).
 2. Відхилення по горизонталі для 1-ї гістограми ($n=2$).
 3. Середнє по вертикалі для 2-ї гістограми ($n=2$).
 4. Відхилення по вертикалі для 2-ї гістограми ($n=2$).
- Для встановлення закономірності подання номерів:
5. Середнє по горизонталі для 3-ї гістограми ($n=3$).
 6. Відхилення по горизонталі для 3-ї гістограми ($n=3$).
 7. Середнє по вертикалі для 4-ї гістограми ($n=3$).
 8. Відхилення по вертикалі для 4-ї гістограми ($n=3$).

І так далі до 36.

Знаходимо опис фактору, написаний у результатах з кореляції. Для цього треба зробити розрахунок. Можна це зробити програмним шляхом. Такий розрахунок рекомендується проводити таким чином.



Нехай номер аргументу 15. Ділимо націло на 4. Отримуємо 3. Значить $n=3+2=5$. Номер гістограми для аргументу 12 дорівнює 6. Тоді номер гістограми, або 7, або 8. Уточнюємо, написавши:

13. Середнє по горизонталі для 7-ї гістограми ($n=5$).

14. Відхилення по горизонталі для 7-ї гістограми ($n=5$).

15. Середнє по вертикалі для 8-ї гістограми ($n=5$).

16. Відхилення по вертикалі для 8-ї гістограми ($n=5$).

Аргумент 15 це середнє по вертикалі для 8-ї гістограми ($n=5$);

15 – це середнє значення, тому що 15 – непарне число.

Якщо подивитися на коефіцієнт кореляції від кожного аргументу, то вони дуже малі порівняно з розрахунком за великих n . Але обрані комп'ютером сукупності з 4 чинників дають хоч і не дуже гарний, але помітний зв'язок із твердістю.

Надалі доведеться перевірити, що дасть, наприклад, метод (15), або інші для підвищення коефіцієнта кореляції.

А поки зроблено розрахунки кореляції з об'єднаним числом факторів: 34 за великих n і 36 за малих n (разом 70).

Попри те, що результати розрахунків свідчать про явну залежність твердості від узагальнених кольорів, отримали велику різницю в коефіцієнтах кореляції.

Рисунки ілюструють гістограми абсолютної величини різниць за $n=5$ між узагальненими середніми показниками з коефіцієнтами підсумовування (9) за методом (4) і (19). Різниця обчислювалася з точністю до 1, і вона не могла бути більшою за 15, бо розрахунок проводили для 16 кольорів. Насправді виявилось, що гістограма описуваних різниць не перевищувала 7.

Порівняльно наведено рисунки, які відображають вихідну структуру і являють собою гістограми різниць. При цьому на кожному рисунку відображено показники перших двох рядків за $n=5$, а третього і четвертого за $n=10$.

Нумерація рисунків зверху вниз, зліва направо. Рисунок 3 номер 1 – вихідна фотографія. Кольори у відтінках синього кольору. Тобто колір 0 – чорний, колір 255 – синій. Або в 16 кольорах: 1 – чорний, 16 – синій.

На решті рисунків на екран виводяться точки, в яких різниця між методом підсумовування (4) і (19) дорівнює, або 0 (рис. 3 позначення 2), або 1 (рис. 3 позначення 3), або 2 (рис. 3 позначення 4), або 3 (рис. 3 позначення 5), або 4 (рис. 3 позначення 6), або 5 (рис. 3 позначення 7), або 6 (рис. 3 позначення 8), або 7 (рис. 3 позначення 9). Відповідно для різниць за $n=10$, це якраз під рисунками різниць за $n=5$, будуть рис. 3 позначення 12-18. З наведених рисунків видно, що найбільше точок припадає на нульову різницю між методами (4) і (19).



Висновки. У проведених дослідженнях, формули (4) і (19) розглядали як перетворення одного кольору в інший. Але формула (5) від написаних перетворень вимагає пояснення. Виявилося, що (4) і (5), розглянуті спільно, є послідовним перетворенням одного кольору в інший, тобто, враховують попередні стани кольорів. Це не суперечить тому, що такі перетворення можуть бути пов'язані з автоколиваннями. Запропоновано програму розрахунку узагальнених кольорів.

Список використаних джерел

1. Hahn M., Wallmersperger T., Kroplin B.-H. Discrete element representation of discontinua: proof of concept and determination of material parameters. *Comp. Mat. Sci.* 2010. Vol. 50. P. 391-402.
2. Psakhie S. G., Shilko E. V., Smolin A. Yu. [et al.] Approach to simulation of deformation and fracture of hierarchically organized heterogeneous media, including contrast media. *Phys. Mesomech.* 2011, Vol. 14, no. 5-6. P. 224-248.
3. Zavsek S., Dimaki A. V., Dmitriev A. I., Shilko E. V., Pezdic J., Psakhie S. G. Hybrid Cellular Automata Metod. Application to Research on Mechanical Response of Contrast Media. *Phys. Mesomech.* 2013. Vol. 1. P. 42-51.
4. Psakhie S. G., Shilko E. V., Grigoriev A. S., Astafurov S. V., Dimaki A. V., Smolin A. Yu. A mathematical model of particle–particle interaction for discrete element-based modeling of deformation and fracture of heterogeneous elastic–plastic materials. *Engineering Fracture Mechanics*, 2014 (in press).
5. Psakhie S., Shilko E., Smolin A. [et al.] Development of a formalism of movable cellular automaton method for numerical modeling of fracture of heterogeneous elastic-plastic materials. *Fracture and Structural Integrity*. 2013. Vol. 24. P. 59-91.
6. Han Y., Cundall P. A. Lattice Boltzmann modeling of pore-scale fluid flow through idealized porous media. *Int. J. Numer. Meth. Fluids*. 2011. Vol. 67. P. 1720-1734.
7. Zhao G. F., Khalili N. A Lattice Spring Model for Coupled Fluid Flow and Deformation Problems in Geomechanics. *Rock Mech. and Rock Eng.* 2012. Vol. 45. P. 781-799.
8. Cook B. K., Noble D. R. A direct simulation method for particlefluid systems. *Eng. Comp.* 2011. Vol. 21, no. 2/3/4. P. 151-168.
9. Rieth M. Nano-engineering in science and technology: An Introduction to the World of Nano-Design. Singapore: World Scientific, 2003. 164 p.
10. Munjiza A. A., Knight E. E., Rougier E. Computational mechanics of discontinua. Chichester: Wiley, 2012. 276 p.



11. Рибалко І. М. Математичне моделювання структуроутворення при наплавленні відновлювальних покриттів з використанням модифікуючої домішки бентонітової глини. *Математичне моделювання*. 2021. № 1(44) С. 113–122. [https://doi.org/10.31319/2519-8106.1\(44\)2021.236032](https://doi.org/10.31319/2519-8106.1(44)2021.236032).
12. T. Skoblo, I. Rybalko, A. Saychuk, A. Tihonov. Improving The Quality and Durability of Restorative Coatings by Arc Deposition and Modification with Natural Additive Bentonite Clay. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2021. Vol. 9, No. 6. P. 643–650. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2021/06962021>.
13. Skoblo T. S., Klochko O. Yu., Belkin E. L., Sidashenko A. I., New Approaches in Study of Inhomogeneity of Heterogeneous Structures. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* 2018. Vol. 40, No. 2. P. 255–280. <https://doi.org/10.15407/mfint.40.02.0255>.
14. Романюк О. Н., Романюк О. В., Чехместрук Р. Ю. Комп'ютерна графіка: електронний навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2023. 147 с.
15. Погоруй А. О., Чемерис О. А. Вступ до теорії випадкових процесів : навч. посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2020. 70 с.
16. Klein Rolf, Concrete and Abstract Voronoi Diagrams. *Lecture Notes in Computer Science*. 1989. 169 p. <https://doi.org/10.1007/3-540-52055-4>.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024 р.

**M. Rybalko¹, A. V. Zakharov¹, O. V. Tikhonov¹,
S. A. Knyazev², G. O. Knyazeva²**

¹ State Biotechnological University

² National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

STUDY OF METHODS OF OPTICAL AND MATHEMATICAL MODELLING OF THE MICROSTRUCTURE OF METALS AND ALLOYS

Summary

In this paper, the methods of generalised summation and colour sequences on photographs of structures are considered. It is shown that these methods are closely related to the description of structure hardness and other characteristics. The effectiveness of the proposed method lies in the fact that in a huge number of physical processes the effect of self-oscillations takes place. Self-oscillations occur only in feedback processes. They can be both periodic and non-periodic. Feedback is when the state of a system is affected not only by external factors (for structures, these are mostly thermal), but also by the initial internal state of the system associated with energy dissipation. The main focus is on the study of methods for generalised summation and transformation of colour sequences in images of structures, which aims to describe important physical properties, such as material hardness and wear resistance.



The methods used in this work are closely related to the effects of self-oscillations, which are phenomena that occur in feedback processes. This approach allows us to consider the internal states of the system and the influence of external factors, such as temperature, on the structural changes of the material. The research has shown that self-oscillations can be both periodic and non-periodic, which is key in analysing the structure of metals and alloys.

One of the central parts of the work is the mathematical description of colour transformations, in particular, formulas (4), (5) and (19). It is demonstrated that the colour transformation is closely related to the previous states of colours, which corresponds to the nature of self-oscillations. The paper demonstrates how the previous states of the structure affect its further changes.

The proposed programme for calculating generalised colours is an important tool for further studies of the microstructure of materials. The use of such methods can greatly simplify and automate the analysis of materials, which is especially important for high-precision research in the fields of materials science and metallurgy.

Key words: modelling, histograms, optical and mathematical description, microstructure, structure formation, materials science.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-7

УДК 631.364:621.311.243

С. В. Коробка¹, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4717-509X

І. Г. Стукалець¹, к.т.н.

ORCID 0000-0001-7107-4865

М. І. Бабич¹, к.т.н.

ORCID 0000-0003-1295-4162

С. М. Баранович¹, к.т.н.

ORCID 0000-0001-8671-6517

О. Г. Скляр², к.т.н.

ORCID 0000-0002-0456-2479

Б. В. Болтянський², к.т.н.

ORCID 0000-0003-2072-4025

Р. В. Скляр², к.т.н.

ORCID 0000-0002-1547-5100

¹ Львівський національний університет природокористування² Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

e-mail: korobkasv@ukr.net, тел.: +380989699534

ВПРОВАДЖЕННЯ ГЕЛІОСУШАРОК ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВИСУШЕНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРОДУКТІВ

Анотація. У роботі детально представлено процес сушіння яблук у геліосушарці. Описано розробку нової конструкції сонячної сушильної установки, виготовленої з доступних матеріалів для сушіння сільськогосподарської продукції з ефективним використанням відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної, з урахуванням екологічних та економічних умов України. Розроблено нову конструкцію геліосушарки для сушіння сільськогосподарської сировини. У цій установці можна висушувати різні види сільськогосподарської продукції, використовуючи різні матеріали для покриття сушильної камери, такі як полікарбонат, скло, поліетилен, гофрований метал (для сушіння трав) тощо. Розроблено режими роботи геліосушарки з дзеркальним концентратором, тепловим акумулятором і додатковим осушувачем теплоносія, а також враховано циклічність процесу сушіння. Визначено кінетичні параметри вологовіддачі яблук, які відображають часові зміни кінетики їх сушіння.

Ключові слова: сонячна енергія, геліосушарка, температурно-вологісні поля, тепломасоперенесення, інтенсифікація, конвективне сушіння.

Постановка проблеми. Сьогодні організація технологічних процесів сушіння в малих об'ємах в умовах *фермерських та приватних господарствах* часто здійснюється за допомогою енергоємних сушильних установок, що використовують традиційні види енергії, а саме електроенергію. Збереження паливно-енергетичних ресурсів є пріоритетним завданням для будь-якої держави, особливо в умовах

© С. В. Коробка, І. Г. Стукалець, М. І. Бабич, С. М. Баранович, О. Г. Скляр,
Б. В. Болтянський, Р. В. Скляр, 2024



енергетичної кризи під час війни та нестабільного графіка електропостачання від НЕК «Укренерго» в окремих територіальних громадах. В багатьох сільськогосподарських регіонах України, зокрема для зони Західного Полісся (м. Корець, Рівненського району, Рівненської області) існують сприятливі умови для впровадження сушильних пристроїв на базі відновлюваних джерел енергії, що працюють від сонячної енергії. Тому, що використання сонячної енергії для сушіння фруктів є доцільним для географічної широти Рівненської області, де середньорічна потужність сонячного випромінювання становить приблизно $3,41 \text{ кВт}\cdot\text{год./м}^2$ протягом світлового дня, що дає змогу отримувати від 1,5 до 2,3 кВт·год. енергії з кожного квадратного метра площі повітряного колектора за добу. Крім цього, це особливо актуально, оскільки період дозрівання багатьох сільськогосподарських культур збігається з періодом інтенсивної сонячної радіації. Тому, використання сонячної енергії в поєднанні з іншими джерелами енергії може значно скоротити споживання паливно-енергетичних ресурсів. Отже, обґрунтування оптимального режиму роботи геліосушарки є важливим завданням, яке лежить в основі вдосконалення технології та обладнання для сушіння фруктів [1-3].

Аналіз останніх досліджень. Сушіння – це теплофізичний процес, що має на меті видалення вологи з продуктів при збереженні їхніх корисних властивостей, вітамінів, ароматичних й смакових якостей.

Сьогодні існує безліч автоматизованих установок для сушіння фруктів, які працюють при високих температурах [4]. Однак їх використання стає економічно не вигідним для невеликих обсягів обробки свіжих фруктів у приватних і фермерських господарствах через роботу установок на електричній енергії.

В працях [5,6] досліджували сушіння фруктів на відкритому повітрі, яке переважає у багатьох індивідуальних господарствах, відбувається під природним освітленням і потребує значних трудових затрат, що знижує його продуктивність. Крім того, в сезон дощів цей метод стає малоефективним.

У роботі [7] досліджено технологічні аспекти якісного сушіння фруктів, енергетичну і матеріаломісткість різних методів та технічних засобів, а також перспективи використання геліосушарок у цій технології. Зазначені методи сушіння мають такі недоліки: тривалий процес, значні витрати ручної праці та висока вартість висушених фруктів.

Цікавим є дослідження процесу сушіння фруктів конвективним методом, проведене автором роботи [8, 9], яке зосереджене на розробці



сушильної установки безперервної дії з примусовим дискретним переміщенням матеріалу під час сушіння.

Серед недоліків цієї установки можна виділити значне використання ручної праці та великі витрати тепла на обігрів конструктивних елементів сушильної камери.

Аналіз сучасних методів і засобів сушіння фруктів показав, що в особистих селянських і фермерських господарствах найпоширенішими є сушильні апарати камерного типу з конвективним підігрівом. Встановлено, що ці апарати не відповідають нормам енергоспоживання, мають низький термічний ККД та високу матеріаломісткість.

Ці результати дозволили визначити основні напрямки підвищення технологічної та енергетичної ефективності процесу сушіння за допомогою сонячної енергії. Відсутність на ринку аналогічних сушильних апаратів вказує на необхідність розробки конструкції геліосушарки з оптимальними технологічними параметрами, яка буде підходити для використання в особистих селянських і малих фермерських господарствах. Таким чином, ці міркування стали основою для вибору теми і роботи, а також її мети та завдань дослідження для даної статті.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою даного дослідження є підвищення ефективності технологічного процесу сушіння фруктів шляхом створення конструкції та обґрунтування режимів роботи геліосушарки, що сприятиме зменшенню витрат енергоресурсів.

Відповідно до поставленої мети необхідно було виконати такі завдання:

1. Дослідження та розробка нової конструкції сонячної сушильної установки з доступних матеріалів для сушіння сільськогосподарських продуктів;
2. Ефективне використання відновлюваних джерел енергії (сонячної енергії) з урахуванням екологічних та економічних характеристик України;
3. Виробництво сушених продуктів високої якості (без використання консервантів, барвників і ароматизаторів);
4. Сушіння сільськогосподарської продукції в геліосушарці та природне сушіння на відкритому повітрі з метою порівняння швидкості сушіння продуктів і якості висушеної продукції.

Основна частина. Основою для підвищення ефективності процесу сушіння фруктів рекомендується використовувати геліотермічні установки. Сьогодні існують багато різноманітних варіантів винаходів



колекторів сонячної енергії різної складності. Крім цього, накопичено значний досвід сушіння фруктів і овочів за допомогою сонячної енергії.

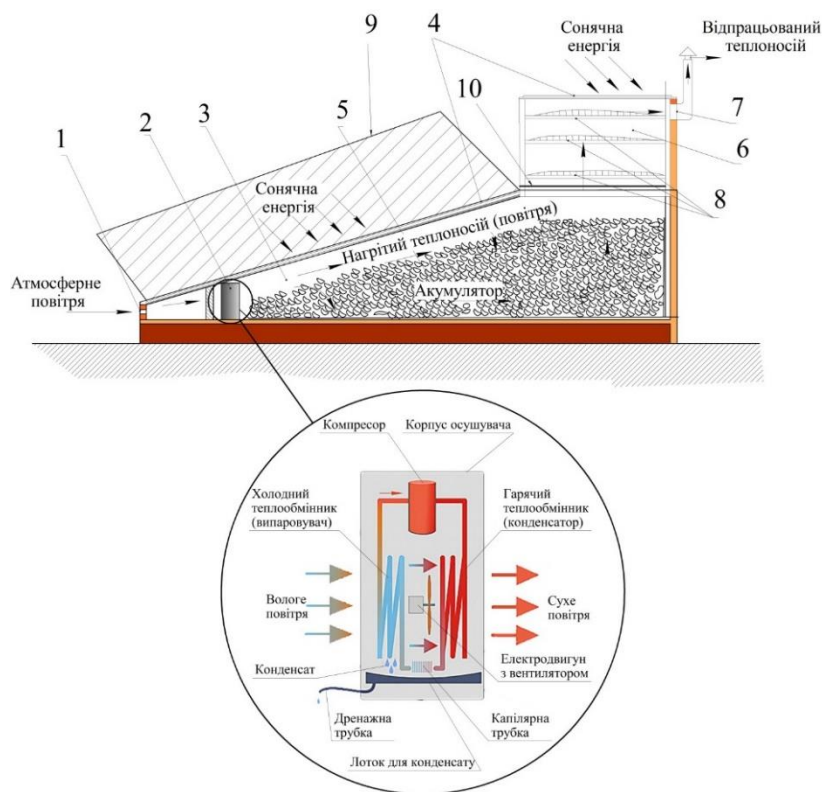
Однак існуючі технології збору сонячної енергії ще не є достатньо ефективними, а конструкції колекторів залишаються громіздкими, дорогими та з низьким ККД. Відомі дослідження конструкцій геліосушарок і питань сушіння сировини [4-6]. Для подальшого розвитку досліджень у цій галузі було розроблено та сконструйовано геліосушильну установку – конвективного типу, а також проведено випробування із різними покриттями (поліетилен, скло, полікарбонат тощо).

У верхній частині геліосушарки (рис. 1) встановлено витяжну трубу, яка підсилює конвекцію, тоді як у нижній частині передбачено отвір для подачі свіжого повітря. Робочий режим визначається розмірами вентиляційної труби, яка регулює інтенсивність повітрообміну. Різниця у висоті між нижнім повітряним входом і верхнім кінцем труби становить приблизно 1,2-1,5 м, що сприяє покращенню конвекції завдяки різниці температур і тисків. Корпус конвективної геліосушарки, а також нижня частина великогабаритної установки пофарбовані в чорний колір для підвищення теплового ефекту. Всередині камер встановлені піддони з сітчастими решітками для завантаження сушеної продукції. Сировина поміщається в сушарки, які розміщуються на сонці, і нагріте повітря, що циркулює всередині, забезпечує високу швидкість і якість сушіння.

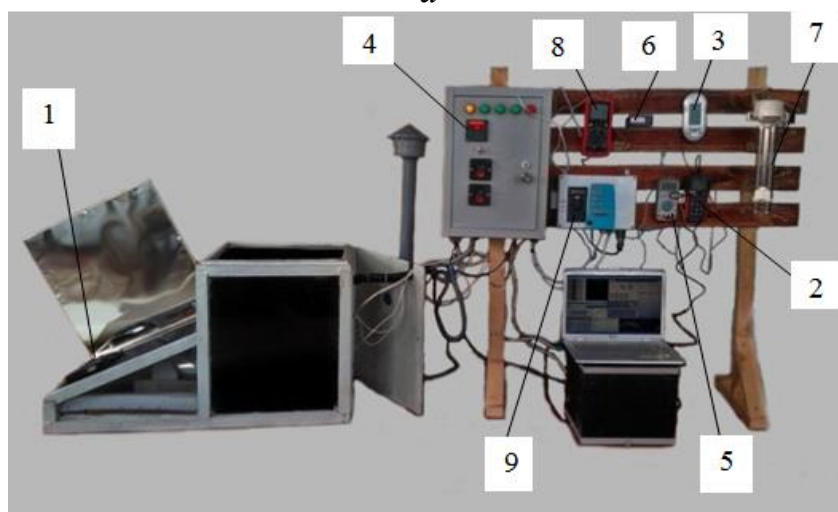
Сонячна енергія поглинається безпосередньо чорними стінками сушильної камери, де розміщується всередині висушуваний матеріал. Оскільки сушарка знизу має вентиляційний отвір з примусовою подачею теплоносія через волого осушувач та твердий акумулятор, а зверху з'єднана з вертикальною трубою, то всередині створюється повітряна тяга. Циркуляція повітря відбувається завдяки штучно циклічній природній тязі, що дозволяє випаруваній волозі виходити з теплоносієм в навколишнє середовище. Коли швидкість вітру на виході з труби збільшується, тиск у цій зоні знижується. Вищий тиск всередині корпусу фактично «виштовхує» повітря з сушарки в витяжний канал труби через заслінку.

Посилена конвекція повітря, поєднана з нагріванням, робить процес сушіння ефективним. Запропонована конструкція геліосушарки є комбінованою типу геліотермічної установки. У вітряну погоду, коли сушена продукція не може залишатися на відкритому повітрі через погіршення погодних умов сильний вітер або дощі її можна перемістити під навіс і в таких апаратах сушіння відбувається не менш інтенсивно, ніж у спеку, якщо повернути геліосушарку вхідним отвором у бік руху вітру то буде відбуватися висока швидкість сушіння [10-16].

5 з 17



a



б

1 – вхідний канал; 2 – волого осушувач теплоносія; 3 – повітропровід; 4 – повітряний колектор; 5 – тепло-акумуляуючий матеріал (ТАМ); 6 – сушильна камера; 7 – витяжний канал; 8 – решета; 9 – плоский дзеркальний концентратор; 10 – заслінка

Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема геліосушарки з тепловим акумулятором (*a*) та плоский дзеркальний концентратор і загальний вигляд дослідної установки (*б*):



Це пояснюється посиленням конвективного руху: вітер створює ефект вентилятора, як біля входу геліосушарки, так і на виході з витяжного каналу або навпаки за допомогою штучної циркуляції теплоносія через волого осушувач та твердий акумулятор.

Отже, розроблена геліосушарка вимагає проведення натурних випробувань, під час яких необхідно вибрати ефективні методи контролю енергетичних перетворень та масообмінних процесів, враховуючи змінність погодних умов і волого виділення висушуваного матеріалу.

Під час процесу сушіння параметри навколишнього середовища варіювалися в таких межах: температура повітря (T_{nc}) становила 16-30°C; відносна вологість повітря (φ_{nc}) коливалася від 26 до 86,8%; енергетична освітленість (E) змінювалася в межах 100-800 Вт/м². Теплотехнічні параметри теплоносія (повітря), що надходили в сушильну камеру, мали такі значення: температура теплоносія вдень (з 8:00 до 21:00) (T_{mn}) становила 20-60°C, а вночі (з 22:00 до 7:00) – 30-20°C; швидкість циркуляції теплоносія (v_{mn}) коливалася від 1 до 3 м/с; відносна вологість теплоносія (φ_{mn}) змінювалася в межах 9,8-86%. Теплопродуктивність повітряного колектора (Q) становила від 117 до 480 Вт при площі поглинальної поверхні (S_{nk}) 1,5 м². Температура акумулятора (T_{ma}) вдень (з 8:00 до 21:00) складала 30,5-45,6°C, а вночі (з 22:00 до 7:00) – 45,6-20,9°C.

Під час випробувань геліосушарки та дослідження процесу сушіння використовували яблука сорту «Семеренка», груші сорту «Столовка» і «Кюре», що мали початкову вологість $W_n = 70,3-85,2\%$. Плоди були нарізані кружечками товщиною 5-11 мм, а разове завантаження в геліосушарку становило $m_\phi = 5,5$ кг.

Для визначення вологості фруктів застосовують відносні величини – вологість та вологовміст, які розраховуються відносно довільної маси матеріалу, а не одиниці об'єму, як це має місце в газах.

Вологість матеріалу визначається, як відношення маси вологи (пари) в матеріалі, кг, до маси всього вологого матеріалу:

$$w = \frac{m_{\text{вол}}}{m}, \text{ кг/кг}; d = \frac{m_{\text{вол}}}{m}, \text{ г/кг}, \text{ або } W = \frac{m_{\text{вол}}}{m} \cdot 100\%, \%; \quad (1)$$

Вологовміст матеріалу визначається, як відношення маси вологи в матеріалі, кг, до маси сухого матеріалу:

$$u = \frac{m_{\text{вол}}}{m - m_{\text{вол}}} \text{ або } U = \frac{m_{\text{вол}}}{m - m_{\text{вол}}} \cdot 100\%, \text{ кг вол./кг с. реч.}, \quad (2)$$

З огляду на наведені співвідношення, зв'язок між вологістю та вологовмістом можна виразити наступними рівняннями:



$$w = \frac{u}{u+1} \text{ або } u = \frac{w}{1-w}, \text{ кг вол./кг с. реч.} \quad (3)$$

Рівноважною вологістю вважається така, що забезпечує рівність тисків насиченої пари на поверхні матеріалу та в атмосфері навколишнього повітря.

Початкова вологість всіх свіжо нарізаних яблук і груш становить $W_n=80,2\%$. Оскільки фрукти закладаються в сушарку після попереднього бланшування, початкова вологість при закладці в різних експериментах може варіюватися, але не перевищує 5%. Маса закладки визначалася як різниця між показниками зважування повних решіт G_n і порожніх G_0 : $m=G_n-G_0$. Зменшення маси продукту протягом першої години та наступних періодів оцінюється, як різниця вагових показників:

$$\left. \begin{aligned} \Delta m_1 &= G_n - G_1 \\ \Delta m_2 &= G_1 - G_2 \\ \Delta m_n &= G_{n-1} - G_n \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

На основі результатів поточного зважування зручніше обчислювати вологовміст, а не вологість, оскільки при порівнянні двох послідовних значень немає необхідності приводити їх до спільного знаменника. Наприклад, вологовміст у початковій вологості $W_n = 80,2\%$ ($w_0 = 0,802$):

$$u_0 = \frac{w_0}{1-w_0} = \frac{0,802}{1-0,802} = 4,051 \text{ кг вол./кг с. реч.}$$

Для закладки з початковою масою $m_0 = 5,5$ кг маса води $m_{\text{вол}}$ та маса сухої речовини (маса сухих фруктів) m_c відповідно становлять.

$$m_{\text{вол}} = w \cdot m_0 = 0,802 \cdot 5,5 = 4,411 \text{ кг}; \quad m_c = \frac{m_{\text{вол}}}{u} = \frac{4,411}{4,051} = 1,089 \text{ кг.}$$

Поточний вологовміст U розраховується за формулою:

$$U_1 = u_0 - \frac{G_0 - G_1}{m_c}, \text{ кг вол./кг с. реч.}, \quad (5)$$

де G_0 і G_1 – відповідно початкова і кінцева маса решіт з фруктами, кг.

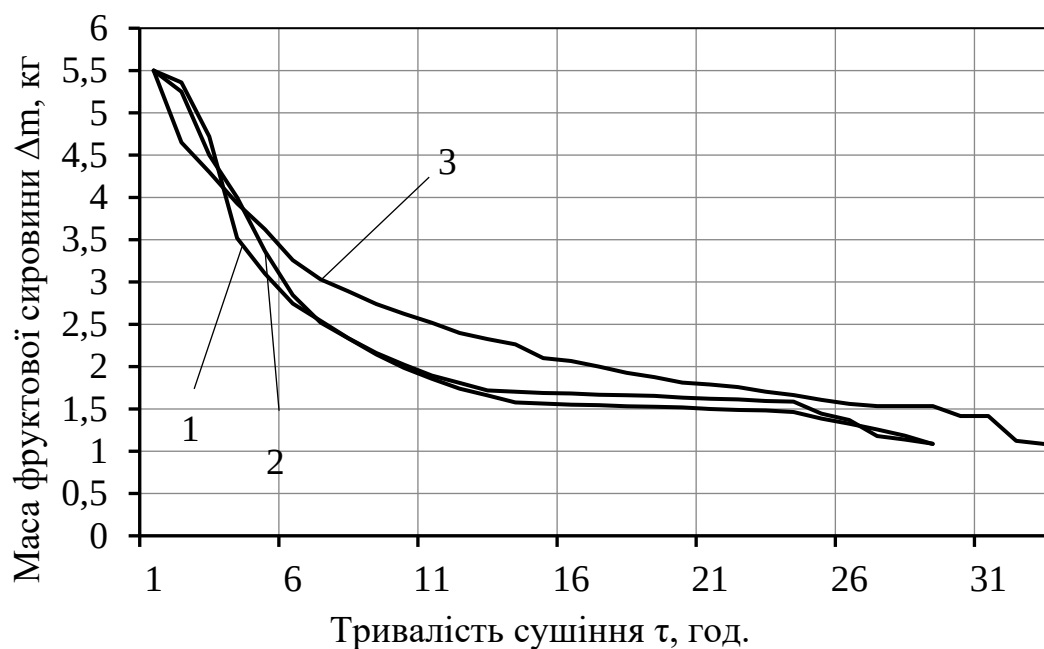
Проводимо сушіння яблук у геліосушарці та такої ж кількості яблук на відкритому повітрі. Зважуємо сировину кожні 2 години (з 10:00 до 20:00) та вимірюємо відносну вологість повітря, швидкість вітру, атмосферний тиск, а також температуру повітря в тіні і на сонці. Для наочності створюємо таблиці 1 і 2 та будуємо графік змін маси сировини щогодини, як для геліосушарки, так і для природного сушіння на сонці протягом дня. Результати експериментів наведені на рис. 2 і 3.



Таблиця 1

Дані для сушіння продукту яблука сорту «Семеренка» (1 день сушіння)

Година доби (год.)	Відносна вологість повітря (%)	Атмосферний тиск (кПа)	Швидкість вітру (км/год.)	Температура повітря в тіні (°C)	Температура повітря на сонці (°C)
10.00	64	102.1	4	19	25
12.00	50	102.1	7	21	26
14.00	24	102.0	9	24	27
16.00	44	101.8	10	23	27.5
18.00	44	101.8	7	25	25.2
20.00	44	101.8	7	24	24



1 і 2 – зміна маси сировини, що висушується в геліосушарці; 3 – зміна маси сировини, що висушується на відкритому повітрі

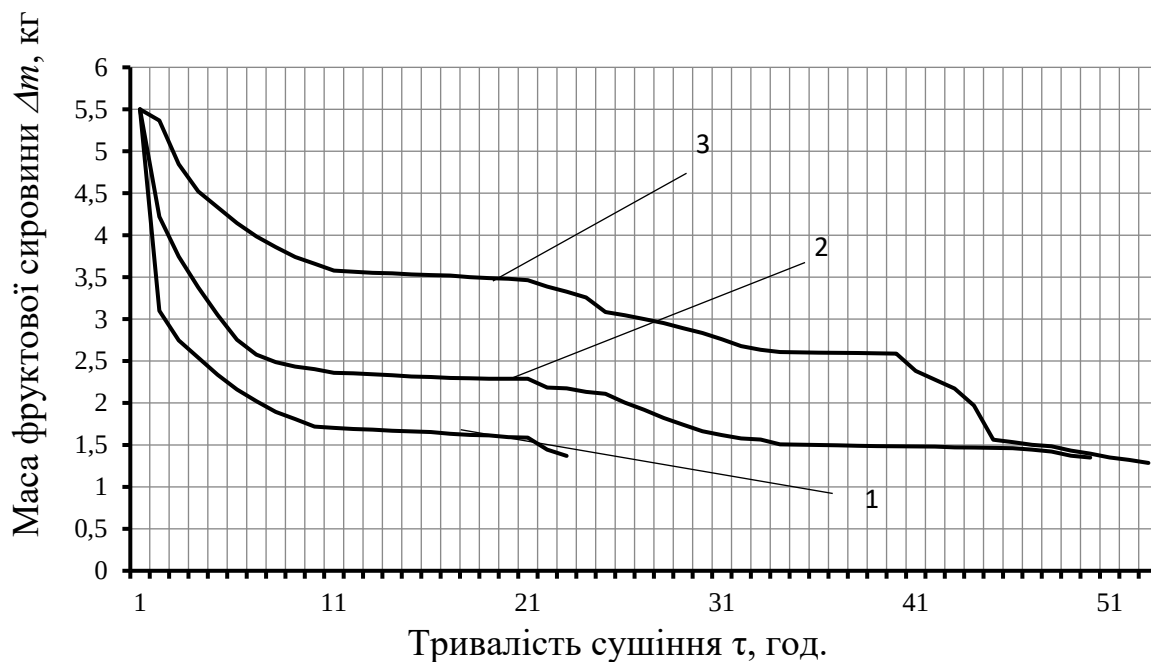
Рис. 2. Зміна маси сировини яблука сорту «Семеренка» протягом дня



Таблиця 2

Дані для сушіння продукту яблука сорту «Семеренка» (2 день сушіння)

Година доби (год.)	Відносна вологість повітря (%)	Атмосферний тиск (кПа)	Швидкість вітру (км/год.)	Температура повітря в тіні (°C)	Температура повітря на сонці (°C)	Примітка
10.00	67	101.8	4	19	24	Впродовж дня була мінлива хмарність
12.00	65	101.7	4	23	27	
14.00	62	101.7	4	26	29	
16.00	62	101.6	5	26	30	
18.00	60	101.0	5	19	24	
20.00	64	101.0	4	18	19	



1 і 2 – зміна маси сировини, що висушується в геліосушарці; 3 – зміна маси сировини, що висушується на відкритому повітрі

Рис. 3. Зміна маси сировини яблука сорту «Семеренка» протягом дня

Аналіз дослідних даних наведених у таблиці 3 та на рисунку 4.



Таблиця 3

Якісні показники висушених фруктів у геліосушарці

№ з/п	Спосіб сушіння	Вид матеріалу	Режим сушіння	Тривалість сушіння, год	Колір	Зовнішній вигляд	Смак	Оцінка за 5 бальною системою
1	Атмосферний спосіб сушіння	Семеренка. Початкова вологість 72,7%	Температура повітря 20 – 31,5°C	87	Світлий з коричневим відтінком	Розсипчаста маса фруктів	Приємний, солодкий	4,8
2	ГС без ТА	Семеренка. Початкова вологість 76,3%	Температура повітря 20 – 50°C	27	Світлий з коричневим відтінком	Розсипчаста маса фруктів	Приємний, солодкий	4,2
3	ГС без ТА	Столовка. Початкова вологість 77,1%	Температура повітря 20 – 50°C	27	Світлий з коричневим відтінком	Розсипчаста маса фруктів	Приємний, солодкий	4,5
4	ГС з ТА	Кюре. Початкова вологість 72,4%	Температура повітря 20 – 50°C	53	Світлий з коричневим відтінком	Розсипчаста маса фруктів	Приємний, солодкий	4,7
5	ГС з ТА	Кюре. Початкова вологість 72,9%	Температура повітря 20 – 50°C	51	Світлий з коричневим відтінком	Розсипчаста маса фруктів	Приємний, солодкий	4,8
6	ГС з ТА	Семеренка. Початкова вологість 74,5%	Температура повітря 20 – 50°C	27	Світлий з коричневим відтінком	Розсипчаста маса фруктів	Приємний, солодкий	4,7
7	ГС з ТА	Семеренка. Початкова вологість 76,3%	Температура повітря 20 – 63°C	33	Світлий з коричневим відтінком	Розсипчаста маса фруктів	Приємний, солодко-кислий	4,6



Яблука бланшовані у
соляному розчині
дольки 5 мм



Яблука бланшовані у
цукровому розчині
дольки 6 мм



Яблука без обробки
дольки 7 мм

Рис. 4. Зовнішній вигляд фруктів висушених у геліосушарці

Стандартні режими сушіння фруктів в геліосушарці регламентуються параметри сушильного агенту, що змінюється в процесі сушіння, та залежать від вологості сировини. Всі стандартні режими забезпечують бездефектне сушіння фруктів. Основними параметрами сушильного агенту, що характеризують режим сушіння, є, температура сушильного агенту T , ступінь насичення φ (відносна вологість повітря) і психрометрична різниця E .

Відносна вологість визначається відношенням парціального тиску пари p_n до тиску насичення p_n при даній температурі:

$$\varphi = \frac{p_n}{p_n}, \%; \quad (6)$$

де p_n – парціальний тиск пари, Па;



p_n – тиск повітря насичений вологою, Па.

Психометрична різниця визначається з виразу:

$$E = T - T_M, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (7)$$

де T – температура сушильного агенту, $^\circ\text{C}$;

T_M – температура змоченого термометра, психрометра $^\circ\text{C}$.

По температурному рівню режими діляться на чотири категорії: м'які М, нормальні Н, форсовані Ф і високотемпературні. Перші три категорії режимів (М, Н, Ф) відносяться до режимів низькотемпературного процесу. Як сушильний агент цієї групи режимів використовується вологе повітря або газоповітряну суміш температурою не вище $100\text{ }^\circ\text{C}$. Більш висока температура допускається лише в окремих випадках на останній стадії процесу. Високотемпературні режими, або режими високотемпературного процесу, передбачають сушіння нагрітим повітрям при температурі – 100°C . Категорія режиму вибирається залежно від висушуваної продукції. При цьому слід враховувати характер дії температури на властивості сировини.

Під час сушіння м'якими режимами повністю зберігаються природні фізико-хімічні властивості сировини, зокрема поживні і цінні речовини (білки, вуглеводи, вітаміни).

Нормальні режими забезпечують збереження цінності сировини та можливість незначної зміни кольору. При сушінні форсованими режимами зменшується час сушіння сировини і 15-20% втрачаються вітаміни А і В₁. Аналогічно діє на сировину і високотемпературний режим сушіння.

У геліосушарках застосовують режими низькотемпературного процесу сушіння сировини. Для пароповітряних камер можна використовувати режими всіх категорій, а в камерах, що діють на перегріте повітря – тільки високотемпературні.

Режими низькотемпературного процесу сушіння наведені в таблиці 4, яка містить 44 режими, позначених по рівню температури порядковими номерами від 1 до 10 і по рівню ступеня насичення – буквеними індексами від А до Д. Параметри сушильного агента (повітря) вданій таблиці, характеризують його стан, при вході на нерухомий шар сировини.



Таблиця 4

Режими низькотемпературного процесу сушіння фруктів геліосушарці

Індекс режиму	Волога сировини, %	Номер режиму і параметри (t, E, φ) сушильного агенту																													
		1			2			3			4			5			6			7			8			9			10		
		t	E	φ	t	E	φ	t	E	φ	t	E	φ	t	E	φ	t	E	φ	t	E	φ	t	E	φ	t	E	φ	t	E	φ
	>80	90	4	0,85	82	3	0,88	75	3	0,87	69	3	0,87	63	2	0,91	57	2	0,90	52	2	0,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-
А	80—60	95	7	0,76	87	6	0,78	80	6	0,77	73	6	0,76	67	5	0,78	61	5	0,78	55	4	0,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60 - 20	120	32	0,32	108	27	0,35	100	26	0,35	91	24	0,36	83	22	0,36	77	21	0,36	70	20	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20 - 3	90	5	0,81	82	4	0,84	75	4	0,84	69	4	0,83	63	3	0,86	57	3	0,85	52	3	0,84	47	2	0,90	42	2	0,89	38	2	0,88
Б	>80	95	9	0,70	87	8	0,72	80	8	0,70	73	7	0,72	67	6	0,75	60	6	0,74	55	5	0,76	50	5	0,75	45	4	0,79	41	4	0,77
	80—30	120	34	0,29	108	29	0,32	100	29	0,32	91	25	0,34	83	23	0,34	77	22	0,34	70	21	0,35	62	18	0,36	57	17	0,36	52	16	0,36
	30 - 3	90	7	0,75	82	6	0,77	75	5	0,80	69	5	0,79	63	4	0,82	57	4	0,81	52	4	0,80	47	3	0,84	42	3	0,83	38	3	0,82
В	>80	95	11	0,65	87	10	0,66	80	9	0,66	73	8	0,69	67	7	0,71	60	7	0,70	55	7	0,68	50	6	0,70	45	5	0,74	41	5	0,77
	80—30	120	36	0,26	108	31	0,30	100	29	0,30	91	26	0,33	83	24	0,32	77	23	0,32	70	22	0,31	62	19	0,33	57	18	0,34	52	17	0,30
	30 - 3	90	9	0,69	82	8	0,71	75	7	0,73	69	6	0,76	63	5	0,78	57	5	0,76	52	5	0,75	47	4	0,79	42	4	0,77	38	4	0,76
Г	>80	95	13	0,60	87	12	0,60	80	11	0,61	73	10	0,63	67	9	0,64	60	9	0,62	55	8	0,64	50	7	0,66	45	6	0,69	41	6	0,67
	80—50	120	37	0,25	108	33	0,27	100	31	0,27	91	28	0,30	83	25	0,30	77	25	0,29	70	23	0,29	62	20	0,31	57	19	0,31	52	18	0,30
	30 - 3	90	1.1	0,63	82	10	0,65	75	9	0,66	69	8	0,68	63	7	0,70	57	6	0,72	52	6	0,71	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Д	>80	95	15	0,54	87	14	0,55	80	13	0,55	73	12	0,56	67	11	0,58	60	10	0,59	55	9	0,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	80—5	120	38	0,24	108	35	0,24	100	33	0,25	91	30	0,26	83	27	0,28	77	26	0,27	70	24	0,27	—	—	—	—	—	—	—	—	—



Висновки. Розроблено нову конструкцію геліосушарки для сушіння сільськогосподарської сировини. У цій установці можна висушувати різні види сільськогосподарської продукції, використовуючи різні матеріали для покриття сушильної камери, такі як полікарбонат, скло, поліетилен, гофрований метал (для сушіння трав) тощо. У результаті експериментів, під час яких було висушено понад 20 видів сільськогосподарської продукції, встановлено, що підвищена температура повітря в геліосушарці значно скорочує час сушіння, прискорюючи процес у 2,5-4,5 рази порівняно з традиційним сушінням на сонці.

Відомо, що втрати вітамінів обернено пропорційні тривалості сушіння. У цій статті представлені результати сушіння яблук, які демонструють, що тривалість сушіння яблук у геліосушарці в 3,4 рази менша, ніж при сушінні на свіжому повітрі. Продукти, висушені в геліосушарці, мають такі переваги:

1. покращені смакові властивості;
2. збережений вітамінний склад (підтверджено лабораторними аналізами);

Таблиця 5

Результати хімічного аналізу фруктової сировини до сушіння

Плоди	Вітамін С, мг/%	Цукристість, %	Кислотність, %	Сухі речовини, %	Нітрати, мг/100 г
Груші	10,2	17,236	0,53	14,50	13,980
Яблука	9,6	16,9	0,56	13,23	14,289

Таблиця 6

Результати хімічного аналізу фруктової сировини після сушіння

Плоди	Вітамін С, мг/%	Цукристість, %	Кислотність, %	Сухі речовини, %	Нітрати, мг/100 г
Груші	5,2	59,36	0,29	87,5	83,6
Яблука	4,3	57,8	0,46	85,9	85,7

3. триваліший термін зберігання без потреби у додаванні ароматизаторів і консервантів, а також без необхідності бланшування (оскільки під час бланшування через високі температури руйнується частина вітамінів).

Запропонована геліосушарка має кілька переваг у порівнянні з іншими відомими конструкціями:

- проста у виготовленні, її легко виготовити та відремонтувати з використанням доступних місцевих матеріалів;
- зручна в експлуатації;
- відносно недорога порівняно з іншими типами сонячних сушарок;



- високоефективна;
- економічна у використанні;
- забезпечує збереження якісних характеристик висушеної продукції.

Процес сушіння в геліосушарці забезпечує стерильність продукції. Під час сушіння сільськогосподарської продукції сировина залишається в апараті на кілька годин або діб, залежно від типу продукту, без необхідності:

- контролювати процес сушіння (немає потреби перевертати продукт);
- стежити за чистотою сировини, оскільки геліосушарка закрита, і продукт захищений від забруднення пилом, дощових опадів, дії роси, а також від птахів і комах, які в разі потрапляння в сушарку гинуть через високу температуру;
- враховувати погодні умови, оскільки сушіння триває навіть у дощ чи вітряну погоду, коли продукцію, що сушиться на відкритому повітрі, зазвичай доводиться переміщати в закриті приміщення.

Геліосушарку можна розмістити на будь-якому майданчику, орієнтованому на південь, щоб максимально використовувати сонячну енергію. Чим вища температура повітря, тим більше різниця температур між повітрям у геліосушарці та навколишнім середовищем. Конвективна геліосушарка є легкою та зручною для транспортування і її можна переміщувати або повертати за напрямком сонця протягом дня. Великогабаритний варіант геліосушарки переважно призначений для селянських господарств. Проста у виготовленні, ця сушарка може знайти застосування, як у фермерських так і в приватних господарствах.

Список використаних джерел

1. Озарків І. М., Кобринович М. С., Копинець З. П. Особливості перенесення вологи в процесі сушіння фруктів. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету*. 2007. Вип. 17.4. С. 124 – 125.
2. Pathare, P. B. Effective moisture diffusivity of onion slices undergoing infrared convective drying. *Biosystems Engineering*. 2006. N. 93 P. 285 – 291.
3. Goyal, R. K. Kingsly A. R. P., Manikantan M. R., Ilyas S. M. Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. *Journal of Food Engineering*. 2007. N. 79 P. 176 – 180.
4. Garau, M. C. Drying of orange skin: drying kinetics modeling and functional properties. *Journal of Food Engineering*. 2006. N. 75 P. 288 – 295.



5. Menges, H. O. Thin layer drying model for treated and untreated Stanley plums. *Energy Conversion and Management*. 2006. N. 47 P. 2337 – 2348.
6. Скляр Р. В. Доцільність використання економіко-математичних моделей в сільському господарстві. *Інноваційні технології в АПК: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції*. Луцьк: Луцький НТУ. 2021. С. 122–124.
7. Скляр О. Г., Скляр Р. В., Григоренко С. М. Методика моделювання та оптимізації структури посівних площ. *Науковий вісник ТДАТУ*. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 13, том 1. №7. DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-7.
8. Midilli, A., Kucnk H. Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. *Energy Conversion and Management*. 2003. N. 44(7) P. 1111 – 1122.
9. Wang, Z. J. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Journal of Food Engineering*. 2006. N. 40. P. 39 – 46.
10. Геліосушарка з тепловим акумулятором: пат. 97139 U Україна: МПК A23L3/00 / Коробка С. В.; заявник та патентовласник Коробка С. В. № UA 97139 U ; заявл. 26.12.2014; опубл. 25.02.2016, Бюл. № 4. – 3 с.
11. Korobka, S., Babych M. Substation of the constructive–technological parameters of a solar fruit dryer. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. N. 1/8 (85). P. 13 – 19.
12. Korobka, S., Syrotyuk, S., Zhuravel, D., Boltianskyi, B., Boltianska, L. Solar dryer with integrated energy Unit. *Problems of the Regional Energetics*, 2021, (2). 60–75.
13. Syrotyuk S., Boyarchuk V., Syrotyuk V., Korobka S., Syrotyuk H., Boltianskyi B. Peculiarities of modeling heat pumps in the labview environment. *Інформаційні технології в енергетиці та агропромисловому комплексі: матеріали XI Міжнар. наук. конференції (Львів, 04–06 жовтня 2022 р.)* / ЛНУП: За заг. ред. В. В. Снітинського. Львів: ЛНУП, 2022. С. 16–18.
14. Дереза О.О., Болтянський Б.В., Дереза С.В. Використання VR-технологій в наукових дослідженнях. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ*; гол. ред. д.т.н., проф. В.М. Кюрчев. Мелітополь. ТДАТУ, 2022. Вип. 12. том 2. DOI: 10.31388/2220-8674-2022-2-28.
15. Болтянська Л.О., Болтянський Б.В. Альтернативні напрями енергозбереження в домогосподарствах населення. *XII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Ефективність функціонування сільськогосподарських підприємств». Проблематика*



2023: «Функціонування сільськогосподарських підприємств на засадах циркулярної економіки»: матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет-конференції. ЛНУП, Дубляни, 6-7 червня 2023 р. За ред. проф. Г.В. Черевка. Львів: Галицька видавнича спілка. 2023. С. 26-30.

16. Болтянський Б.В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник / Б. В. Болтянський та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024 р.

**S. Korobka¹, I. Stukalets¹, M. Babych¹, S. Baranovych¹,
O. Skliar², B. Boltianskyi², R. Skliar²**

¹ Lviv National Environmental University

² Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

IMPLEMENTATION OF SOLAR DRYERS FOR THE PRODUCTION OF DRIED AGRICULTURAL PRODUCTS

Summary

The paper presents in detail the process of drying apples in a solar dryer. The development of a new design of a solar drying plant made of available materials for drying agricultural products with efficient use of renewable energy sources, in particular solar energy, taking into account the ecological and economic conditions of Ukraine, is described. A new solar dryer design for drying agricultural raw materials has been developed. In this plant, different types of agricultural products can be dried using different materials to cover the drying chamber, such as polycarbonate, glass, polyethylene, corrugated metal (for drying herbs), etc. The modes of operation of the solar dryer with a mirror concentrator, a heat accumulator and an additional coolant dryer have been developed, and the cyclic nature of the drying process has also been taken into account. The kinetic parameters of the moisture release of apples were determined, which reflect the temporal changes in the kinetics of their drying.

As a result of conducting experiments during which more than 20 types of agricultural products were dried, it was established that the increased air temperature in the solar dryer significantly reduces the drying time, speeding up the process by 2.5-4.5 times compared to traditional drying in the sun.

It is known that the loss of vitamins is inversely proportional to the duration of drying. This article presents the results of drying apples, which demonstrate that the duration of drying apples in a solar dryer is 3.4 times less than when drying in the fresh air.

The solar dryer can be placed on any south-facing site to make the most of solar energy. The higher the air temperature, the greater the temperature difference between the air in the solar dryer and the surrounding environment. The convective solar dryer is light and easy to transport and can be moved or rotated in the direction of the sun during the day. The large-sized version of the solar dryer is mainly intended for peasant farms. Easy to manufacture, this dryer can be used both in farms and in private households.

Key words: solar energy, solar dryer, temperature and humidity fields, heat and mass transfer, intensification, convective drying



ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-8**УДК 663.252**

О. І. Мамай, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-2591-8059

М. І. Валько, д.т.н., проф.

ORCID: 0009-0001-2089-2005

Т. О. Яковенко, ст. викл.,

ORCID: 0000-0002-1616-8997

К. В. Зубкова, к.т.н., доц.,

ORCID: 0000-0002-8672-0855

О. В. Стоянова, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-7266-6245

Херсонський національний технічний університет

e-mail: kntuxt@gmail.com, тел.: +380952021066

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЕКСТРАКЦІЇ ФЕНОЛЬНИХ
РЕЧОВИН ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ДЕСЕРТНИХ
ВИНОМАТЕРІАЛІВ**

Анотація. Досліджено доцільність використання технічних сортів винограду Бастардо Магарачський, Каберне-Совінйон, Одеський чорний і Сапераві, що культивуються в умовах Херсонської області для виготовлення червоних десертних виноматеріалів спеціального типу. Розглянуто вплив технологічних процесів переробки запропонованих сортів винограду на інтенсифікацію процесів екстракції фенольних речовин та якості виготовленої продукції.

Проведено дослідження хімічного складу і фенольного комплексу винограду і отриманих з нього десертних виноматеріалів, залежно від технології виробництва. Використання запропонованого способу теплової витримки дає можливість сформувати органолептичні властивості, що відповідають десертним винам спеціального типу.

Ключові слова: сорти винограду Бастардо Магарачський, Каберне-Совінйон, Одеський чорний, Сапераві, червоні кріплені десертні виноматеріали спеціального типу, барвні речовини, підброджування на м'яззі, термовинифікація.

Постановка проблеми. Виноградні вина користуються стабільною популярністю у світі, що обумовлює досить високий рівень їх виробництва. На споживчому ринку десертні вина займають особливу нішу, оскільки мають попит серед поціновувачів вишуканих вискоекстрактивних вин.

Український ринок вина представлений як вітчизняними виробниками, так і імпортною продукцією. Проте значну частину українського ринку займають не завжди якісні вина з ЄС. Імпортери користуються тим, що в нашій державі виділяється недостатньо коштів на забезпечення контролю якості виноробної продукції, що імпортується. Складно повірити, але ті самі іноземці, мешканці



виноробних європейських країн, перебуваючи в Україні, завжди надають перевагу виноробній продукції, виготовленій з місцевого винограду [1].

Сучасні тенденції розвитку вітчизняного виноробства ґрунтуються на виробництві високоякісної продукції, вирішальним фактором якої є її конкурентоспроможність. Тож у нас є всі підстави для того, щоб підвищити авторитет України на міжнародній арені та просувати якісний національний продукт як на внутрішньому, так і зовнішніх ринках [2].

Проведення досліджень по науковому обґрунтуванню й розробці оригінальної технології кріплених виноградних вин є важливим завданням, що має велику економічну та соціальну значимість.

У зв'язку з тим, що залишаються маловивченими багато аспектів розглянутої проблеми, актуальними є дослідження сортів винограду, що культивуються в Херсонській області, регіоні з унікальними ґрунтово-кліматичними умовами, та доцільності їх використання у виробництві кріплених десертних вин спеціального типу.

Аналіз останніх досліджень. При виробництві високоякісних кріплених червоних вин спеціального типу основним технологічним завданням є забезпечення сприятливих умов для екстрагування із твердих частин виноградного грона ароматичних і барвних речовин, а також збереження їх на окремих стадіях формування і дозрівання вина. Екстрагування ароматичних і барвних речовин з м'язги залежить від багатьох факторів: сорту винограду, ступеня механічного або ферментативного руйнування клітин, що містять ці сполуки, температури, тощо [3, 4, 5, 6, 7].

Червоний спосіб переробки винограду – це найбільш енергоємний і трудомісткий процес первинного виноробства, суть якого полягає у необхідності перемішування великої маси м'язги для екстрагування фенольних речовин зі шкірочки винограду та прилягаючих до неї шарів м'якоті [8].

Останнім часом широкого поширення набувають різні методи термовинифікації, що полягають в загальному випадку у створенні оптимальних умов для виділення в сусло екстрактивних, барвних і ароматичних речовин, що містяться у винограді [9, 10, 11]. Термовинифікація забезпечує значну гнучкість технології. По-перше, у результаті поділу процесів екстрагування і бродіння, зброджування забарвленого сусла відбувається без м'язги. По-друге, дана технологія передбачає зміну температурних режимів і, якщо необхідно, успішно переробляти виноград, частково уражений цвіллю, що небажане при класичному способі бродіння на м'яззі. По-третє, легко вирішується інваріантність і потоковість технологічних процесів [12].

Нагрівання м'язги забезпечує швидке й найбільш повне вилучення барвних, фенольних, ароматоутворюючих та інших цінних



компонентів виноградної ягоди. Тому, необхідність проведення бродіння на м'яззі виключається, а відпресоване забарвлене сусло зброджується за білим способом.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета даної роботи – дослідження інтенсифікації процесів екстракції фенольних сполук в залежності від технологічних режимів переробки червоних сортів винограду, вирощеного в умовах Херсонської області.

Основна частина. Об'єктом дослідження є технологія десертних вин спеціального типу. Предмет дослідження – червоні технічні сорти винограду, м'язга, сусло і десертні виноматеріали.

Фізико-хімічні показники винограду та десертних виноматеріалів визначали відповідно до загальноприйнятих у виноробній галузі методів та методів, розроблених науковими установами [13].

При виробництві якісних червоних вин спеціального типу особливе значення має вибір сортів винограду для переробки, при цьому поряд з органолептичними показниками, значення має такий показник як інтенсивність забарвлення та цукристість вихідної сировини (ягоди). Залежно від вимог, що ставляться до кінцевого продукту, можливе регулювання екстрактивних речовин різними технологічними прийомами.

Дослідження проводились з використанням червоних сортів винограду технічного напрямку, а саме сорти Бастардо Магарачський, Каберне-Совіньйон, Одеський чорний, Сапераві (врожаю 2019 – 2021 рр.). Дані сорти винограду здатні досягти технічної зрілості в умовах Херсонської області згідно із вимогами викладеними у ДСТУ 2366:2009 Виноград свіжий технічний [14].

Технологічні параметри винограду, а саме вміст цукрів і масова концентрація титрованих кислот того або іншого сорту перебувають у прямій залежності від екологічних факторів і сортових особливостей, що позначається на якісних показниках готового вина. Для вивчення варіювання даних факторів, у ході роботи було визначено фізико-хімічні показники, а саме: сухі речовини, масова концентрація редукуючих цукрів, загальна кислотність. Середні значення цих показників представлено у таблиці 1.

Відомо, що для виробництва високоякісних десертних червоних вин спеціального типу не менш вагомим показником є вміст загальних фенольних речовин у винограді, що відіграють істотну роль у формуванні смаку та кольору готових вин, впливають на аромат і букет вина.

З огляду на це у винограді визначали масову концентрацію фенольних речовин. Результати наведені у таблиці 2.

Аналізуючи отримані результати показників якості винограду, було зроблено висновок, що досліджувані сорти мають технологічний



потенціал для виготовлення червоних десертних виноматеріалів спеціального типу.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники червоних сортів винограду (середні за 3 сезони)

Сорти винограду	Масова концентрація сухих речовин, %	Масова концентрація цукрів, г/дм ³	Масова концентрація титрованих кислот у перерахуванні на винну кислоту, г/дм ³
Бастардо Магарачський	25,2-27,1	226-248	5,2-5,3
Каберне Совіньон	24,0-24,8	220-225	5,8-5,9
Одеський чорний	24,8-26,9	225-244	5,3-5,7
Сапераві	24,0-26,7	216-237	5,8-6,1

Таблиця 2

Масова концентрація фенольних речовин червоних сортів винограду

Сорти винограду	Масова концентрація фенольних речовин, мг/дм ³		
	2019 р.	2020 р.	2021 р.
Бастардо Магарачський	4100	4700	4550
Каберне Совіньон	3800	4200	3900
Одеський чорний	3750	4100	4050
Сапераві	4550	4950	4780

Наступним етапом досліджень було одержання виноматеріалів із застосуванням підброджування термообробленої м'язги. Використання технологічного прийому полягало в короткочасному бродінні суслу на м'яззі, попередньо термообробленої при 66 ± 1 °С протягом 1 години, що дозволило підвищити в суслі вміст екстрактивних, барвних і ароматичних речовин, тим самим підвищуючи якість готового напою.

Результати експерименту представлено в таблиці 3.

Оцінюючи результати підброджування м'язги обраних сортів винограду можна зробити висновок про позитивну роль даного прийому, оскільки збільшення вмісту речовин фенольної природи для червоних виноматеріалів є бажаним, дані речовини прямо впливають на органолептичні показники даної категорії вин.



Таблиця 3

Середній вміст від технологічного запасу фенольних речовин при підброджуванні м'язги

Сорти винограду	Процент від технологічного запасу фенольних речовин при підброджуванні м'язги, %			
	Початкове сусло	Підброджування		
		16 год	24 год	36 год
Бастардо Магарачський	62-67	68-72	70-77	76-80
Каберне Совіньон	55-58	58-64	65-70	70-74
Одеський чорний	58-65	63-69	70-73	74-76
Сапераві	50-57	60-64	64-70	67-73

Доцільно було дослідити такий спосіб вилучення екстрактивних речовин, що відповідають за колір, аромат і смак майбутнього вина, як термовиніфікація.

Дослідження процесу термовиніфікації проводили впродовж 2-8 годин. Температура термовиніфікації становила 60-65 °С.

По закінченню термовиніфікації м'язга охолоджувалась до температури бродіння, потім у неї вносилися дріжджі й відбувалося підброджування м'язги до накопичення спирту в суслі не менш 1,5 % об. Сусло, що бродить, відокремлювали від м'язги пресуванням, а бродіння зупиняли внесенням етилового ректифікованого спирту до досягнення концентрацій 16 % об.

У ході процесу термовиніфікації досліджували концентрацію фенольних речовин, що перейшли з винограду у сусло. Результати представлено в таблиці 4.

Таблиця 4

Середній вміст від технологічного запасу фенольних речовин в залежності від тривалості термовиніфікації м'язги

Сорти винограду	Процент від технологічного запасу фенольних речовин при підброджуванні м'язги, %				
	Початкове сусло	Тривалість термовиніфікації, год			
		2	4	6	8
Бастардо Магарачський	64-68	69-75	72-78	79-82	81-84
Каберне Совіньон	57-61	59-64	67-71	70-74	72-76
Одеський чорний	55-60	64-67	72-74	75-76	77-80
Сапераві	52-62	56-65	61-70	67-75	72-79

На підставі отриманих дослідних даних можна зробити висновок про те, що використання прийому термовиніфікації дозволяє в



більшій мірі використовувати фенольні речовини ягід винограду. При цьому процент вилучення від технологічного запасу фенольних речовин з м'язги ягід складе для винограду Бастардо Магарачський – на 18,24 – 20,19 %, для винограду Каберне Совіньон – на 13,22 – 15,28 %, для винограду Сапераві – на 15,16 – 20,05 %, для винограду Одеський чорний – на 18,17 – 22,32 %.

Оцінка якості десертних червоних виноматеріалів спеціального типу, приготовлених на основі виноматеріалів з підброджуванням м'язги наведено в таблиці 5.

Таблиця 5

Фізико-хімічні показники десертних виноматеріалів, отриманих з підброджуванням м'язги

Сорти винограду	Масова концентрація цукрів, г/дм ³	Масова концентрація титрованих кислот, у перерахуванні на винну кислоту, г/дм ³	Масова концентрація приведенного екстракту, г/дм ³	Об'ємна частка етилового спирту, % об.
Бастардо Магарачський	162,0-162,2	4,6-5,2	20,1-23,6	16,1-16,4
Каберне Совіньон	162,0-162,8	5,0-5,9	19,1-19,6	16,0-16,3
Одеський чорний	161,3-162,2	4,4-4,6	19,8-22,1	15,9-16,1
Сапераві	161,5-162,0	5,1-5,4	15,7-17,1	16,3-16,4

Дослідження основних фізико-хімічних показників десертних червоних виноматеріалів спеціального типу, отриманих термовинифікацією м'язги наведено в таблиці 6.

Як свідчать дані, представлені в таблицях 5 та 6, отримані виноматеріали із сортів винограду Бастардо Магарачський, Каберне Совіньон, Одеський чорний, Сапераві відповідають вимогам для виробництва десертних виноматеріалів спеціального типу, згідно з ДСТУ 4806:2007 Вина. Загальні технічні умови [15].

Отже, із розглянутих способів підвищення вмісту речовин поліфенольної природи у винах і виноматеріалах з винограду, що виростає на Херсонщині спосіб термовинифікації є кращим.

Таким чином, запропоновані технологічні рішення дозволяють одержувати з винограду, культивованого в Херсонській області, червоні десертні виноматеріали спеціального типу, що відповідають вимогам.



Таблиця 6

Фізико-хімічні показники десертних виноматеріалів, отриманих з термовиніфікацією м'язги

Сорти винограду	Масова концентрація цукрів, г/дм ³	Масова концентрація титрованих кислот, у перерахуванні на винну кислоту, г/дм ³	Масова концентрація приведенного екстракту, г/дм ³	Об'ємна частка етилового спирту, % об.
Бастардо Магарачський	160,7-162,8	4,1-4,3	22,8-25,4	16,1-16,2
Каберне Совіньон	160,8-163,3	5,7-6,2	21,9-22,5	16,0-16,3
Одеський чорний	160,5-163,0	5,4-5,8	21,2-21,9	16,1-16,2
Сапераві	160,7-162,2	5,6-5,8	17,3-19,5	16,3-16,4

Висновки. На підставі проведених досліджень можна зробити висновки, що для виробництва червоних десертних вин спеціального типу перспективними є сорти винограду: Бастардо Магарачський, Одеський чорний, Каберне Совіньон і Сапераві, що вирощують на території Херсонської області.

Із розглянутих способів підвищення вмісту речовин поліфенольної природи у виноматеріалах спосіб термовиніфікації при 60 °С протягом 8 годин є найкращим. Використання запропонованого способу теплової витримки дає можливість сформувати органолептичні властивості, що відповідають десертним винам спеціального типу.

Доведено доцільність використання термовиніфікації при розробці нових технологій виробництва виноматеріалів, що дозволили б отримувати вина високої якості.

Запропонована технологія підсилює розвиток специфічних для десертних вин спеціального типу тонів чорносливу й шоколаду під час наступної витримки виноматеріалів.

Список використаних джерел

1. Українське виноробство: заручник політичного чи економічного підходу? *Економічна правда*: веб-сайт. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/07/13/675894/> (дата звернення 19.09.2024).



2. Українське виноробство має отримати свіжий ковток для розвитку. *Економічна правда*: веб-сайт. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/11/12/679701/> (дата звернення 19.09.2024).
3. Динаміка ароматутворюючих компонентів винограду в ході настоювання м'язги / Є.В. Остроухова та ін. *Магарац. Виноградарство і виноробство*. 2012. № 1. С. 27-29.
4. Bakker J., Bridle P., Timberlake C. F. The colours, pigment and phenol contents of young port wines: Effects of cultivar, season and site. *Vitis*. 2016. Vol. 25. P. 40-52.
5. Revilla E., Losada M. M., Gutiérrez E. Phenolic Composition and Color of Single Cultivar Young Red Wines Made with Mencia and Alicante-Bouschet Grapes in AOC Valdeorras (Galicia, NW Spain). *J. Sci. Food Agric. Beverages*. 2016. Vol. 2(3). P. 18. <https://doi.org/10.3390/BEVERAGES2030018>.
6. Varietal and geographic classification of French red wines in terms of pigments and flavonoid compounds / P. Etievant, P. Schlich, A. Bertrand [et al.] *J. Sci. Food Agric*. 2018. Vol. 42. P. 39-54.
7. Casassa L.F., Harbertson J.F. Extraction, evolution, and sensory impact of phenolic compounds during red wine maceration. *Annu Rev Food Sci. Technol*. 2014. Vol. 5. P. 83-109. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030713-092438>.
8. Інноваційні технології продуктів бродіння і виноробства: підручник / С. В. Іванов та ін.; за заг. ред. С. В. Іванова. Київ: НУХТ, 2012. 487 с.
9. Gutiérrez-Escobar R., Aliaño-González M.J., Cantos-Villar E. Wine Polyphenol Content and Its Influence on Wine Quality and Properties: A Review. *Molecules*. 2021. Vol. 26(3). P. 718. <https://doi.org/10.3390/molecules26030718>.
10. Orbanić F., Rossi S., Bestulić E., Budić-Leto I., Kovačević Ganić K., Horvat I., Plavša T., Bubola M., Lukić I., Jeromel A., Radeka S. Applying Different Vinification Techniques in Teran Red Wine Production: Impact on Bioactive Compounds and Sensory Attributes. *Foods*. 2023. Vol. 12(20). P. 3838. <https://doi.org/10.3390/foods12203838>.
11. El Darra N., Turk M.F., Ducasse M.A., Grimi N., Maroun R.G., Louka N., Vorobiev E. Changes in polyphenol profiles and color composition of freshly fermented model wine due to pulsed electric field, enzymes and thermovinification pretreatments. *Food Chem*. 2016. Vol. 1(194). P. 944-50. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.059>.
12. Виноделие по-новому / Е. П. Шольц-Куликови др.; под ред. Г. Г. Валуйко. Симферополь: Таврида, 2009. 320 с.
13. Методы технохимического контроля в виноделии / под ред. В. Г. Гержиковой. 2-е изд. Симферополь: Таврида, 2009. 304 с.



14. ДСТУ 2366:2009 Виноград свіжий технічний. Технічні умови. [Чинний від 01.01.2010]. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 14 с.

15. ДСТУ 4806:2007 Вина. Загальні технічні умови. [Чинний від 01.01.2009]. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 16 с.

Стаття надійшла до редакції 25.09.2024 р.

O. Mamai, M. Valko, T. Yakovenko, K. Zubkova, O. Stoianova
Kherson National Technical University

RESEARCH OF THE EXTRACTION PROCESSES OF PHENOLIC COMPOUNDS IN THE PRODUCTION OF DESSERT WINE

Summary

The expediency of using technical grape varieties Bastardo Magarachsky, Cabernet Sauvignon, Odessa Black and Saperavi, cultivated in the conditions of the Kherson region, for the production of red dessert wine materials of a special type, was investigated. Analyzing the obtained results of grape quality indicators, it was concluded that the researched varieties have a technological potential for the production of red dessert wine materials of a special type.

The influence of technological processes of processing of the proposed grape varieties on the intensification of the processes of extraction of phenolic substances and the quality of the manufactured products is considered. Wine materials were obtained using short-term fermentation of heat-treated pulp. Such a method of extraction of extractive substances responsible for the color, aroma and taste of the future wine, as thermal vinification, was studied. Research on the thermovinification process was carried out for 2-8 hours. The temperature of thermal vinification was 60-65 °C. On the basis of the obtained experimental data, it was concluded that the use of thermovinification allows to use the phenolic substances of grapes to a greater extent.

A study of the chemical composition and phenolic complex of grapes and dessert wines obtained from them, depending on the production technology, was conducted. Among the considered methods of increasing the content of substances of polyphenolic nature in wine materials, the method of thermal vinification at 60 °C for 8 hours is the best. The use of the proposed method of thermal aging makes it possible to form organoleptic properties corresponding to dessert wines of a special type. The expediency of using thermal vinification in the development of new technologies for the production of wine materials, which would allow obtaining high-quality wines, has been proven. The obtained wine materials from Bastardo Magarachsky, Cabernet Sauvignon, Odessa Black, Saperavi grape varieties meet the requirements for the production of dessert wine materials of a special type.

The proposed technology enhances the development of specific for dessert wines of a special type of prune and chocolate tones during the subsequent aging of the wine.

Key words: grape varieties Bastardo Magarach, Cabernet Sauvignon, Odesa Black, Saperavi, red dessert wine of a special type, coloring substances, fermentation on the skin, thermal vinification.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-9

УДК 532.528

Д. О. Вітенько, асп.,
Т. М. Вітенько, д.т.н.

ORCID: 0009-0004-0050-2104

ORCID: 0000-0003-4084-0322

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
e-mail: dmitrovitenko25@gmail.com

АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ ГІДРОДИНАМІКИ ПОТОКУ У КАВІТАЦІЙНИХ АПАРАТАХ

Анотація. У статті запропоновано конструкцію кавітаційного апарата по типу труби Вентурі, з можливістю регулювання інтенсивності кавітаційних ефектів та впливу на технологічні середовища. Досліджено гідродинамічні та кавітаційні параметри двох конструкцій на основі результатів чисельних розрахунків за допомогою програмного забезпечення SolidWorks з модулем Flow Simulation. Результати моделювання засвідчили, що конструкція з можливістю регулювання інтенсивності кавітаційних ефектів у порівнянні з апаратом запропонованим Лонгом є не менш ефективною. Отримані результати засвідчили незначне зростання швидкості і падіння тиску у соплі досліджуваної конструкції порівняно до базової за однакових початкових умов та зменшення значень числа кавітації, що забезпечує формування парогазової фази більшого об'єму.

Ключові слова. Гідродинамічна кавітація, труба Вентурі, SolidWorks, Flow Simulation, інтенсивність кавітації, чисельні розрахунки.

Постановка проблеми. Явище гідродинамічної кавітації на сьогодні часто асоціюється з негативним впливом, що спостерігають у насосах, трубопроводах, вентиляційних системах та турбінах. Локальне падіння тиску, викликане зміною геометрії потоку або іншими технологічними особливостями, призводить до утворення парогазової фази, яка і є причиною руйнувань поверхонь. Встановлено, що життєвий цикл парогазових кавітаційних порожнин триває кілька тисячних часток секунди, а колапс відбувається майже миттєво через імпульсію, спричинену раптовим зростанням тиску [1]. Це відрізняє кавітаційне кипіння від високотемпературного або хімічного, де бульбашки мають більші розміри та довший життєвий цикл. Під час кавітаційного кипіння пароутворення відбувається всередині потоку рідини або біля поверхні, особливо в місцях наявності тріщин чи шорсткостей, що може призводити до руйнування. Тому при проєктуванні обладнання враховують можливі кавітаційні ефекти. Водночас, кавітаційні явища також знайшли своє застосування в промисловості як інструмент для інтенсифікації гідромеханічних, тепломасообмінних та хімічних процесів [2]. Однією з концепцій, що



обґрунтовує позитивний вплив кавітаційних ефектів на процеси та технологічні системи, є дискретний розподіл енергії та маси, детально описаний у роботах [3]. Концепція, що розглядає питому потужність як міру динамічного впливу на систему, заснована на швидкості трансформації енергії. Вплив на систему збільшується зі зростанням швидкості цієї трансформації. Існують два способи підвищення питомої потужності до рівня, при якому вона перевищує критичне значення. Це або збільшення швидкості розподілу енергії, зберігаючи тривалість трансформації незмінною, або зменшення тривалості трансформації, без зміни швидкості розподілу енергії. В обох випадках досягається необхідний рівень потужності, хоча витрати енергії можуть відрізнятися.

Аналіз останніх досліджень. Механізм перетворення енергії під час кавітації включає кілька ключових етапів: ініціювання, формування, ріст парової фази та її колапс. Відомо, що різке зниження тиску в рідині сприяє виділенню парогазової фази, а швидке підвищення тиску створює значну різницю між тиском у рідкій і паровій фазах, що визначає рівень акумульованої потенційної енергії в системі. В таких процесах накопичена потенційна енергія перетворюється в кінетичну енергію радіального руху рідини в межах стиснутої паргазової бульбашки, створюючи короткотерміновий імпульс тиску, який розповсюджується у формі сферичної ударної хвилі. При цьому формуються високі амплітуди імпульсів, які можуть досягати приблизно 1000 МПа. Висока швидкість і прискорення рідини забезпечують ефективний динамічний вплив на систему.

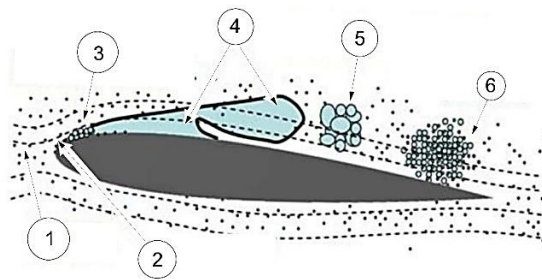
У випадку коли бульбашки сплескуються поблизу твердої поверхні або великих твердих частинок, кінетична енергія радіального руху рідини перетворюється в механічну енергію рідкої кумулятивної мікрострумені, яка вилітає з бульбашки з великою швидкістю і спрямовується до твердої поверхні (частинки), створюючи потужний локалізований ударний вплив. Цей кумулятивний механізм добре досліджений експериментально і теоретично. Він ілюструє принципи дискретно-імпульсного введення енергії, що включає зосередження енергії у визначених часових і просторових ділянках, та концентрацію імпульсів енергії. Цей підхід обґрунтовує ефективність використання кавітаційних явищ для створення потужних локалізованих імпульсів енергії, що має значні перспективи для різних інженерних і технологічних застосувань [3].

Ступінь впливу на систему та його інтенсивність залежать від виду кавітації. Наприклад, потокова або струминна кавітація виникає внаслідок зменшення статичного тиску у рідині нижче певного рівня, викликаного місцевим збільшенням швидкості потоку або змінами зовнішніх умов. Це явище часто спостерігається у вузьких ділянках

каналів та на місцях локальних опорів трубопроводів. Парова кавітація виникає, коли тиск рідини наближається до критичного, що дорівнює тиску випаровування рідини за встановленої температури. Газова кавітація виникає внаслідок дифузії газу, що вже наявний у рідині, всередину бульбашок, які формуються внаслідок перенасичення рідини газом та зменшення тиску. В цьому випадку спостерігають повільніше зростання кавітаційних бульбашок порівняно з паровою кавітацією і меншу інтенсивність впливу [4]. Вібраційна кавітація виникає при взаємодії рідини зі структурою або поверхнею під впливом вібраційних коливань. Це явище часто спостерігається під час вібрацій рідини або при швидких коливаннях твердого тіла у рідині. Розрив рідини та утворення кавітаційних бульбашок відбуваються у першій половині періоду розрідження, а їх імплізія – на етапі стискання [5].

Розглядаючи різні види кавітації та їхній вплив на технологічні середовища й обладнання, доцільно розуміти особливості ефектів, що виникають та можливості використання того чи іншого режиму обробки. У наукових публікаціях часто вживають терміни "початкова кавітація" й "розвинена кавітація", які класифікують етапи розвитку цього фізичного процесу. "Початкова кавітація" описує момент утворення перших кавітаційних зародків у рідині [6]. У процесі розвитку явища (так звана "розвинена кавітація") відбувається зростання кількості бульбашок і їх злиття в каверну. Крім того, терміни "суперкавітація" і "псевдокавітація" визначають специфічні форми кавітації залежно від умов та контексту. "Суперкавітація" вказує на винятково екстремальні умови, де кавітаційні порожнини можуть існувати при значеннях тиску і температури, що зазвичай призводять до інших фазових станів речовини. "Псевдокавітація" розглядається як специфічна форма, де умови створюються штучно або в результаті особливостей середовища, що призводять до візуально подібних ефектів, які не мають впливу на технологічне середовище (наприклад, барботування газом).

Важливими класифікаційними критеріями є розміри порожнин, їх кількість, форма та розміри кавітаційної ділянки, яка спостерігається у вигляді блукаючих бульбашок, плівки, хмари чи каверн, оскільки від цих характеристик залежить ступінь впливу на технологічний потік. Схематичне зображення різних типів кавітації на лопатці допомагає візуалізувати відмінності між кавітаційними режимами (рис. 1) [7].



.....
1 - мікопульсації потоку; 2-кавітаційні зародки; 3-зростаючі парогазові бульбашки; 4-плівкова кавітація; 5- парогазові бульбашки на етапі трансформації; 6- хмара бульбашок

Рис. 1. Формування кавітації на лопатці [7]

Умови виникнення кавітаційного режиму визначаються критичними гідродинамічними параметрами. Критичний тиск, при якому виникає кавітація, це тиск насиченої пари рідини при заданій температурі як було згадано вище. Точне значення критичного тиску залежить також від властивостей рідини та геометрії системи. Його можна визначити експериментально або розрахувати для конкретної ситуації. Критична швидкість потоку, при якій виникає гідродинамічна кавітація, це та швидкість, при якій тиск рідини в деякій частині системи падає до рівня насиченої пари цієї рідини при даних температурі та тиску. Вона також залежить від різних факторів, таких як тиск, газоміст та інші властивості рідини. Геометрія системи також суттєво впливає на гідродинаміку потоку і кавітаційні характеристики.

Розрахунок числа кавітації є ключовим етапом у вивченні явища гідродинамічної кавітації. Використання цього параметра дозволяє оцінити потенціал різних конструкцій обладнання до виникнення кавітації. Порівняння значень кавітаційного числа з критичним значенням (зазвичай це 1) дозволяє прогнозувати можливість виникнення кавітації та вживати заходи для її запобігання або використання та регулювання. Кавітаційне число (позначене як σ) також служить індикатором опору потоку до кавітації і обчислюється за формулою [8]:

$$\sigma = \frac{P_o - P_v}{0.5 \cdot \rho \cdot v^2} \quad (1)$$

де P_o – тиск на виході з апарата, Па;

P_v - тиск пари, Па;

ρ - густина рідини, м³/с;

v - швидкість потоку рідини, м/с/

Розглядаючи різні форми кавітації, важливо враховувати параметри, які впливають на формування необхідного режиму та ефективність і результативність процесів. Регулювання кавітаційними



процесами і відповідно ступенем впливу на систему можливе за рахунок зміни швидкості потоку, тиску, температури і геометрії робочої ділянки. Завдяки оптимізації параметрів кавітації, можна знижувати енергоспоживання і підвищувати економічну ефективність технологічних процесів. З іншого боку якість кінцевого продукту також залежить від вірно налаштованого режиму обробки тобто рівня кавітаційного впливу на систему. Для галузей, таких як фармацевтика та харчова промисловість, де висока точність і чистота є критичними, регулювання інтенсивності кавітації дозволяє досягти необхідних стандартів якості обробки. Не менш важливою є відповідність технічним специфікаціям у різних сферах застосування. Регулювання інтенсивності кавітації дозволяє гнучко адаптувати результати процесів обробки до специфічних вимог. Наприклад, таких як розмір частинок в процесах емульгування і диспергування. Отже визначення параметрів кавітації та їх зміна в процесі обробки є важливим аспектом в практичному використанні цього явища, яке може бути як корисним, так і небезпечним. Експериментальні та чисельні дослідження кавітаційних апаратів допомагають розуміти поведінку потоку та розробляти надійні моделі для прогнозування і удосконалення дизайну конструкцій з метою регулювання кавітаційними факторами впливу на технологічне середовище.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою дослідження було порівняння гідродинамічних та кавітаційних характеристик двох конструкцій кавітаційних апаратів на базі труби Вентурі. Базовим був вибраний апарат запропонований Лонгом, як один з ефективних, з точки зору геометрії конфузор-сопло-дифузор. Його порівнювали з досліджуваною конструкцією, що забезпечує гнучке регулювання інтенсивності кавітаційного впливу на технологічне середовище.

Основними завданнями досліджень було:

1. Створити геометричні моделі для базової моделі, запропонованої Лонгом, та удосконаленої конструкції, використовуючи програмне забезпечення SolidWorks.
2. На основі отриманих результатів чисельних розрахунків, проаналізувати гідродинамічні та кавітаційні параметри потоку для обох конструкцій (розподіл швидкостей і тисків в межах критичних ділянок, числа кавітації та об'єм парогазової фази).
3. Оцінити вплив ключових параметрів конструкції стосовно умов початку кавітаційного режиму, окремих аспектів регулювання кавітаційних факторів впливу.

Основна частина. Для чисельного моделювання було використано програмне забезпечення SolidWorks з модулем Flow Simulation, який дозволяє виконувати гідродинамічний аналіз на основі вирішення

рівнянь Нав'є-Стокса. Ці рівняння описують процеси збереження маси, імпульсу та енергії в рідинах та газах. У процесі налаштування моделі були визначені три основні параметри: точність обчислень, розмірність сітки та критерії збіжності. Для досягнення необхідної точності розподілу швидкості та тиску в критичних зонах конструкції (конфузор та сопло труби Вентурі) було обрано рівень сітки 5. Це дозволило отримати інформацію щодо зміни швидкості потоку і тиску, що виникають робочих ділянках, достатньої точності. У дослідженні були проаналізовані дві моделі: базова (модель 1), (рис. 2) [9], та удосконалена конструкція (модель 2), (рис. 3) з камерою попередньої обробки, оснащеної обтічником та конусною перешкодою. Дослідження проводили у декілька етапів:

1. Створення геометричних моделей. Були створені геометричні моделі обох конструкцій в середовищі SolidWorks.
2. Налаштування параметрів у Flow Simulation. Параметри моделювання були налаштовані в модулі Flow Simulation зокрема, визначено точність обчислень, розмірність сітки та критерії збіжності.
3. Визначення початкових граничних умов. Для обох моделей були задані початкові умови, які включали вхідну об'ємну витрату потоку, що змінювалась у діапазоні від 0,0017 до 0,003 м³/с, температуру, яка залишалась сталою 293 К і тиск на вході в межах $P_{вх}=0,35 - 0,6$ МПа.
4. Розрахунки та аналіз результатів. Після налаштування моделі було виконано чисельні розрахунки для кожної з конструкцій залежно від поставленого завдання. Аналізували гідродинамічні та кавітаційні характеристики, такі як швидкість потоку, тиск, об'єм парогазової фази і число кавітації.
5. Візуальні спостереження.

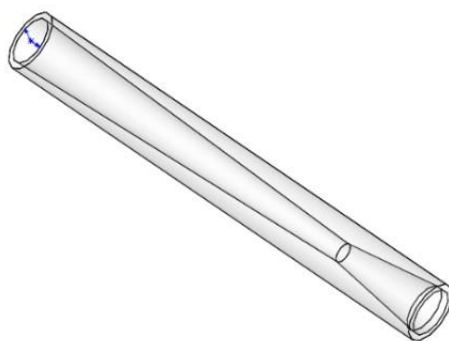
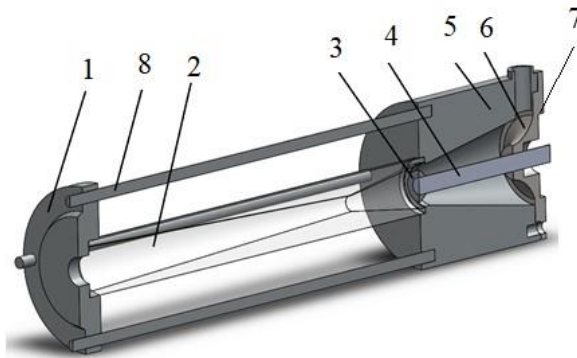


Рис. 2. Труба Вентурі запропонована Лонгом [9]

На (рис. 2) зображено трубу запропоновану Лонгом. Вона є удосконаленою версією труби Вентурі, розробленою для генерації кавітації. Вона забезпечує достатнє зниження тиску в конфузній

частині за умови забезпечення необхідної швидкості і тиску на вході, що викликає кавітацію в соплі і дифузорі, але має обмеження в регулюванні інтенсивності цього процесу. Досліджувана конструкція оснащена конусною перешкодою на вході в дифузор, що надає можливість зміни тиску і швидкості на вході в сопло та інтенсивності кавітації відповідно. Водночас, слід зазначити, що у досліджуваній конструкції потік подається через патрубок, розташований перпендикулярно до основного потоку, що зменшує швидкість та впливає на умови виникнення кавітації. Для забезпечення необхідної швидкості та тиску на вході в сопло запропоновано встановити конусну камеру попередньої обробки з обтічником, завдяки чому зменшується гідродинамічний опір та зростає швидкість на вході в сопло.



1-передня кришка; 2-труба Вентурі запропонована Лонгом;
3-конусна перешкода; 4-механізм переміщення перешкоди; 5-конусна
камера попередньої обробки; 6-обтічник; 7- задня кришка
Рис. 3. Досліджувана конструкція:

Кут конусності камери попередньої обробки був вибраний на підставі існуючих досліджень, які показали, що діапазон від 30° до 45° є найбільш раціональним [10, 11, 19]. Такий кут також дозволяє уникнути утворення ділянок з низькою швидкістю в дифузорі та забезпечує плавний перехід потоку від камери попередньої обробки до конфузора, що також підвищує стабільність роботи апарата. Раціональний радіус кривизни полусфер обтічника забезпечує зниження гідродинамічного опору та підвищення загальної ефективності роботи конструкції, зменшення енергетичних втрат та підвищення стабільності процесу. Радіус кривизни був обраний на основі аналізу швидкісних характеристик потоку (чисельне моделювання). Конусна перешкода з механізмом переміщення забезпечує зміну геометрії потоку та регулювання режиму обробки відповідно.



Обговорення результатів. У (табл. 1) наведено результати чисельних розрахунків для апарата на базі труби Вентурі розробленої Лонгом та удосконаленої конструкції (рис.2). Початкові параметри становили: тиск на вході 0,35 МПа і витрата 0,00117м³/с. Аналізуючи дві конструкції, можна помітити несуттєві відмінності в гідродинамічних та кавітаційних параметрах. Зокрема, у базовій конструкції швидкість на вході в конфузور становила 3,73 м/с, а в соплі - 26,16 м/с. Для конструкції з конусною камерою та перешкодою швидкість на вході становила $v_1=3,86$ м/с, а в соплі $v_2=28,31$ м/с.

Таблиця 1

Результати чисельних розрахунків

Вид моделі	Швидкість на вході в конфузор, v_1 , м/с	Швидкість в соплі v_2 , м/с	P_{min} , Па	Число кавітації σ
Труба Лонга (рис.1)	3,73	26,16	13704,25	0,95
Конструкція з конусною камерою і перешкодою на вході в конфузор (рис.2)	3,86	28,31	12528,29	0,86

Таким чином, удосконалена конструкція забезпечує аналогічні вхідні параметри до базової конструкції. Мінімальний тиск у найвузчій частині труби Лонга $P_{min}=13704,25$ Па, тоді як у конструкції з конусною камерою $P_{min}=12528,29$ Па. Число кавітації для труби Лонга $\sigma_1=0,95$, що свідчить про перед кавітаційний режим. Для досліджуваної конструкції $\sigma_2=0,86$, що вказує на початковий кавітаційний режим. Це може бути пов'язано з формуванням швидкісних потоків біля стінок (рис. 4, б) та областей з нижчим тиском в межах ділянок початкового утворення парогазової фази, незважаючи на те, що середні гідродинамічні параметри відрізняються незначно. Оскільки метою удосконалення конструкції було регулювання інтенсивності кавітації то на наступному етапі проводили дослідження щодо впливу зміни положення конусної перешкоди в конфузорі положення якої, впливатиме на зазор між стінками апарата і перешкодою і відповідно на гідродинамічні параметри, кавітаційні характеристики та інтенсивність кавітації. Дослідження проводили за вхідних параметрів: $Q=0,00117$ м³/с; $P_{bx}=0,35$ МПа, що за результатами попередніх

розрахунків відповідає ділянці – турбулентно-кавітаційний режим (докавітаційний режим).

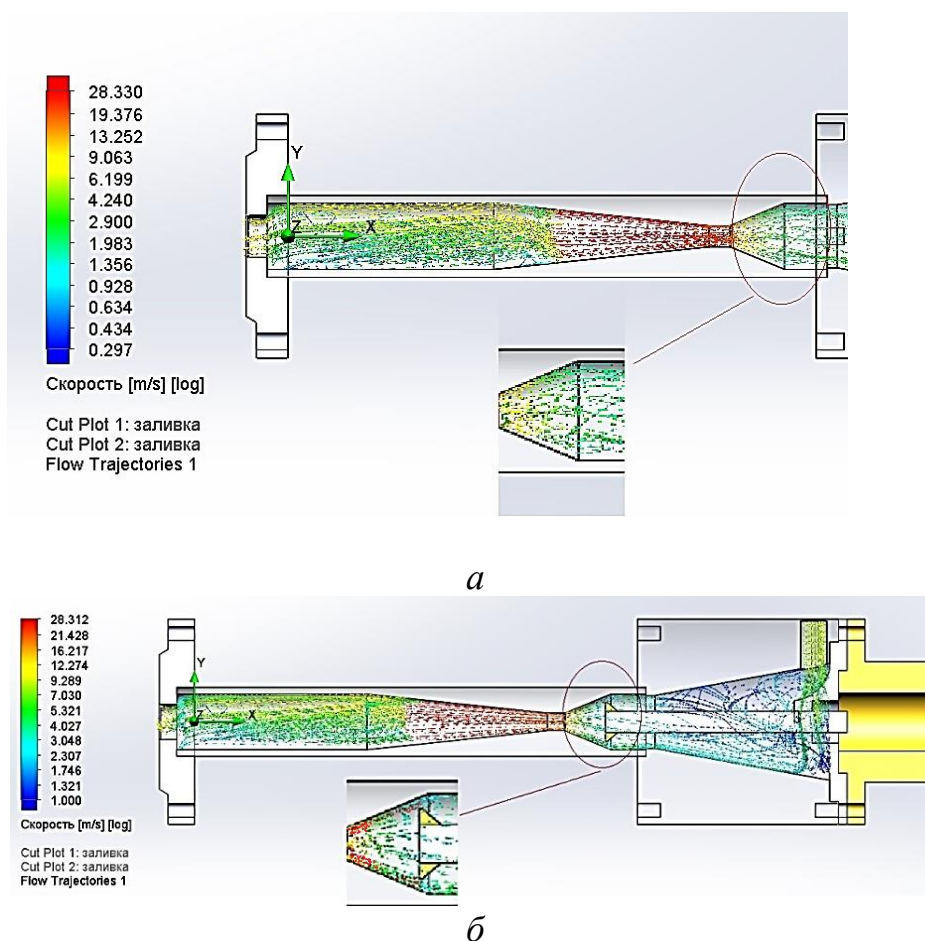


Рис. 4. Особливості розподілу швидкості потоку у досліджуваних конструкціях: а-труба Лонга; б-досліджувана конструкція

Результати досліджень зображено на (рис. 5), з яких спостерігається, що крайнє ліве положення перешкоди (рис. 5, с), демонструє більше зниження тиску, тобто кращі умови для формування парогазової фази. Результати візуальних досліджень зображено на фото нижче, (рис. 5).

Варіант з найбільшим зазором (рис.5, а) демонструє виділення газової фази у вигляді з'єднаних порожнин, які розділяються на малі вздовж труби. Причому включення спостерігаються по центру потоку, на відміну від картини (рис.5, с), де спостерігаються дрібні газові включення рівномірно сформовані по всьому об'єму.

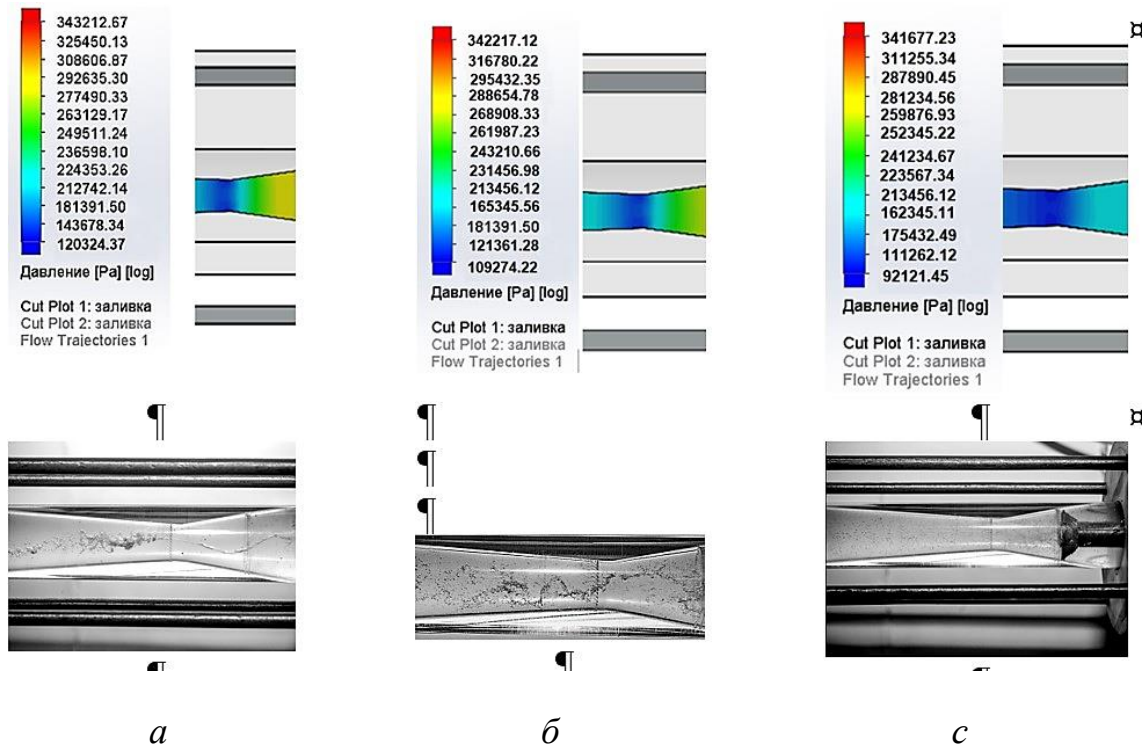


Рис. 5. Досліджувані моделі: а – зазор 3 мм; в- зазор 2мм; с-зазор 1 мм.

Звертаємо увагу на те, що в таких умовах ми говоримо про виділення газової фази, оскільки парової кавітації для таких умов не спостерігається. Для аналізу кавітаційної картини також було розраховано числа кавітації (табл.2), що визначають кавітаційний потенціал. Найменше число кавітації спостерігається для зазору в 1 мм.

Таблиця 2

Результати чисельних розрахунків

Зазор, мм	Швидкість в соплі v_2 , м/с	σ
3	16,1	2,27
2	17,6	1,9
1	18,72	1,68

Водночас їх значення (>1) підтверджують відсутність кавітації та початок так званої дегазації, що відбувається при пониженні тиску (перед кавітаційний режим). Результати чисельних розрахунків щодо формування парогазової фази показали її відсутність за таких умов. Наступні результати засвідчили, що за вхідного тиску 0,35 МПа, мінімально необхідна витрата для формування кавітаційного режиму є $0,0025 \text{ м}^3/\text{с}$, тому подальші дослідження проводили за вхідної витрати $Q=0,003 \text{ м}^3/\text{с}$. Результати чисельних розрахунків, що стосуються розподілу швидкості (рис. 6, а), тиску (рис.6, б) та об'єму

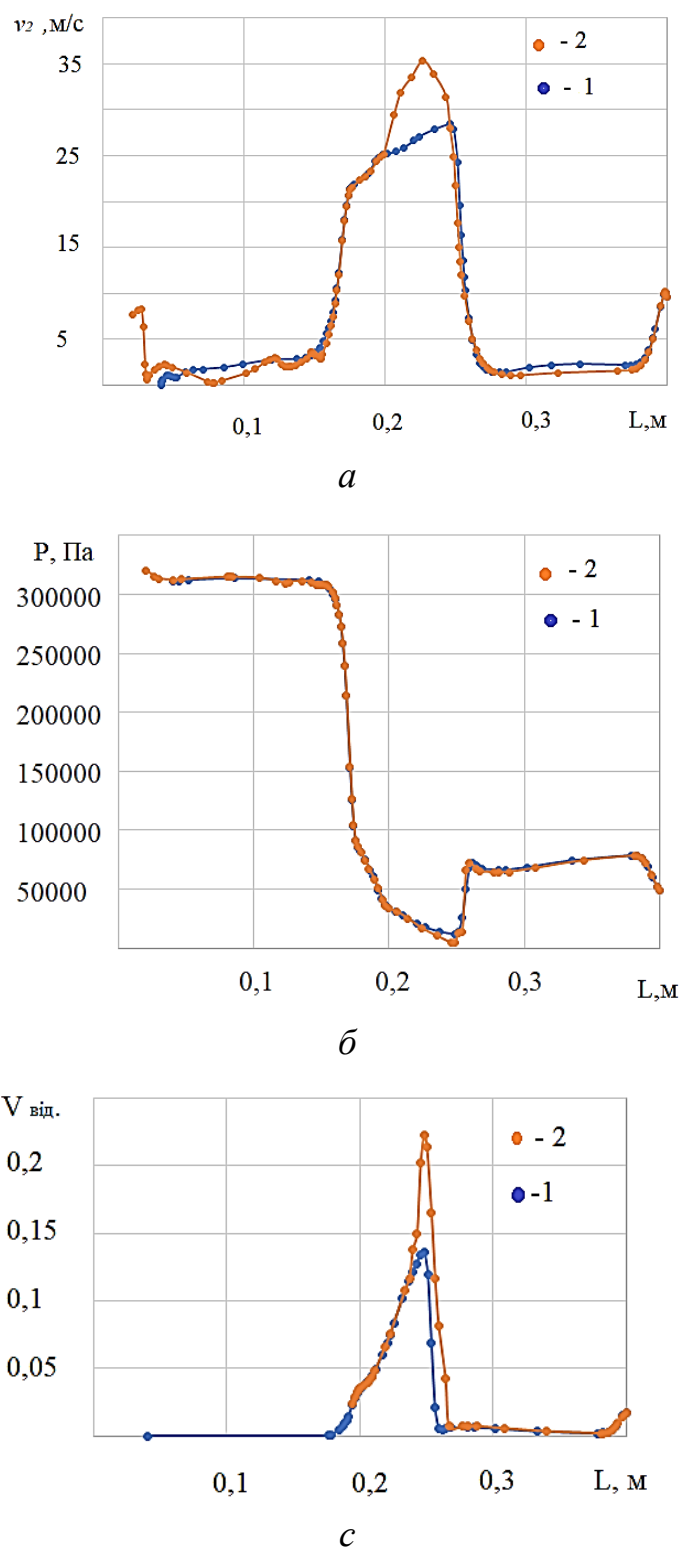


Рис. 6. Розподіл швидкості (а), тиску (б) та парогазової фази (с) вздовж апарата: 1 – Труба Вентурії запропонована Лонгом; 2 – досліджувана конструкція (зазор 1мм); $P_{вх}=0,35\text{МПа}$, $Q=0,003\text{м}^3/\text{с}$.

парогазової фази (рис. 6, с) за однакових вхідних умов для обох моделей, допомагають доповнити аналіз окремих аспектів гідродинаміки потоку в досліджуваній конструкції.



З (рис. 6) спостерігається зниження тиску у горловині конфузора до 5001,05 Па, що на 9,5% менше, ніж у базовій конструкції розробленої Лонгом за однакових вхідних параметрів потоку. Зменшення тиску у горловині дозволяє досягти більш інтенсивного кавітаційного режиму, що особливо важливо для технологічних процесів, де потрібна висока ефективність кавітації. Також спостерігається більший відносний об'єм парогазової фази. У (табл. 3) наведені порівняльні дані для обох конструкцій за різних значень вхідного тиску (400000Па, 500000Па, 600000Па). Відповідно до результатів спостерігається вища швидкість потоку в соплі та менші значення кавітаційного числа σ .

Таблиця 3

Результати чисельних розрахунків

Модель	$P_{вх}$, Па	P_2 , Па	v_2 , м/с	V_{n-2} , мм ³	σ
1	400000	10572,3	28,66	17113,5	0,84
2		10232,1	29,31	18215,4	0,81
1	500000	8324,3	31,19	31324,7	0,81
2		7987,5	33,23	33111,2	0,72
1	600000	6228,17	36,75	54158,3	0,74
2		5001,05	38,23	55215,7	0,68

Причому збільшення вхідного тиску $P_{вх}$ призводить до підвищення швидкості v_2 у соплі для обох моделей, що логічно обумовлено збільшенням різниці тисків між входом і виходом. Спостерігається зростання об'ємів парогазової фази V_{n-2} із підвищенням тиску на вході, що є закономірним, оскільки паралельно спостерігається зменшення тиску P_2 в зоні сопла. Слід зазначити. Що для детального вивчення гідродинаміки та кавітаційних характеристик потоку у апараті з можливістю регулювання режиму, необхідно провести дослідження та розрахунки у ширшому діапазоні витрат та тисків, що буде предметом подальших досліджень. Також доцільно вивчити характеристики парогазової фази які є важливими для визначення ступеня впливу на технологічні системи.

Висновки. На основі результатів чисельних розрахунків з використанням програмного забезпечення SolidWorks із модулем Flow Simulation було проведено дослідження гідродинамічних та кавітаційних характеристик для конструкції кавітаційного апарату на базі труби Вентурів, розробленої Лонгом, та її вдосконаленої версії, яка забезпечує можливість гнучкого регулювання інтенсивності кавітації. Результати, що стосуються розподілу швидкостей і тисків уздовж труби, дали змогу визначити ключові вхідні параметри для ініціації кавітації у вдосконаленій конструкції, зокрема мінімально необхідний вхідний тиск і швидкість потоку. Порівняння отриманих даних з

експериментальними результатами підтвердило їх достовірність. Крім того, результати дозволили встановити вплив положення перешкоди на гідродинамічні та кавітаційні параметри потоку, що має практичну цінність для промислових кавітаційних процесів. Виявлено, що у запропонованій конструкції спостерігається незначне зниження тиску в соплі та числа кавітації порівняно з базовою конструкцією.

Список використаних джерел

1. Brennen C.E. Frontmatter. In: Cavitation and Bubble Dynamics. Cambridge University Press, 2013.
2. Вітенько Т.М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних і біологічних процесах / Т.М. Вітенько. Тернопіль: ТДАТУ ім. І. Пулюя, 2009. 220 с.
3. Долинський А.А., Іваницький Г.К. Тепломасообмін та гідродинаміка у парорідинних дисперсних середовищах. Теплофізичні основи дискретно-імпульсного введення енергії. Київ: Науково-виробниче підприємство «Видавництво Наукова думка НАН України», 2008. 382 с.
4. Arndt R.E.A. Cavitation in Fluid Machinery and Hydraulic Structures // Annual Review of Fluid Mechanics. 2002. Vol. 34, No. 1. P. 143–175.
5. Masanobu Watanabe, Koji Nishino, Yasumi Kitajima, Kazuyoshi Yonekura, Tsuyoshi Hagiwara. Flow-Induced Vibration of a Control Valve in a Cavitating Flow // ASME 2009 Pressure Vessels and Piping Conference, July 26–30, 2009, Prague, Czech Republic. Paper No: PVP2009-77373, pp. 239–246. <https://doi.org/10.1115/PVP2009-77373>.
6. Franc J.-P., Michel J.-M. Fundamentals of Cavitation. Springer Science & Business Media, 2006. 306 с.
7. Kawanami Y., Kato H., Yamaguchi H., Tanimura M., Tagaya Y. Mechanism and Control of Cloud Cavitation // Journal of Fluids Engineering. 1997. Vol. 119, No. 4. P. 788–794. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/cavitation-number>.
8. Long X.P., Wang J., Zuo D., Zhang J.Q., Ji B. Experimental investigation of the instability of cavitation in venturi tube under different cavitation stage // Journal of Mechanical Engineering. 2018. Vol. 54. P. 209–215.
9. Franc J.-P., Michel J.-M. Fundamentals of Cavitation. Springer Science & Business Media, 2006.
10. Liu Y., Li B. Numerical Investigation of the Cavitation Characteristics in Venturi Tubes: The Role of Converging and Diverging Sections // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, No. 13. P. 7476.
11. Zhou Z., Li L., Xuan X., Chen S., Yoon J.Y., Sun X. Numerical investigation of partial cavitation in a Venturi tube by Eulerian-Lagrangian



multiscale modelling // Journal of Physics: Conference Series. 2024. Vol. 2707, No. 1. P. 012138. IOP Publishing.

12. Gogate P.R., Pandit A.B. A review and assessment of hydrodynamic cavitation as a technology for the future // Ultrasonics Sonochemistry. 2005. Vol. 12, No. 1–2. P. 21–27.

13. Vichare N.P., Gogate P.R., Pandit A.B. Optimization of hydrodynamic cavitation using a model reaction // Chemical Engineering & Technology. 2000. Vol. 23, No. 8. P. 683–690.

14. Simpson A., Ranade V.V. Modeling hydrodynamic cavitation in venturi: Influence of venturi configuration on inception and extent of cavitation // AIChE Journal. 2019. Vol. 65, No. 1. P. 421–433.

15. Gogate P.R., Tayal R.K., Pandit A.B. Cavitation: a technology on the horizon // Current Science. 2006. P. 35–46.

16. Liu Y., Li B. Numerical Investigation of the Cavitation Characteristics in Venturi Tubes: The Role of Converging and Diverging Sections // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, No. 13. P. 7476.

17. Zheng H., Zheng Y., Zhu J. Recent developments in hydrodynamic cavitation reactors: Cavitation mechanism, reactor design, and applications // Engineering. 2022. Vol. 19. P. 180–198.

18. Carpenter J., Badve M., Rajoriya S., George S., Saharan V.K., Pandit A.B. Hydrodynamic cavitation: An emerging technology for the intensification of various chemical and physical processes in a chemical process industry // Review of Chemical Engineering. 2017. Vol. 33. P. 433–468.

19. Abbas-Shiroodi Z., Sadeghi M.T., Baradaran S. Design and optimization of a cavitating device for Congo red decolorization: Experimental investigation and CFD simulation // Ultrasonics Sonochemistry. 2021. Vol. 71. P. 105386.

20. Kuldeep, Saharan V.K. Computational study of different Venturi and orifice type hydrodynamic cavitating devices // Journal of Hydrodynamics. 2016. Vol. 28. P. 293–305.

21. Chitsaz H.R., Omidkhah M.R., Ghobadian B., Ardjmand M. Optimizing Different Angles of Venturi in Biodiesel Production Using CFD Analysis // Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering. 2019. Vol. 38. P. 285–295.

22. Bashir T.A., Soni A.G., Mahulkar A.V., Pandit A.B. The CFD driven optimisation of a modified Venturi for cavitation activity // Canadian Journal of Chemical Engineering. 2011. Vol. 89. P. 1366–1375.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2024 р.



D. Vitenko, T. Vitenko
Ternopil Ivan Puluj National Technical University

FLOW HYDRODYNAMICS ANALYSIS AND COMPARISON IN CAVITATION DEVICES

Summary

The hydrodynamic and cavitation characteristics of the Venturi tube proposed by Long and the investigated design were analyzed to address the issue of controlling cavitation intensity in industrial applications. The need for improved cavitation control arises because excessive cavitation can lead to material damage and energy losses, while insufficient cavitation reduces process efficiency. Precisely tuning cavitation intensity is critical for optimizing system performance in many industrial sectors, particularly in high-demand environments such as chemical production and energy generation. Adjusting cavitation flow characteristics also provides significant advantages in process control and equipment longevity. This study focused on comparing the Venturi tube design proposed by Long with an alternative model that allows for better regulation of cavitation intensity. The objective was to evaluate both designs' hydrodynamic parameters and cavitation effects.

Two apparatus configurations were modeled: Long's baseline design and the investigated version with adjustable processing modes. The study used fluid dynamics modeling in SolidWorks with the Flow Simulation module. A fine mesh was employed to ensure accuracy in analyzing flow behavior. The research was carried out for the following input parameters: flow rates in the range of 0.00117 – 0.003 m³/s, inlet pressures between 0.35-0.6 MPa, and water temperature at 293 K. Both designs were analyzed with a focus on key parameters such as velocity, pressure distribution, volume of the vapor-gas phase, and cavitation number.

The results showed higher flow velocities and lower minimum pressures for the investigated apparatus, leading to an increased volume of the vapor-gas phase. These findings indicate that the investigated design effectively controls cavitation intensity, suggesting its potential for more efficient use in industrial processes.

Key words: Hydrodynamic cavitation, Venturi tube, SolidWorks Flow Simulation, cavitation intensity, numerical modeling, energy distribution.



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-10

УДК 637.134

С. В. Кюрчев, д.т.н.,

ORCID: 0000-0001-6512-8118

К. О. Самойчук, д.т.н.,

ORCID: 0000-0002-3423-3510

О. П. Ломейко, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-7407-545X

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: kurylo.samoichuk@tsatu.edu.ua, тел.: +380978805485

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПИТНОГО МОЛОКА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СТРУМИННОГО ТА ПУЛЬСАЦІЙНОГО ГОМОГЕНІЗАТОРІВ

Анотація. Для підвищення енергоефективності процесів виробництва питного молока необхідно вирішити проблему високих енерговитрат на процес гомогенізації. Для цього запропоновано впровадження енергоефективних струминних та пульсаційних гомогенізаторів. Але для їх використання підприємствами важливим етапом є коригування існуючої технологічної схеми виробництва молока та перевірка її ефективності експериментальним шляхом. Розробка технологічних схем виробництва питного молока із застосуванням розроблених гомогенізаторів повинна включати вибір режимних і технологічних параметрів роботи кожного типу гомогенізатора. Для того, щоб розробити технологію переробки молока з використанням цих двох гомогенізаторів, необхідно встановити взаємозв'язок між режимами роботи клапанних гомогенізаторів та основними параметрами нових гомогенізаторів. Перевірка якості виробленого молока здійснювалась за основними показниками, які передбачають діючі стандарти та показала повну відповідність виробленого харчового продукту сучасним вимогам.

Ключові слова: гомогенізація, питне молоко, струминний гомогенізатор, пульсаційний гомогенізатор, технологія, технологічна схема.

Постановка проблеми. Актуальною проблемою молочної переробної промисловості, зокрема виробництва питного молока є високі енергетичні витрати на одиницю готового продукту. Відомо, що серед технологічних операцій виробництва питного молока найбільш енергоємними є пастеризація (стерилізація) та гомогенізація [1, 2]. Причому технологічний коефіцієнт подрібнення жирових кульок молока, що відбувається при гомогенізації, є меншим за 1%, тобто свідчить про вкрай неефективне організацію диспергування молочного жиру в сучасних найбільш використовуваних клапанних гомогенізаторах [3, 4].

Для вирішення цієї проблеми розроблені два типи гомогенізаторів: струминний та пульсаційний [5, 6]. Принцип їх дії



докладно описаний в роботах [7 - 9]. Їх використання замість клапанних дозволить знизити собівартість виробництва широкого асортименту продукції, підвищити конкурентоспроможність продуктів, що виробляються в нашій країні, збільшити їх випуск і, в свою чергу, збільшити валовий національний продукт України в цілому [4, 5]. Результати роботи необхідні для зменшення енерговитрат виробництва питного молока на 20-40%, зниження собівартості готової продукції (на 5-15%) та підвищення конкурентоспроможності вітчизняної промисловості і продовольчої безпеки України [6, 7].

Для нашої країни зниження собівартості готової продукції є особливо важливим в контексті підписання міжнародних угод про відкриття азійського ринку для української продукції. Ці переваги підвищують відповідність нашої продукції міжнародним стандартам на 25-30% [8, 9].

Для впровадження розроблених ефективних струминних та пульсаційних гомогенізаторів необхідно розробити технологію та технологічні схеми з вказанням режимних параметрів для кожного типу гомогенізатора їх використання у виробництві для легкої їх імплементації в існуючі виробництва.

Аналіз останніх досліджень. Загально прийнята технологія виробництва питного молока виглядає таким чином (рис. 1) [10-12]. Молоко, що надходить на завод, зберігається у ємностях від 10 000 кг і більше. За температури 4 °С молоко може зберігатися до 24 год. Зберігання молока понад 24 год не рекомендується через те, що можуть змінитися його показники. Прийняте молоко проходить обробку, під час якої воно спочатку очищується від механічних домішок на фільтрах або в сепараторах-молокоочисниках, а потім охолоджується до 4 – 6 °С в охолоджувачах і насосами по трубах подається в ємкості для зберігання.

Питне молоко має відповідати вимогам ДСТУ 2661:2010, які затверджені і введені в дію наказом Держстандарту України № № 456 від 11 жовтня 2010 р.

При виробництві пастеризованого молока, згідно з ДСТУ 2661:2010, використовуються також наповнювачі, серед яких – какао і кава. Згідно зі стандартом, молоко з наповнювачами випускається із вмістом жиру 1,0 або 3,2 %.

Під час приймання молока його пропускають крізь фільтр, а потім – через насос, повітровідокремлювач та лічильник у резервуар проміжного зберігання [13, 14]. За потреби молоко охолоджують на пластинчастих охолоджувачах. Насосом його спрямовують у резервуар для нормалізації за вмістом жиру.

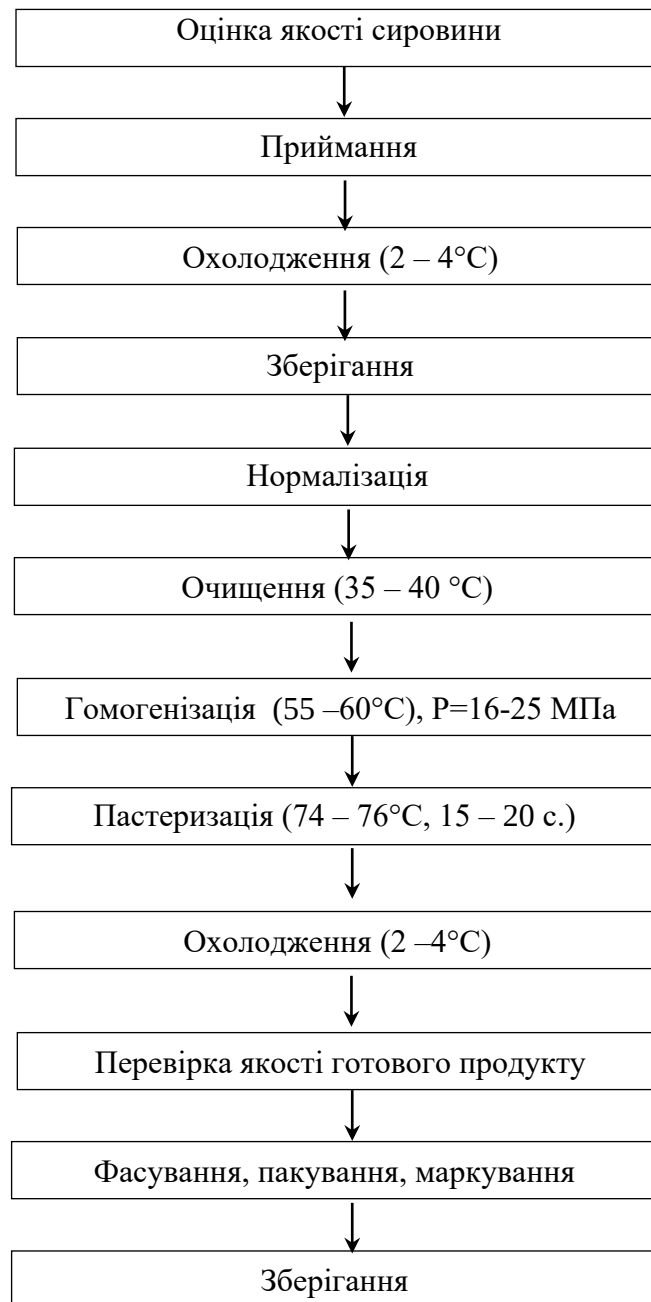


Рис. 1. Класична технологія виробництва питного молока

Нормалізована суміш через насос потрапляє у вирівнювальний бак потім – у пластинчастий теплообмінник, де пастеризується за температури 74 – 76 °C, витримується протягом 15 – 20 с або 85 °C без витримування, або 65 °C з витримування 30 хв і охолоджується до 6 °C та спрямовується на розливання фасування [15, 16].

Найбільш розповсюдженим на виробництві є клапанный тип гомогенізаторів для яких в класичних технологічних схемах приводять режими гомогенізації для типових технологічних схем виробництва харчової (в т.ч. молочної) продукції. Ці дані наведені в таблиці 1 [2, 17, 18].



Таблиця 1

Режими клапанної гомогенізації		
Найменування продукту	Тиск, МПа	Температура, °C
1. Молоко пастеризоване з масовою часткою жиру 3,5...6,0%;		
- вітамінізоване відновлене білкове;	12,5...15,0	62...63
- вітамінізоване відновлене білкове з наповнювачами;	12,5...15,0	62...63
Молоко «Шкільне»;	10,0...15,0	-
Молоко пастеризоване зі зниженою жирністю, солодом та смаковими добавками;	16,0...18,0	45...55
2. Молоко стерилізоване;	7,5...12,5	-
3. Молоко питне	20,0...25,0	70,0
1 ступінь,	20,0...25,0	65,0
2 ступінь	3,0...5,0	-

Таким чином, при використанні клапанних гомогенізаторів в лініях виробництва питного молока необхідно створювати тиск до 15-25 МПа, при якому питомі енерговитрати цього процесу сягають дуже високих значень – до 8 кВт·год/т та суттєво підвищують сумарні енерговитрати на виробництво одиниці готового продукту й, як наслідок, його собівартість [19, 20].

Для розробки нової – скоригованої технології виробництва питного молока з використанням нових типів гомогенізаторів (струминного і пульсаційного) замість клапанного необхідно встановити послідовність виконання технологічних операцій та їх режимні параметри. Це дасть змогу підприємствам-виробникам молочної продукції купувати більш ефективні гомогенізатори та швидко інтегрувати їх у існуючі технологічні лінії.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Мета даної статті – розробки нової технології виробництва питного молока з використанням струминного і пульсаційного гомогенізаторів.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

–встановити послідовність технологічних операцій з виробництва питного молока з використанням струминного і пульсаційного гомогенізаторів;

–встановити режимні параметри технологічних операцій з виробництва питного молока з використанням струминного і пульсаційного гомогенізаторів;

–виготовити партії питного молока з використанням розроблених технологічних схем та перевірити відповідність його якості існуючим в Україні стандартам.



Основна частина. Виробництво питного молока з використанням розроблених гомогенізаторів буде включати такі операції (рис. 2, 3). Під час приймання молока його пропускають крізь фільтр, а потім – через насос, повітровідокремлювач та лічильник у резервуар проміжного зберігання. За потреби молоко охолоджують на пластинчастих охолоджувачах. Насосом його спрямовують у резервуар для нормалізації за вмістом жиру або одразу в струминний гомогенізатор, де відбувається нормалізація. Нормалізована суміш через насос потрапляє у вирівнювальний бак потім – у пластинчастий теплообмінник, де пастеризується за температури 74 – 76°C, витримується протягом 15 – 20 с або 85 °C без витримування, або 65°C з витримування 30 хв і охолоджується до 6 °C та спрямовується на розливання фасування.

Випробування якості питного молока, виготовленого за розробленою технологією з використанням нових типів гомогенізаторів відбувалось у відповідності з таблицею 2.

Таблиця 2

Показники випробування якості виготовленого питного молока

Найменування показника	Стандарт контролю якості
1. Зовнішній вигляд та консистенція	ДСТУ 2661:2010
2. Смак і запах	ДСТУ 2661:2010
3. Колір	ДСТУ 2661:2010
4. Масова частка загального жиру, %	ДСТУ ISO 1211:2002 (ISO 1211:1999, IDT)
5. Масова частка загального білка, %	ДСТУ ISO 8968:2005-2
6. Титрована кислотність, °T	ГОСТ 3624
7. Густина, кг/м ³	ДСТУ 6082:2009
8. Кількість мезофільних аеробних та факультативно- анаеробних мікроорганізмів (кМАФАнМ)	ДСТУ 7357:2013
9. Бактерії групи кишкових паличок (БГКП), колі форми	ДСТУ 7357:2013, ГОСТ 30518-97
10. Патогенні мікроорганізми, зокрема Salmonella	ДСТУ IDF 93A:2003
11. Staphylococcus aureus	ГОСТ 30347-97

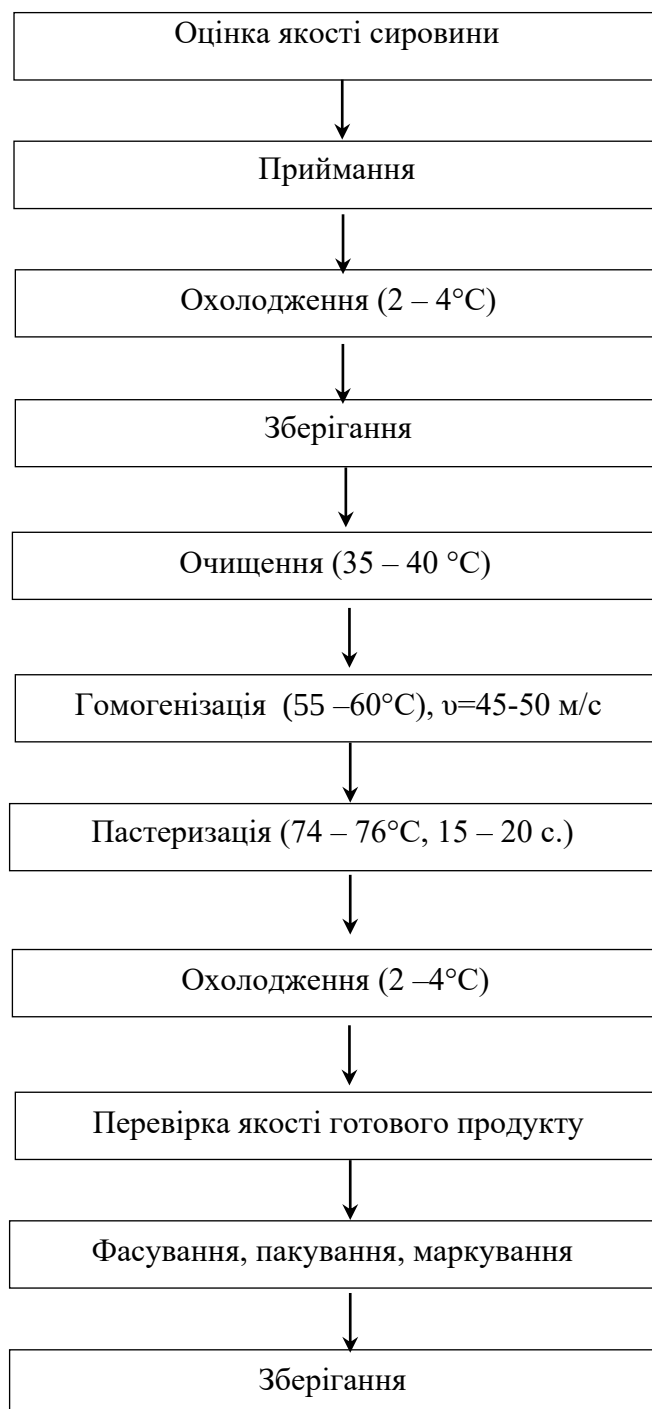


Рис. 2. Технологічні процеси виробництва питного молока при використанні струминного гомогенізатора.

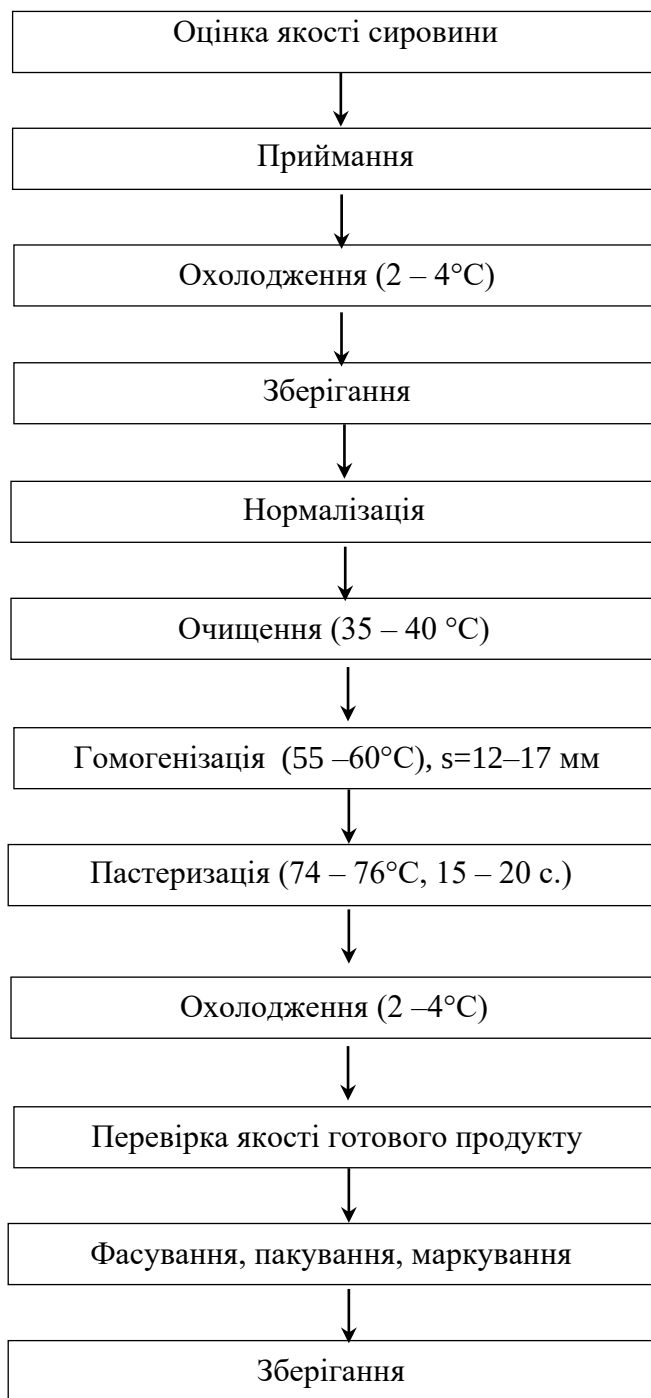


Рис. 3. Технологічні процеси виробництва питного молока при використанні пульсаційного гомогенізатора.

Молочні продукти - молоко питне виготовлялось у відповідності до опису та вимог, наведених вище. Сировиною для виготовлення продуктів було молоко коров'яче за ДСТУ ДСТУ 3662:2018 «Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови» жирністю не менше 3,5% [22, 23].

З молока-сировини було виготовлено по 9 зразків питного молока в трьох партіях (таблиця 3).



Таблиця 3

Характеристика виробленого питного молока

Найменування	1 партія	2 партія	3 партія	Всього
Об'єм молока, л	18	18	19	55
Об'єм виготовленого продукту, л	18	19	18	55
Кількість зразків	3	3	3	9
Об'єм одного зразка, л	5,5	5,5	5,5	
Об'єм переданого продукту, л	16,5	16,5	16,5	49,5
Об'єм аналізованого продукту, л	16,5	16,5	16,5	49,5

В результаті аналізів, проведених у відділі аналітичних досліджень та якості харчової продукції Інституту продовольчих ресурсів НААН України встановлено, що за органолептичними показниками: зовнішнім виглядом та консистенцією, смаком, запахом та кольором - виготовлене питне молоко повністю відповідає нормам.

За фізико-хімічними та мікробіологічними показниками - результати зведені в таблицю 4.

Таблиця 4

Фізико-хімічні та мікробіологічні показники виготовленого питного молока

Показник	Значення за зразками								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Жир, %	3,48	3,50	3,52	3,55	3,50	3,47	3,45	3,47	3,43
Білок, %	3,20	3,22	3,19	3,23	3,19	3,20	3,03	3,1	3,07
Кислотність, °Т	16	16	17	16	16	17	18	18	18
Густина, кг/м ³	1028	1027	1027	1027	1027	1028	1028	1028	1028
Мезофільні мікроорганізми (кМАФАнМ)	$5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^2$	$7 \cdot 10^2$	$7 \cdot 10^2$

Бактерії та мікроорганізми, вміст яких не дозволяється діючими стандартами в виготовлених партіях продукту – не виявлені [24, 25].

Окремо слід виділити колювання жирності молока за якою проводилась нормалізація в струминному гомогенізаторі. Це значення не перевищувало +0,05 -0,07%. Тобто точність нормалізації висока.

Таким чином виготовлене питне молоко повністю відповідають діючим нормам і стандартам та може буде рекомендоване для виробництва.

Висновки. Проаналізовано використання гомогенізації в сучасних технологічних схемах виробництва молочних продуктів та режими класичної – клапанної гомогенізації. Описана класична технологія виробництва питного молока та на її основі розроблені дві технології виробництва питного молока з використанням струминного та пульсаційного гомогенізатора замість клапанного з урахуванням режимів гомогенізації.

Виготовлено партії молочної продукції з використанням розроблених гомогенізаторів. Проведені випробування якості виготовлених партій молока у відділі аналітичних досліджень та якості харчової продукції Інституту продовольчих ресурсів НААН України. Встановлено, що показники якості виготовленої продукції з використанням нових типів гомогенізаторів повністю відповідають існуючим стандартам якості.

Список використаних джерел

1. Rayner M., Dejmek P. Engineering Aspects of Emulsification and Homogenization in the Food Industry. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015. 322 p. <https://doi.org/10.1201/b18436>.
2. Нужин Е. В., Гладушняк А. К. Гомогенизация и гомогенизаторы: монография. Одесса: Печатный дом, 2007. 264 с.
3. Ковальов О. О., Самойчук К. О., Фучаджи Н. О. Методологія дослідження параметрів струминних гомогенізаторів молока. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2023. Вип. 13, т. 1. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-1-15>.
4. Протитечійно-струминна гомогенізація молока: монографія / Г. В. Дейниченко, К. О. Самойчук, С. В. Кюрчев та ін. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2017. 188 с.
5. Самойчук К. О., Ковальов О. О. Розробка лабораторного зразка струминного гомогенізатору з роздільною подачею вершків. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2011. Вип. 11, т. 6. С. 77–83.
6. Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ялпачик В. Ф. Розробка експериментального зразка пульсаційного гомогенізатора молока. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання*. 2023. Вип. 23, т. 1.
7. 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.

8. Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ломейко О. П. Визначення параметрів струминного та пульсаційного гомогенізаторів молока при їх промисловому застосуванні. *Праці ТДАТУ*. 2024. Вип. 24, т. 1. С. 53-62. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-3>.
9. Самойчук К. О., Ковальов О. О. Експериментальні дослідження струминного гомогенізатора з роздільним подаванням жирової фази. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2012. Вип. 28. С. 42–46.
10. Samoichuk K., Yalpachyk V., Kholobtseva I., Dmytrevskyi D., Chervonyi V. Design Improvement of the Rotary-Pulsation Device by Resonance Phenomena. In: *Ivanov, V., Pavlenko, I., Edl, M., Machado, J., Xu, J. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. DSMIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2024. P. 74–83.
11. 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.
12. Самойчук К. О., Ковальов О. О., Султанова В. О. Якість та енергетична ефективність процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2015. Вип.15, т. 1. С. 240–248.
13. Wang X., Wang Y., Li F., Li L., Ge X., Zhang S., Qiu T. Scale-up of microreactor: Effects of hydrodynamic diameter on liquid–liquid flow and mass transfer. *Chem. Eng. Sci.* 2020. Vol. 226., e115838. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115838>.
14. J. Morales A., Watts J. McConville, Mechanical particle-size reduction techniques. *AAPS Adv. Pharm. Sci.* 2016. Vol. 22. P. 165–213. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42609-9_4.
15. Ялпачик В.Ф., Загорко Н.П., Паляничка Н.О., Буденко С.Ф., Самойчук К.О., Кюрчев С.В., Верхованцева В.О., Олексієнко В.О., Циб В.Г. Технологічне обладнання для переробки продукції тваринництва: лабораторний практикум / В. Ф. Ялпачик, Н. П. Загорко, Н. О. Паляничка та ін. Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. 274 с.
16. Dhankhar P. Homogenization fundamentals. *IOSR J. Eng.* 2014. Vol. 4. P. 1–8. <https://doi.org/10.9790/3021-04540108>.
17. Huppertz T. Homogenization of Milk Other Types of Homogenizer (High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification). *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2nd ed. Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2011. P. 761–764. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00226-0>.
18. Acharyaa S., Mishrab V., Patelc J. Enhancing the mixing process of two miscible fluids: A review. *AIP Conference Proceedings*. 2021. Vol. 2341. e030025. <https://doi.org/10.1063/5.0051818>.



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

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

21. 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>.

22. 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. e115838. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115838>.

23. Liao Y., 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. <https://doi.org/10.1016/J.CES.2009.04.026>.

24. Postelmans A., Aernouts B., Jordens J., Van Gerven T., Saeys W. Milk homogenization monitoring: Fat globule size estimation from scattering spectra of milk. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2020. Vol. 60. e102311. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102311>.

25. 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.

Дослідження виконано в рамках науково-технічної роботи "Розроблення технології переробки молочних продуктів з використанням нових типів гомогенізаторів", яка фінансувалась МОН за договором № ДЗ/132 - 2022.

Стаття надійшла до редакції 28.09.2024 р.

S. Kiurchev, K.Samoichuk, O. Lomeiko
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

DEVELOPMENT OF DRINKING MILK PRODUCTION TECHNOLOGY USING STREAM AND PULSATION HOMOGENIZERS

Summary

To increase the energy efficiency of drinking milk production processes, it is necessary to solve the problem of high energy consumption for the homogenization process. For this purpose, the introduction of energy-efficient stream and pulsating



homogenizers is proposed. But for their use by enterprises, an important step is to adjust the existing technological scheme of milk production and check its effectiveness experimentally. The purpose of this article is to develop a new technology for the production of drinking milk using jet and pulsating homogenizers.

To achieve the goal, the article establishes the sequence of technological operations for the production of drinking milk using jet and pulsation homogenizers. Regime parameters of technological operations for the production of drinking milk using jet and pulsating homogenizers have been established. The list of technological operations of new technological schemes for the production of drinking milk include: evaluation of the quality of raw materials, reception of milk, its cooling, storage, cleaning, homogenization, pasteurization, cooling, inspection of the quality of the finished product, packaging, packaging and labeling and storage. Batches of drinking milk were produced using the developed technological schemes and checked for compliance of its quality with existing standards in Ukraine. Batches of dairy products were produced using the developed homogenizers. As a result of the analyzes carried out in the department of analytical research and quality of food products of the Institute of Food Resources of the National Academy of Sciences of Ukraine, it was established that according to organoleptic indicators: appearance and consistency, taste, smell and color, the produced drinking milk fully meets the standards. Bacteria and microorganisms, the content of which is not allowed by the current standards in the manufactured batches of the product, were not detected. Separately, it is necessary to highlight the fluctuations of the fat content of milk, according to which normalization was carried out in the jet homogenizer. This value did not exceed $+0.05 - 0.07\%$. That is, the accuracy of normalization is high. Drinking milk produced in this way fully complies with current norms and standards and can be recommended for production.

Key words: homogenization, drinking milk, stream homogenizer, pulsation homogenizer, technology, technological scheme.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-11

УДК 634.11:631.82

В. В. Машківський, асп.,

ORCID: 0009-0000-8163-2875

І. Є. Іванова, к.с.-г.н.

ORCID: 0000-0003-2711-2021

І. А. Кривонос, ст. викл.

ORCID: 0000-0001-7079-5150

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного*

e-mail: vitya_m1983@ukr.net, тел.: +380968494203

ФОРМУВАННЯ СЕРЕДНЬОЇ МАСИ ПЛОДІВ ЯБЛУНІ ЗА ДІЇ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Анотація. Яблуня серед плодових культур в Україні є культурою-лідером по займаній площі насаджень, показникам врожаю та затребуваності плодів у свіжому вигляді на ринку країни та за її межами. Це обумовлено унікальною адаптивною спроможністю культури, розмаїттям її господарсько цінних ознак, традиціями населення, дієтичними та лікувально-профілактичними якостями плодів. Відповідно до Державної програми відродження галузі садівництва заплановано збільшити площі інтенсивних садів за рахунок насичення їх сортами, які забезпечують вирощування конкурентоспроможної продукції для споживача.

Інтенсифікація вирощування культури, яка базується на підборі сортів, підщеп, оптимізації агротехнічних заходів й, зокрема, удобрення в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах є актуальним питанням сьогодення. Метою досліджень було – розробити систему удобрення дослідженого сортименту яблуні, яка б забезпечила оптимальні показники якості плодів досліджуваної культури. В ході досліджень було виявлено формування маси плодів в залежності від рівнів удобрення.

Досліджувані сорти відрізнялися розмірами. Найбільша їх середня маса відзначена у сорті «Голден Делішес» (154г) і найменша у – «Флоріна» (105г). Застосування мінеральних добрив сприяло збільшенню маси яблук сортів «Айдаред» та «Голден Делішес».

Ключові слова: сорти плодів яблук, показники якості, рівні удобрення, дисперсійний аналіз, фактор.

Постановка проблеми. Плодова продукція завжди мала одне з пріоритетних значень для харчування. Плоди зерняткових та кісточкових культур містять комплекс вітамінів, легкозасвоюваних вуглеводів, органічних кислот та мікроелементів. Останні є невід'ємною умовою повноцінного функціонування організму людини. Відсутність зазначених фітонутрієнтів призводить до дисбалансу поживних речовин і може спричинити ожиріння, втрату імунітету і формування певних захворювань [1, 2].



Таким чином, збільшення виробництва продукції садівництва, зокрема плодів яблук і покращання їх якості є одним з пріоритетних соціально-економічних завдань, особливо в умовах розбудови України у воєнний та післявоєнний періоди [3].

Головним чинником ринкових відносин та показників харчової безпеки є конкурентоздатність продукції. Розрахунки науковців визначили, що для забезпечення оптимальної ефективності в умовах сьогодення забезпечення мінімального врожаю плодів яблуні повинно становити не менше 15 тон з гектару. Вихід вищого і першого товарних сортів повинен становити 85-90%. Для отримання якісної товарної продукції необхідно чітко витримувати всі умови технологічних карт, а особливо з формування, удобрення, захисту від хвороби і шкідників [4, 5, 6].

Враховуючі вищенаведене головним напрямком підвищення продуктивності насаджень яблуні є інтенсифікація їх вирощування. Тому, застосування добрив та удосконалення системи удобрення в садах є важливим заходом, який буде сприяти поліпшенню кореневого живлення рослин, а звідси підвищенню їх урожайності та якості плодів [7, 8].

Аналіз останніх досліджень. Одним з найважливіших показників, за яким судять про маркетингову затребуваність плодової сировини, що потрапляє на сучасний ринок споживача є розмір та маса плодів [9, 10].

Нераціональна діяльність людини призводить до антропогенних стресів, погіршення якості плодової сировини та її збереженості. Загальними маркерами, які відображають негативний вплив стресорів вважаються припинення росту та розвитку плодових рослин, а на рівні фітоценозів – зниження їх урожайності та товарності плодів [11, 12].

Одним із факторів інтенсифікації садівництва є також підбір високопродуктивних сортів. Інтенсивність ростових процесів, рівень урожайності, якість плодів значною мірою залежить від особливостей сорту [13, 14]. Великої популярності набув сорт американської селекції «Айдаред». Крім відомих якостей (скоро- та крупноплідність, регулярна врожайність), він характеризується підвищеною посухо- й жаростійкістю, що дозволяє успішно його вирощувати в районах з недостатньою зволоженістю [15].

Необхідний ріст продуктивності плодових насаджень в процесі їх вирощування забезпечується рядом агрозаходів, серед яких важливе значення має раціональне застосування добрив [16].

Як вказують Д. М. Грозов і С. І. Тома [17], підтримання оптимального рівня живлення в садах необхідне для отримання запасних пластичних речовин, від наявності яких залежить величина вегетативних приростів, цвітіння, утворення зав'язі і плодоношення.



Технічні показники плодової продукції є основними параметрами її якості і товарності. До них можна віднести такі як маса плодів та найбільший поперечний діаметр [18].

Маса та розмір плодів є сортовими ознаками, які змінюються залежно від віку та стану материнської рослини, завантаженості її врожаєм, агротехніки вирощування та метеорологічних умов. Такі стресові погодні умови періоду формування плодів, як весняні заморозки, надмірні опади під час цвітіння, сухе та жарке літо мають істотний вплив на функціонування біологічної системи плодових дерев [19, 20].

Плоди різних помологічних сортів яблуні за масою і розмірами поділяють на 2 групи – великоплідні та інші різновиди [21]. Сорти яблуні з середньою масою плодів понад 150 г та діаметром 70 – 90 мм, характеризуються вищою товарністю та користуються більшим попитом у споживачів [22].

З погляду на це, важливим етапом наших досліджень було б дослідити формування маси плодів в залежності від рівнів удобрення в ґрунтово-кліматичних умовах Правобережного Лісостепу України.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Мета досліджень полягала в удосконаленні удобрення насаджень сортів яблуні на основі оптимізації поживного режиму ґрунту. Для реалізації мети досліджень необхідно виконати наступне завдання: дослідити формування маси плодів яблук досліджуваних сортів за дії різних доз і співвідношень внесених у ґрунт мінеральних добрив.

Для розв'язання поставлених завдань нами проводились дослідження в стаціонарному польовому (садовому) досліді у виробничих умовах. Агротехнічні заходи проводили у відповідності з рекомендаціями по догляду за інтенсивними садами в спеціалізованих господарствах Київської області. Для дослідження було обрано сорти яблук: «Айдаред», «Голден Делішес», «Флоріна».

Дослід було закладено в 2020-2023 роках за схемою:

1. Без добрив (*контроль*);
2. $N_{60}P_{60}K_{60}$
3. $N_{120} P_{60} R_{60}$
4. $N_{60} P_{120} K_{60}$
5. $N_{60} P_{60} K_{120}$

Повторність дослідів чотирьох-разова. Варіанти розміщені за випадково-вибірковим методом (рандомізованим). В кожному варіанті знаходиться 6 облікових дерев.

Добрива, у вигляді суперфосфату гранульованого і калійної солі, в дозах 60 та 120 кг/га діючої речовини кожного елемента живлення вносили восени під обробіток ґрунту. Аміачну селітру, у тих же дозах



діючої речовини, застосовували весною за 14-16 днів до цвітіння під першу культивуацію.

Основна частина. Основним показником, що є в основі товарної характеристики плодів це їх середня маса. На досліджуваний показник якості плодів мають вплив наступні фактори: погодні параметри року, сорт, врожайність, кількість мінеральних добрив внесених під культуру [23, 24, 25].

Дослідження представлені в Таблиці 1 констатують, що за період проведення експерименту маса плодів досліджуваних сортів була різною і залежала від низки факторів. Так, у насадженнях сорту «Голден Делішес» (у варіанті без добрив) за роки досліджень маса плодів істотно перевищувала їх у дерев сорту «Айдаред» і «Флоріна» і коливалась у межах 126,4-192,8 г. Велике навантаження плодами дерев сорту «Флоріна» призвело до зменшення їх маси (84,3-138,5 г), яка була достовірно меншою у порівнянні з контрольним сортом «Айдаред» і «Голден Делішес». Проміжне місце цього показника займав сорт «Айдаред», де плоди протягом періоду ведення досліджень сягали 11300-137,5 г. У середньому за три роки у сортів «Айдаред», «Голден Делішес» і «Флоріна» аналізований показник складав відповідно 124,5, 154,0 і 105,1 г. Дані дисперсійного аналізу (Табл. 1) показують, що величина плодів більше всього залежала (77-85%) від особливостей вибраних для досліджень помологічних сортів яблуні, нижчим рівнем впливу характеризувався фактор “добрива” – 2-9%.

У насадженнях сорту «Айдаред» в 2020 році середня маса плоду при застосуванні різних доз і співвідношень мінеральних добрив знаходилась на рівні контрольного варіанту або ж нижче від нього. Тобто, впливу добрив не відмічалось. У 2021-2022 рр. у всіх варіантах з добривами, крім N₆₀P₆₀K₆₀, величина аналізованого показника суттєво була вищою від варіанту “без добрив”.

Таблиця 1

Середня маса плодів яблуні досліджуваних сортів за різних доз мінеральних добрив, г

Сорт (фактор А)	Удобрення (фактор В)	Середнє за три роки	У, % до контролю
«Айдаред» (контроль)	Без добрив (контроль)	124,5	100,0
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	127,6	102,5
	N ₁₂₀ P ₆₀ R ₆₀	135,6	108,9
	N ₆₀ P ₁₂₀ K ₆₀	140,7	113,0
	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	134,3	107,9

*Продовження таблиці 1*

«Голден Делішес»	Без добрив (контроль)	154,0	100,0
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	160,1	104,0
	N ₁₂₀ P ₆₀ R ₆₀	159,8	103,8
	N ₆₀ P ₁₂₀ K ₆₀	160,2	104,0
	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	160,9	104,5
«Флоріна»	Без добрив (контроль)	105,1	100,0
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	108,5	103,2
	N ₁₂₀ P ₆₀ R ₆₀	96,0	91,3
	N ₆₀ P ₁₂₀ K ₆₀	96,0	91,3
	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	105,9	100,8
НІР ₀₅ 1,46			

Підвищені дози азоту і фосфору в складі повного мінерального добрива також істотно підвищували масу плодів за останні два роки і в порівнянні з одинарними дозами основних елементів живлення. За пересічними даними вказані дози елементів живлення сприяли збільшенню аналізованого показника на 2,5- 13,0% від контролю.

Аналогічну закономірність ми спостерігали у дерев сорту «Голден Делішес», де внесення різних доз і співвідношень мінеральних добрив також сприяло підвищенню маси плодів в 2020 і 2022 роках. Зниження цього показника в 2021 році відмічалось у варіантах з подвійними дозами фосфору і калію в складі повного мінерального добрива. Маса плодів у середньому за три роки у варіантах з добривами складала 159,8-160,9 г, що на 3,8-4,5% більше від контролю.

Зовсім по-іншому на внесення мінеральних добрив реагували дерева сорту «Флоріна». Підвищені дози всіх трьох елементів живлення (N₁₂₀P₆₀K₆₀, N₆₀P₁₂₀K₆₀, N₆₀P₆₀K₁₂₀) в 2022 році сприяли утворенню плодів більшої маси в порівнянні з контролем і з варіантом N₆₀P₆₀K₆₀. У першому році досліджень (2020) маса плоду збільшувалася порівняно з контролем у варіантах N₆₀P₆₀K₆₀ і N₆₀P₆₀K₁₂₀, та імовірно була нижчою в порівнянні з варіантом N₆₀P₆₀K₆₀ при внесенні подвійних доз азоту і фосфору в складі повного добрива.

Достовірне зменшення середньої маси яблук ми відмічали в 2021 році у всіх варіантах з добривами як від контролю, так і від внесення



одинарних доз елементів живлення. Це пов'язано із значним навантаженням дерев плодами в цьому році, що в кінцевому рахунку знизило їх товарні якості.

Висновки. Узагальнюючі отримані експериментальні данні можна відзначити: досліджувані сорти відрізнялися розмірами; найбільша їх середня маса відзначена у сорту «Голден Делішес» (154 г) і найменша – «Флоріна» (105 г); застосування мінеральних добрив сприяло збільшенню маси яблук сортів «Айдаред» та «Голден Делішес».

Список використаних джерел

1. Thomas O. Alles Marke® oder nichts. *Obstbau Weinbau*. 2002. № 10.
2. Damien D. Der Klub Tentaton. *Obstbau Weinbau*. 2002. № 10.
3. Allan G. W. Die gegenwärtigen Züchtungsziele – Vision der „Sorte 2010“. *Obstbau Weinbau*. 2002. № 10.
4. Гнатюк В. О. Листкове живлення саджанців. *Двомісячник*. 2016. № 1(13).
5. Копитко П. Г. Удобрення плодових і ягідних культур: навчальний посібник. Київ: Вища школа, 2001.
6. Ямковий В. І. Продуктивність яблуні залежно від застосування мікродобрив «УА Росток». *Двомісячник*. 2016. № 2(14).
7. Журавльов В. П., Хоменко К. Б. Технології вирощування яблунь. *Наукові читання–2023: мат. наук.-практ. конференції ...* (19 квітня 2023 р.). Житомир: Поліський національний університет, 2023. Т. 3.
8. Гель І. М. Ботанічна класифікація плодових і ягідних культур: курс лекцій для студентів спеціальності 6.130100 „Агрономія” та 6.130.103 „Плодоовочівництво і виноградарство”. Львів, 2011.
9. Гель І. М. Систематика плодових культур: курс лекцій для студентів спеціальності 6.130103 „Плодоовочівництво і виноградарство”. Львів, 2009.
10. Гель І. М. Біологія і морфологія плодових культур: метод. рекомендації для студентів спеціальності 6.130103 „Плодоовочівництво і виноградарство”. Львів, 2007. 30 с.
11. Гулько Б. . Інтенсивна технологія вирощування яблуні: навч. посібник для студентів спеціальності „Плодоовочівництво і виноградарство”. Дубляни, 2015.
12. Боровик Е. С. Урожайность сортов яблони на клоновых подвоях в узкорядном саду. *Садівництво*. 2005. Вип. 57.
13. Дрозд О. О. Зміни в садах Бенілюксу. *Новини садівництва*. 2007. № 4.
14. Осадчий В. О., Мельник О. В. Ефективність типів яблуневого саду. *Новини садівництва*. 2007. № 2.



15. Мельник О. В. Крупнотоварне садівництво Чилі. *Новини садівництва*. 2007. № 1.
16. Мельник О. В., Мелехов І. О. Моделі виробників яблук у Євросоюзі. *Новини садівництва*. 2007. № 3.
17. Барабаш О. І., Китаєв О. І., Дубровський В. І. Оцінка посухо- та жаростійкості однорічних сортопідщепних комбінуваних яблуні за функціональним станом їх листкового апарату. *Садівництво*. 2000. Вип. 51.
18. Бабук В. И. Основные показатели минерального питания растений и принципы разработки системы применения удобрений при интенсивной культуре яблони. *Актуальные вопросы интенсивной технологии в плодоводстве*. 2014.
19. Балабак А. В. Еколого-біологічні аспекти застосування біостимуляторів росту рослин. *Екологія – шляхи гармонізації відносин природи та суспільства*: зб. тез IV міжвузівської наук.- практ. конф. 16–17 жовтня. Умань, 2014.
20. Рослинництво України – 2015: статистичний збірник / Державна служба статистики України; відпов. за вип.: О. М. Прокопенко. Київ, 2016. 180 с.
21. Бондаренко А. А. К диагностике минерального питания плодовых растений. *Диагностические потребности растений в удобрениях*. М., 2010.
22. Вплив позакореневої обробки макроелементами на ріст, урожайність та функціональний стан дерев яблуні / О. С. Горб, О. І. Китаєв, В. А. Скрыга та ін. *Садівництво*. 2010. Вип. 63.
23. Грозов Д. Н., Чекан А. С. Влияние макро- и микроэлементов на физиологическое состояние деревьев яблони. *Макро-и микроэлементы в регуляции обмена веществ растений*. Кишинев, Штиинца, 2013.
24. Громова В. С. Накопление тяжелых металлов и радионуклидов в яблоневых садах. *Садоводство и виноградарство*. 2014. № 4.
25. Громова В. Т., Тимощук Е. В., Уколова Т. П. Экологическая оценка опытов по длительному применению минеральных удобрений при возделывании яблоневых садов. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2005.

Стаття надійшла до редакції 29.09.2024 р.



V. Mashkivskyi, I. Ivanova, I. Kryvonos
Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

FORMATION OF THE AVERAGE WEIGHT OF APPLE FRUIT UNDER THE INFLUENCE OF MINERAL FERTILISERS

Summary

Among fruit crops in Ukraine, apple is the leading crop in terms of planted area, yield and demand for fresh fruit in the country and abroad. This is due to the unique adaptive capacity of the crop, the diversity of its economically valuable traits, the traditions of the population, and the dietary and therapeutic and prophylactic qualities of the fruit. Fruits of pome and stone fruit crops contain a complex of vitamins, easily digestible carbohydrates, organic acids and trace elements. The latter are an essential condition for the full functioning of the human body. According to the State Programme for the Revival of the Horticulture Sector, it is planned to increase the area of intensive orchards by saturating them with varieties that ensure the cultivation of competitive products for consumers.

The intensification of crop cultivation based on the selection of varieties, rootstocks, optimization of agronomic measures and, in particular, fertilization in specific soil and climatic conditions is a pressing issue today. The aim of the research was to develop a fertilization system for the studied apple variety that would ensure optimal fruit quality indicators of the crop under study. To achieve the goal of the research, the following task was performed: to study the formation of fruit weight of apples of the studied varieties under the influence of different doses and ratios of mineral fertilizers applied to the soil. The research revealed the formation of fruit weight depending on fertilization levels.

The studied varieties differed in size. The highest average weight was observed in the «Holden Delishes» variety (154g) and the lowest in «Florina» (105g). The use of mineral fertilizers contributed to an increase in the weight of apples of «Aidared» and «Holden Delishes» varieties.

Key words: apple fruit varieties, quality indicators, fertilizer levels, analysis of variance, factor.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-12

УДК [577.112.083:635.655]:613.2

Р. В. Шкарапута, аспірант

ORCID: 0009-0009-9497-1222

О. Ю. Мельник, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-9201-7955

Сумський національний аграрний університет

e-mail: roman.shkaraputa@snau.edu.ua, тел.: +380964328072

ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПІВФАБРИКАТІВ З РОСЛИННОГО М'ЯСА

Анотація. В умовах швидкого росту кількості населення питання забезпечення його продуктами харчування, зокрема білком, постає особливо гостро. Проектування рецептур напівфабрикатів з використанням рослинної сировини дозволить розширити асортимент продукції високої біологічної цінності для різних груп населення, зокрема для веганів. Такі вироби, виготовлені з використанням білкових гідролізатів, рапсової та кокосової олій, структуроутворювачів, смако-ароматичних добавок мають органолептичні показники, близькі до показників якості виробів з тваринного м'яса. Внесення у напівфабрикат структуроутворювачів зумовлює зміни органолептичних показників нового виробу та його структурно-механічних властивостей. Для отримання необхідної структури напівфабрикату у склад рецептурної суміші додавали модифікований крохмаль, псиліум та метилцелюлозу.

Отримані результати по визначенню доцільності використання різних структуроутворювачів у рецептурі напівфабрикатів свідчать про те, що найкращі показники якості мали зразки з використанням модифікованого крохмалю, їх структура була пружною, в міру щільною, однорідною, напівфабрикати гарно утримували форму.

Розширення асортименту напівфабрикатів з використанням рослинної білковмісної основи потребує подальшого дослідження і є важливим напрямком виробництва продукції нового покоління із заданим складом, підвищеної біологічної і харчової цінності для забезпечення населення продуктами харчування.

Ключові слова: білкові ізоляти, соєві пластівці, модифікований крохмаль, рослинний білок, показники якості, альтернативний білок.

Постановка проблеми. Білок є обов'язковим компонентом харчування людини і отримання його організмом з позиції харчування має велике значення та здійснює значний вплив на збереження екології. До останнього часу м'ясо було основним джерелом високоякісних білків, воно і зараз широко споживається людьми для забезпечення фізіологічних потреб. Проте процес вирощування худоби для виробництва м'яса потребує використання величезних земельних та водних ресурсів, ведення фермерського господарства здійснює значний вплив на навколишнє середовище та призводить до підвищення рівня



викидів в атмосферу парникових газів (1–3). В м'ясі можуть зустрічатися патогенні мікроорганізми, які можуть стати збудниками багатьох захворювань, пов'язаних з харчуванням (4). Відомо, що споживання продуктів тваринництва, зокрема червоного м'яса, може бути причиною розвитку ішемічної хвороби серця, сприяти ожирінню та збільшувати ризик запалення суглобів (5) і розвитку колоректального раку (6). Тому все більше людей намагаються їсти менше м'яса або зовсім відмовляються від нього за станом здоров'я. Щоб зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, підвищити якість харчування та зробити виробництво продуктів харчування сталим, створюються альтернативи звичайним продуктам тваринного походження на основі рослинної сировини.

Рослинні білки є найвідомішою та популярною формою сучасного альтернативного білку. Деякі рослинні продукти відносять до повноцінних, серед них бобові, кіноа, насіння кунжуту та чіа, продукти переробки водоростей та комах.

Білок рослинного походження легше засвоюється, містить ті ж амінокислоти, що і звичайне м'ясо. Окрім різноманіття смаків і широкого вибору, важливою перевагою рослинного м'яса є його позитивний вплив на здоров'я. Цей інноваційний продукт містить безліч необхідних вітамінів, мінералів і антиоксидантів. Замінники м'яса містять менше насичених жирів та холестерину в порівнянні з традиційними продуктами, що може знизити ризик серцевих та інших хронічних захворювань, а також допомогти нормалізувати рівень холестерину в крові та артеріальний тиск.

Аналіз останніх досліджень. За походженням аналоги м'яса можна класифікувати на два основні типи: культивоване м'ясо та аналоги рослинного м'яса. Культивоване м'ясо описується, як «вирощене в лабораторії», яке утворюється зі стовбурових клітин тварин у спеціальному вітамінному субстраті (7,8), таке м'ясо вирощується в чистому та контрольованому середовищі, тому гарантовано не хворіє на хвороби великої рогатої худоби. Однак, виробництво кілограма «штучного м'яса» орієнтовно коштує 10 000 доларів США, що більш ніж у 1000 разів перевищує ціну звичайного м'яса. Таке м'ясо в наш час мало сприймається споживачами, оскільки не достатньо вивчене та потребує глибокого дослідження (9,10).

М'ясні продукти рослинного походження - це харчові продукти, які в основному складаються з білків рослинного походження.

Останніми роками дослідження рослинної сировини з високим вмістом білка проводили науковці США, Канади, Європи та Азії. Вченими було досліджено соєві боби, які містили багато рослинного білка (11). Значну увагу канадських вчених привертала конопля та горох, європейські вчені досліджували лущений горох та гірчицю. Соя



та мунгбін стали об'єктом дослідження науковців Індії, Японії та Китаю, як сировина місцевого значення.

Дані дослідження були направлені на аналіз хімічного складу сировини, її харчової та біологічної цінності для потенційного використання рослинного білку в харчовій промисловості у виробництві альтернатив тваринного м'яса.

Формулювання мети статті. Метою нашої роботи стала розробка технології напівфабрикатів з використанням білкової сировини та оцінка їх властивостей. Для цього проводили аналіз досліджень по використанню сировини з підвищеним вмістом білку у виробництві продукції для різних груп населення, зокрема веганів, здійснювали вибір сировини, проектували рецептуру напівфабрикатів та досліджували їх органолептичні властивості.

Основна частина. Білки відносять до речовин, які приймають важливу роль у процесах життєдіяльності людського організму, є важливим компонентом для росту та побудови тканин. Також білки є одним з основних компонентів харчування людей та складовою різних сировинних джерел, в першу чергу бобових (горох, нут, соя, боби), злакових культур (кукурудза, рис, пшениця), олійних культур (рапс, ріпак, соняшник) (13,14). Вид та тип білку, його кількість та структура зумовлюють його фізико-хімічні властивості, функціонально-технологічні характеристики. Спектр білкової сировини, яка використовується для виробництва рослинного м'яса, досить широкий (15). Одним із основних інгредієнтів є соєвий білок та його концентрат, оскільки має низьку вартість, збалансований амінокислотний склад, доступний та здатний утворювати після гідратації текстуру напівфабрикатів, яка близька за своїми властивостями до структури м'яса, та забезпечує проєктований білок властивостями тваринних аналогів (16,17). Білок сої може використовуватися також у профілактиці захворювань серцево-судинної системи, сприяє зниженню рівня холестерину та зменшує ризики виникнення ішемічної хвороби серця (18).

Гороховий білок має низьку алергенність, є найбільш перспективним для застосування через його високу поживну цінність, високу емульсійну та піностабілізуючу здатність (20). Структури на основі гороху є значно м'якшими та менш еластичними, ніж продукти на основі сої, через їхню слабку гелеутворюючу здатність (21). Слід звернути увагу на те, що, хоча рослинні білки є хорошими джерелами білка, багато з них не містять однієї або кількох незамінних амінокислот, тому використання додаткових джерел білку у виробництві аналогів м'яса, як для харчування, так і для функціональних цілей є прийнятним та бажаним (22).

Для проектування рецептури напівфабрикатів слід враховувати їх здатність до синергічної взаємодії з іншими компонентами та обмеженість у споживанні окремих білків. Якість рослинних аналогів м'яса, зовнішній вигляд, текстура, смак буде залежати від рецептури зразка. Відомо, що в разі використання глютену для приготування нагетсів з рослинної сировини відбувається покращення органолептичних властивостей (23), а використання соєвих пластівців у кількості 5,0-10,0% сприяє створенню структури продукту близької до текстури м'яса (24). Крім білкової сировини для утримування вологи та надання виробам необхідних структурно-механічних властивостей використовують структуроутворювачі, серед яких широкого використання набули клейковина, модифікований крохмаль, декстрин та декстроза. Внесення структуроутворювачів до складу напівфабрикатів покращує їх текстуру, підвищення їх вмісту сприяє утворенню більш волокнистих продуктів з меншою соковитістю. А для підвищення біологічної цінності виробів та сприйняття споживачами, до їх складу можуть додавати мікроелементи, такі як кальцій, залізо, та вітаміни, зокрема вітаміни групи В, вітамін А та токоферол.

Після аналізу літературних даних було спроектовано рецептурний склад напівфабрикатів для бургерів з використанням рослинної сировини, в склад яких ввійшли білкові компоненти (гороховий ізолят), соєві пластівці, вода, жирова складова (кокосове масло, ріпакова олія), структуроутворювачі, барвники та смако-ароматичні речовини (спеції).

Для утворення необхідної структури напівфабрикатів використовували метилцелюлозу, модифікований крохмаль та псиліум, які зумовлювали зміну структури нових виробів, їх зовнішнього вигляду та органолептичних показників. Для визначення доцільності використання окремого структуроутворювача проводили органолептичну оцінку готових виробів, визначення зовнішнього вигляду, кольору, текстури, запаху та смаку. Результати проведених досліджень представлено у таблиці 1.

Оцінка якості білкових напівфабрикатів з використанням модифікованого крохмалю показала, що готовий виріб мав однорідну структуру, щільну та пружну, гарно тримав форму та мав рожево-сірий колір з вираженим ароматом спецій та приємним смаком. Використання псиліуму у складі напівфабрикату сприяло утворенню занадто щільної та пружної структури, виріб мав рожево-сірий колір, на поверхні виднілися сірі краплі. Вироби з використанням метилцелюлози мали мазку текстуру, погано формувалися, оцінка запаху та смаку показала наявність хімічного, не властивого харчовим продуктам аромату.



Таблиця 1

Результати визначення органолептичних властивостей напівфабрикату з різними структуроутворювачами

Показники якості	Напівфабрикат з внесенням псиліуму	Напівфабрикат з внесенням модифікованого крохмалю	Напівфабрикат з внесенням метилцелюлози
Зовнішній вигляд	Колір рожево-сірий, наявні крапління	Колір рожево-сірий, поверхня однорідна	Сіро-рожевий, поверхня мастка
Текстура виробу	Однорідна, пружна, суха, дещо щільна, виріб добре тримає форму	Однорідна, пружна, форму утримує добре	Не щільна, погано тримає форму
Запах і смак	Властивий напівфабрикату з приємним ароматом спецій	Властивий напівфабрикату з приємним ароматом спецій	Присутній сторонній запах та присмак

Враховуючи результати аналізу літературних джерел та отриманні дані щодо доцільності використання структуроутворювачів в рецептурі рослинних напівфабрикатів, було спроектовано рецептуру бургерів для веганів. Рецептура бургерів для веганів з використанням білкової рослинної сировини представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

Рецептура бургерів з використанням білкової рослинної сировини

№ з/п	Компонент рецептури	Рецептура, %	Витрати на 100 кг напівфабрикату, кг
1	Пластівці сої	25,0	25,0
2	Гороховий ізолят	8,0	8,0
3	Картопляний крохмаль модифікований	4,5	4,5
4	Вода	40	40,0
5	Кокосове масло	7,0	7,0
6	Ріпакова олія	7,0	7,0
7	Суміш спецій, сіль	8,2	8,2
8	Буяковий порошок	0,3	0,3
	Всього	—	100,0
	Вихід	-	100,0



Аналіз органолептичних показників напівфабрикатів для бургерів показав, що шляхом поєднання різних видів рослинної білкової сировини та добавок для надання їм необхідної структури та смаку, можна розширити асортимент рослинних аналогів м'яса підвищеної харчової та біологічної цінності, які можуть стати альтернативою для людей, які відмовилися від тваринної продукції, надають перевагу здоровому харчуванню та є прихильниками ведення екологічного сільського господарства.

Висновки. В умовах необхідності зниження негативного впливу на навколишнє середовище діяльності людини, розроблення високоякісних продуктів з підвищеною біологічною цінністю, як альтернативи продуктам тваринництва, є одним з шляхів його зменшення.

Результати проведених досліджень дозволяють вважати доцільною розробку напівфабрикатів з рослинної сировини, які можуть стати альтернативою м'ясу. Відповідно спроектований склад напівфабрикатів дозволяє створити продукт близький за органолептичними показниками до продукту аналогу з тваринної сировини. Отримані результати по визначенню доцільності використання різних структуроутворювачів у рецептурі напівфабрикатів свідчать про те, що найкращі показники якості мали зразки з використанням модифікованого крохмалю, їх структура була пружною, в міру щільною, однорідною, напівфабрикати гарно утримували форму.

Розширення асортименту напівфабрикатів з використанням рослинної білковмісної основи та вивчення їх властивостей потребує подальших досліджень і є важливим напрямком виробництва продукції нового покоління із заданим складом, підвищеною біологічною і харчовою цінністю для забезпечення населення продуктами харчування зі збалансованим амінокислотним складом.

Список використаних джерел

1. М'ясо для веганів: з чого його роблять? URL: <https://firtka.if.ua/blog/view/miaso-dlia-veganiv-z-chogo-iogo-robljat>
2. Beyond Meat – перспективи рослинного м'яса в Україні. URL: <https://aggeek.net/-blog/beyond-meat-perspektivi-roslinnogo-myasa-v-ukraini>
3. Усе про рослинне м'ясо: їжа майбутнього. URL: <https://eco-buffet.com/statti/use-pro-roslynne-myaso/>
4. Bruinsma J. The resource outlook to 2050: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050 In: Proceedings of the FAO Expert Meeting on How to feed the World in 2050; 2009 Jun 24–26; Rome, Italy; 2009.



5. Evans N, Yarwood R. Livestock and landscapes. *J Landscape Res*, 2007; 20(3):141–146.
6. Centers for Disease Control and Prevention. CDC estimates of foodborne illness in the United States [Internet]. Atlanta: CDC; [cited 2012 Jan 20]. Available from: <http://www.cdc.gov/foodborneburden/2011-foodborne-estimates.html>.
7. Rohrmann S, Overvad K, Bueno-de-Mesquita HB, Jakobsen MU, Egeberg R, Tjønneland A, et al. Meat consumption and mortality— results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition. *BMC Med* 2013;11(1):63.
8. Bhat ZF, Kumar S, Fayaz H. In vitro meat production: challenges and benefits over conventional meat production. *J Integr Agric* 2015;14(2):241–148.
9. Siegrist M, Sütterlin B, Hartmann C. Perceived naturalness and evoked disgust influence acceptance of cultured meat. *Meat Sci* 2018;139: 213–9.
10. Kyriakopoulou K, Dekkers B, van der Goot AJ. Plant-based meat analogues. In: Galanakis CM, editor. *Sustainable meat production and processing*. Pittsburgh: Academic Press; 2019. p. 103–26.
11. The Rise of Veganism: A Societal Shift Toward Plant-Based Diets / Smith J. // *Journal of Nutrition and Health*. 2020.
12. Plant-Based Proteins: A Sustainable Alternative to Meat / Jones A. // *Environmental Science Journal*. 2019. Vol. 45, no. 3. P. 267–280.
13. Promising mung bean proteins and peptides: a comprehensive review of preparation technologies, biological activities, and their potential applications / Hou D, Feng Q, Niu Z, Wang L, Yan Z and Zhou S. // *Food Biosci*. 2023. P. 55–67.
14. Plant protein-based food packaging films; recent advances in fabrication, characterization, and applications / Hadidi M, Jafarzadeh S, Forough M, Garavand F, Alizadeh S, Salehabadi A et al. // *Trends Food Sci Technol*. 2022. P. 154–173.
15. Pea protein ingredients: a mainstream ingredient to (re) formulate innovative foods and beverages / Boukid F, Rosell CM and Castellari M. // *Trends Food Sci Technol*. 2021. P. 729–742.
16. Utilizing side streams of pulse protein processing: a review / Ratnayake WS and Naguleswaran S. // *Legume Science*. 2022. P. 120–135.
17. Recent trends in the utilization of pulse protein in food and industrial applications / Nadeeshani H, Senevirathne N, Somaratne G and Bandara N. // *ACS Food Science & Technology*. 2022. P. 722–737.
18. Lentil and mungbean protein isolates: processing, functional properties, and potential food applications / Shrestha S, van't Hag L, Haritos VS and Dhital S. // *Food Hydrocoll*. 2022. P. 135:149.



19. Digestible indispensable amino acid scores (DIAAS) of six cooked Chinese pulses / Han F, Moughan PJ, Li J and Pang S. // *Nutrients*. 2020. P. 12–28.
20. Structure of 8S γ globulin, the major seed storage protein of mung bean / Itoh T, Garcia RN, Adachi M, Maruyama Y, Tecson-Mendoza EM, Mikami B et al. // *Acta Crystallogr Sect D Biol Crystallogr*. 2006. P. 824–832.
21. Comparison of physicochemical properties and volatile flavor compounds of pea protein and mung bean protein-based yogurt / Yang M, Li N, Tong L, Fan B, Wang L, Wang F et al. // *LWT*. 2021. P. 152–167.
22. Functional attributes of pea protein isolates prepared using different extraction methods and cultivars / Stone AK, Karalash A, Tyler RT, Warkentin TD and Nickerson MT. // *Food Res Int*. 2015. P. 31–38.
23. Protein demand: review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production / Ismail BP, Senaratne-Lenagala L, Stube A and Brackenridge A. // *Anim Front*. 2020. P. 53–63.

Стаття надійшла до редакції 29.09.2024 р.

R. Shkaraputa, O. Melnyk
Sumy National Agrarian University

STUDY OF THE ORGANOLEPTIC PROPERTIES OF SEMI-FINISHED VEGETABLE MEAT

Summary

In conditions of rapid growth of the population, the issue of providing it with food products, in particular protein, is particularly acute. Therefore, the use of a wide range of plant raw materials in the production of plant semi-finished products will allow designing the necessary composition of the product, enriching it with vitamins, minerals, fiber, and unsaturated fatty acids to meet the needs of the human body. Designing recipes of semi-finished products using vegetable raw materials will allow to expand the range of products of high biological value for different groups of the population, in particular for vegans. Such products, made with the use of protein hydrolysates, rapeseed and coconut oils, structurants, flavoring additives, have organoleptic indicators close to the quality indicators of animal meat products. Vegetable semi-finished products are becoming a popular alternative to products using animal raw materials, as they do not contain cholesterol, have a high biological value and do not harm the environment during the production process.

Semi-finished products from vegetable raw materials were prepared using pea isolate and soybean isolate, soybean flakes, vegetable oil, dye, structure formers, flavoring substances and water. The introduction of structure formers into the semi-finished product leads to changes in the organoleptic parameters of the new product and its structural and mechanical properties. To obtain the required structure of the semi-finished product, modified starch, psyllium and methylcellulose were added to the recipe mixture.



The obtained results for determining the expediency of using different structure formers in the formulation of semi-finished products indicate that the samples with the use of modified starch had the best quality indicators, their structure was elastic, moderately dense, homogeneous, the semi-finished products kept their shape well.

Expanding the range of semi-finished products using a vegetable protein-containing base requires further research and is an important direction in the production of new generation products with a given composition, increased biological and nutritional value to provide the population with food products.

Key words: protein isolates, soy flakes, modified starch, vegetable protein, quality indicators, alternative protein.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-13

УДК 641.568(450)

О. Ю. Кошель, д.ф.,

ORCID: 0000-0002-2184-2106

Т. І. Маренкова, ст.викл.

ORCID: 0000-0001-7481-0848

Т. М. Степанова, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-9392-3773

А. В. Крутась, магістр

Сумський національний аграрний університет

e-mail: koshelolena85@ukr.net, тел.: +380501314350

ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРИГОТУВАННЯ ТІСТА ДЛЯ ПІЦИ

Анотація. Дослідження було спрямоване на розробку технології тіста для піци, до складу якого входить не лише чорнило каракатиці як інноваційний інгредієнт, але й соєва клітковина для підвищення харчової цінності продукту. У рамках роботи було аналізовано фізико-хімічні характеристики тіста, що дозволило визначити оптимальне співвідношення борошна, чорнила каракатиці та соєвої клітковини. Це сприяло досягненню потрібної консистенції та структурної однорідності тіста. Було розроблено детальну технологічну схему виготовлення піци, що включає етапи підготовки інгредієнтів, формування та випікання продукту. Органолептичний аналіз показав високі сенсорні якості готової піци. Виконано розрахунки енергетичної та поживної вартості нового виду піци. Завдяки додаванню чорнила каракатиці та соєвої клітковини, піца вирізняється інноваційністю та може пропонувати споживачам не тільки відмінний смак, але й покращені харчові характеристики.

Ключові слова: піца, чорнило каракатиці, технологія тіста, інноваційний інгредієнт, рецептурний склад, соєва клітковина, органолептичні показники.

Постановка проблеми. Сучасні тенденції харчової промисловості спрямовані на створення інноваційних продуктів з додатковими корисними властивостями. Одним із таких рішень є поєднання традиційної технології приготування піци з такими функціональними інгредієнтами, як чорнило каракатиці та соєві волокна. Чорнило не тільки надає піці унікальний чорний колір і незвичайний смак, але й підвищує її харчову цінність завдяки антиоксидантам і мікроелементам. Клітковина сої є джерелом рослинного білка і клітковини, що сприяє поліпшенню консистенції тіста, підвищенню його харчової цінності та подовженню терміну зберігання. Актуальність даної роботи полягає в оптимізації технологічного процесу приготування піци з додаванням чорнила каракатиці та соєвих волокон, що дасть змогу створити продукт з високою харчовою цінністю та унікальними смаковими властивостями.



Аналіз останніх досліджень. За останнє десятиліття було проведено значну кількість досліджень щодо використання чорнила каракатиці та соєвих бобів у харчовій промисловості. Так, дослідження показали, що чорнило каракатиці містить біоактивні речовини, які позитивно впливають на здоров'я завдяки антиоксидантній активності.

Автор [1] у своїй роботі описала дослідження спрямовані на використання нетрадиційної сировини як джерела корисного для здоров'я населення.

Дослідники [2] розробили та науково обґрунтували технологію бісквітного напівфабрикату і кексу покращеної якості, підвищеної харчової та біологічної цінності (з підвищеним вмістом рослинних протеїнів) на основі раціонального використання пасти із сої.

Дослідження використання соєвих волокон вказують на їх здатність покращувати структуру тіста та збільшувати вміст клітковини в кінцевому продукті. Було також встановлено, що ці інгредієнти позитивно впливають на загальну поживну цінність харчових продуктів, знижуючи їх калорійність і збільшуючи вміст поживних речовин.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою даного дослідження є розробка технології тіста для піци з додаванням чорнила каракатиці та соєвих волокон, що дозволить отримати продукт з покращеними органолептичними властивостями та підвищеною харчовою цінністю. Завдання дослідження включають:

- аналіз впливу чорнила каракатиці та клітковини сої на фізико-хімічні властивості тіста;
- визначення оптимальних пропорцій цих компонентів для збереження консистенції та структури тіста;
- дослідження впливу інгредієнтів на процес підйому тіста та його готовність після випічки;
- розробка технологічних рекомендацій щодо приготування піци з використанням цих інгредієнтів з урахуванням показників безпеки та якості продукту.

Основна частина. Для розширення асортименту тіста для піци з підвищеною харчовою цінністю, ключовим є ретельний вибір і підготовка сировини. Високоякісне пшеничне борошно вищого ґатунку, яке вибирають за його хорошими клейковими властивостями, становить основу для пишного і легкого тіста. Перед використанням борошно слід просіяти, щоб забезпечити однорідність тіста і уникнути утворення грудок [3].

Чорнило каракатиці, яке додають до тіста, має бути натуральним та високоякісним, без штучних барвників чи консервантів.

Соєва клітковина, вибрана за її високу харчову цінність та органічне походження, також готується спеціальним чином.



Окрім основних інгредієнтів, для замішування тіста використовують фільтровану воду кімнатної температури, перевіряють свіжість дріжджів і обирають високоякісну олію для додання аромату та м'якості тісту. Сіль додається для підсилення смаку та якості кінцевого продукту. Вибір і підготовка сировини відіграють вирішальну роль у створенні тіста для піци, яке не тільки смачне, а й корисне.

Смак піци багато в чому залежить від начинки. Рецепти страв дуже різноманітні: часто використовуються сир, бекон, ковбаса, анчоуси, помідори, перець, кабачки, баклажани. Є також рецепти піци з рибою, морепродуктами, грибами, цибулею, стручковою квасолею і майонезом або томатним соусом в якості соусів.

Піца — одна з найулюбленіших страв у світі, яка підкорила мільйони сердець своєю універсальністю та різноманітністю. Тісто для піци, як основний елемент, відіграє вирішальну роль у формуванні її смакових якостей, текстури та загального враження. Добре приготоване тісто не тільки створює ідеальну основу для різних начинок, але й визначає остаточну якість страви [4].

Технологія приготування тіста для піци має багато нюансів, які включають вибір відповідного типу борошна, температуру води, час витримки тіста, та методи його замішування та випікання. Ці компоненти впливають на еластичність тіста, його здатність підніматися, та остаточний вигляд готової піци [5].

Розроблена страва складається з таких рецептурних інгредієнтів: борошно, вода, дріжджі пресовані, сіль кухонна, олія, помідори, , сир, петрушка, часник [6].

В таблиці 1 наведено аналіз рецептурного складу тіста для піци аналогу.

*Таблиця 1*Аналіз рецептурного складу тіста для піци аналогу

Найменування рецептурних компонентів	Кількість сировини на 1 порцію в (нетто)	Вміст %	Роль у технологічному процесі	Вимоги до якості
Борошно пшеничне	80	30,2	Основна сировина. Впливає на властивість та якість піци. Є структурно-механічним елементом, якій відповідає за утворення пружного тіста.	ДСТУ 4111.4-2002 Борошно пшеничне

*Продовження таблиці 1*

Вода	37,5	11,7	Сприяє набряканню біополімерів борошна, а також розчиненню його складових частин і сировини, яка додається у тісто.	ДСТУ 7525:2014 Вода питна
Сіль	1,25	0,5	Знижує зайву мікрофлору, покращує. Підвищує харчову цінність	ДСТУ 3583: 2015. Сіль кухонна харчова. Загальні технічні умови
Цукор	5,5	8,7	Смаковий інгредієнт. Пластичність тіста. Підвищує харчову цінність	ДСТУ 4623-2006. Цукор білий. Технічні умови
Дріжджі (сухі)	2,5	2,3	При бродінні відіграють окислювально-відновні процеси.	ДСТУ 4812:2007 Дріжджі хлібопекарські пресовані. Технічні умови
Олія	2,5	5,7	Використовують для еластичності тіста	ДСТУ 4492:2017 Олія соняшникова. Технічні умови
Помідори	32	16,3	Вони надають страві насиченого томатного смаку	ДСТУ 3246-95 Томати свіжі. Технічні умови
Сир	25	16,3	Надає страві сирного смаку та аромату	ДСТУ 6003:2008 Сири тверді. Загальні
Кетчуп	34	10,7	Надає начинці насиченого кольору та аромату	ДСТУ 2118-93 Консерви. Соуси томатні. Загальні технічні умови (ГОСТ 17471-93, IDT)
Петрушка	18	2,3	Використовується в начинці для прикрашання.	ДСТУ 6010:2008 Петрушка молода свіжа. Технічні умови
Часник	2,5	0,7	Використовується в начинці. Та надає аромату	ДСТУ 3233-95 Часник свіжий. Технічні умови



Якість сировини повинна відповідати вимогам нормативної документації.

Традиційні піци готують у спеціальних дров'яних печах, відомих як «Помпея». Такі печі ідеально підходять для приготування неаполітанської та американської піци. Тосканську піцу з тонкою скоринкою краще випікати в електричних печах [7].

Щоб випускати інноваційну та конкурентоспроможну харчову продукцію, необхідно спиратися на висококласне виробництво, а також проводити всебічні дослідження та випробування [8].

Дослідження новітніх барвників, які мають високі технологічні та профілактичні властивості, ведуться в різних галузях. Одним із таких прикладів є чорнило каракатиці, яке містить не лише фізіологічно цінні, але й біологічно активні та менш важливі речовини.

Отже, можна стверджувати, що чорнило каракатиці виступає як харчова добавка, яку використовують у різних стравах, і водночас є біологічно активною добавкою [9].

Ключові характеристики якості чорнила каракатиці цього інгредієнта охоплюють таке:

Вміст білка: чорнило каракатиці містить до 10%.

Вміст вуглеводів: чорнило каракатиці містить приблизно 50% вуглеводів, що забезпечує енергетичну цінність продукту.

Вміст жирів: чорнило каракатиці містить менше 1% жирів.

Вміст мінеральних речовин: чорнило каракатиці містить значну кількість мінеральних речовин, таких як кальцій, залізо, калій, магній і фосфор. Ці речовини необхідні для нормального функціонування організму.

Кольорові показники: чорнило каракатиці має насичений темно-синій або чорний колір, що забезпечує його використання як натурального барвника.

Мікробіологічні показники: чорнило каракатиці повинно відповідати встановленим нормам мікробіологічної безпеки продуктів харчування.

Вміст токсичних речовин: чорнило каракатиці повинно бути вільним від токсичних речовин, які можуть бути небезпечними для здоров'я людини.

Загалом, чорнило каракатиці представляє собою безпечний і природний інгредієнт для застосування в харчових продуктах, зокрема в піці. Воно характеризується значною поживною цінністю [10].

Кулінари з'ясували, що чорнило каракатиці не тільки надає стравам чорний відтінок і корисне для здоров'я, але також має солонуватий смак з унікальним морським ароматом, який приваблює багатьох [11].



Соєва клітковина, отримана з сої, відзначається не лише своїми технологічними перевагами, а й високою біологічною цінністю, що робить її цінним компонентом у харчовій промисловості. Завдяки вмісту білків, соєва клітковина є важливим джерелом цього макронутрієнта, особливо цінним для вегетаріанців та веганів. Крім того, високий вміст харчових волокон, до сприяє нормалізації роботи кишечника і підтримці здоров'я травної системи, допомагаючи контролювати рівень глюкози в крові та знижуючи рівень холестерину [12].

Хоча соєва клітковина містить лише невелику кількість жирів її жировий склад переважно ненасичений, що сприяє здоров'ю серцево-судинної системи. Завдяки низькій калорійності, близько 209 ккал на 100 г, соєва клітковина також є привабливим вибором для дієтичного харчування.

У харчовій промисловості соєва клітковина використовується як загусник, стабілізатор та емульгатор у різних продуктах, включаючи хлібобулочні вироби, ковбаси та сосиски. Її здатність покращувати текстуру продуктів і збільшувати їх об'єм робить її незамінним інгредієнтом у харчовій промисловості, підтримуючи тим самим її популярність та широке використання.

Після дослідження складу рецептури аналогічного продукту та з метою розширення асортименту було створено нові рецепти піци з використанням чорнила каракатиці [13].

Оптимальним рецептурним складом є піца із додаванням чорнила каракатиць представлена в таблиці 2.

Враховуючи вагу всіх компонентів, зазначених у таблиці, загальний вихід готового виробу піци складає 500 грамів. Це вказує на те, що рецептура, обрана для піци, забезпечує достатній обсяг продукту для подання кільком особам, враховуючи стандартні порції. Включення інгредієнтів, таких як соєва клітковина та чорнило каракатиць, не лише збільшує харчову цінність тіста, а й додає унікальні властивості до звичайної піци, роблячи її відмінним вибором для тих, хто шукає нові смакові відчуття та бажає дотримуватися здорового харчування.

На рисунку 1 представлена технологічна схема приготування тіста для піци з додаванням чорнил каракатиці.

Органолептичний контроль є ключовим методом оцінки якості продукції, який активно застосовується в усіх секторах харчової промисловості.

Якість розроблених страв оцінюється органолептично за 5-бальною системою. У таблиці представлена бальна шкала для сенсорної оцінки органолептичних показників разом із загальною характеристикою, що відповідає відповідному рівню якості рецептури [14].



Таблиця 2

Склад рецептури піци з додаванням 4 г чорнила каракатиць та 15,8 соєвої клітковини

Найменування продукту	Кількість, г		Масова частка в %	Функціональне призначення
	брутто	нетто		
Тісто для піци			39,7%	
Борошно пшеничне	300,7	300,7	-	Основна сировина
Соєва клітковина	15,8	15,8		
Цукор-пісок	22	22	-	Смакова добавка
Олія	5,5	5,5	-	Додаткова сировина
Сіль	5	5	-	Смакова добавка
Дріжджі (сухі)	4	4	-	Розпушувач
Вода	150	150	-	Основна сировина
Чорнило каракатиць	4	4	—	Дослідна сировина
Начинка для піци		200	38,5%	
Соус для піци		110	21,8%	
Помідори	72	64	-	Для начинки
Сир	125	121	-	Для начинки
Кетчуп	50	50	-	Для начинки
Петрушка	55	55	-	Для прикрашання
Часник	10	10	-	Для начинки
Олія соняшникова	15	15	-	Для начинки
Вихід готового виробу		300		

У таблиці 3 представлені органолептичні показники зразків піци з різними концентраціями чорнила каракатиці.

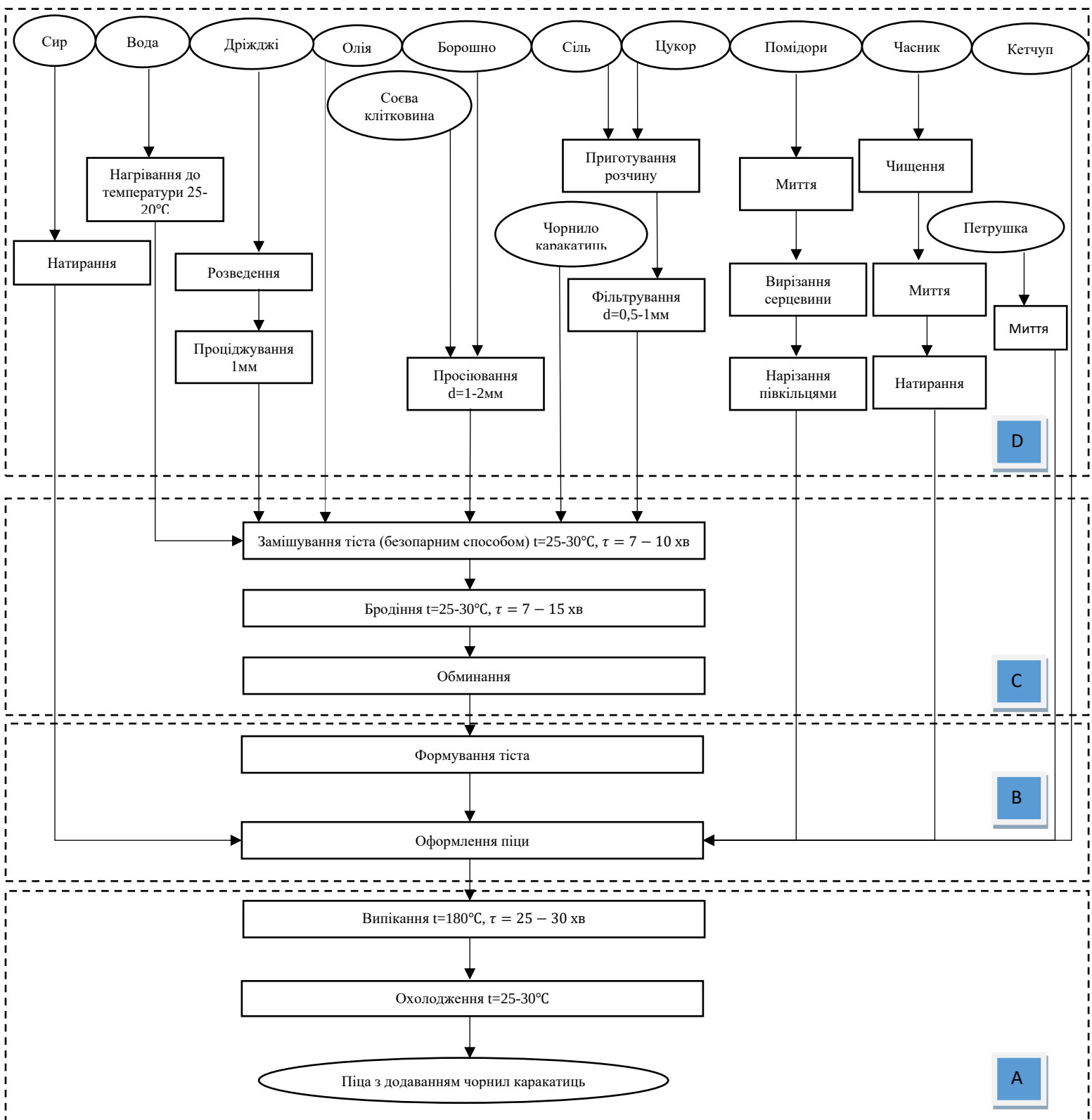


Рис. 1. Технологічна схема тіста для піци підвищеної харчової цінності з використанням чорнил каракатиці



Таблиця 3

Органолептичні показники зразків піци

Зразок	Показник					
	Зовнішній вигляд	Відтінок	Аромат і запах	Текстура	Смакові якості	Загальна оцінка
Страва аналог	5	5	5	5	5	25
Зразок 1	4	3	4	4	4	19
Зразок 2	5	5	5	5	5	25
Зразок 3	4	4	4	4	4	20

За органолептичними показниками, зразок №2 демонструє високі результати, які дорівнюють показникам аналогічної страви. Таким чином, доцільно додавати в тісто для піци 4 г чорнила каракатиці.

Для визначення харчової та біологічної цінності фірмових кулінарних виробів проводять розрахунок біологічної цінності страви [13].

Розрахунок харчової цінності здійснювався за даними таблиць довідників хімічного складу.

Результати розрахунку харчової цінності представлені в таблиці 4, після чого слідує аналіз отриманих даних.

Таблиця 4

Харчова цінність піци з додаванням чорнила каракатиць

Сировина	Білки		Жири		Вуглеводи		Енергетична цінність, ккал
	%	г	%	г	%	г	
Борошно пшеничне	8,8	7,2	1,2	0,8	38,6	49,4	234
Соєва клітковина	5,9	29,7		0,76	4,8	24,27	209
Дріжджі	—	1,96	—	2	—	1,6	14
Вода	—	—	—	—	—	—	—
Цукор	—	—	—	—	2,3	3	107
Сіль	—	—	—	—	—	—	-12
Чорнило каракатиць	—	28	—	1	—	1	128
Олія	—	0,1	—	0,1	—	100	897
Помідори	—	0,9	—	0,2	—	4	20
Сир	—	12,3	—	6,4	—	27	215
Петрушка	—	4	—	0,44	—	9	56
Кетчуп	—	0,9	—	0,4	—	28	119



Продовження таблиці 4

Часник	—	6	—		—	25	127
Всього (вихід 500)		15,7		20,2		85	
Всього на 100		6,8		8,8		36,9	189,0

Можна зробити висновок, що біологічну цінність жирів оцінювали за кількісним і якісним складом поліненасичених жирних кислот, вміст яких визначено на основі даних довідників хімічного складу харчових продуктів. Отже, при тривалому зберіганні тіста для піци з додаванням чорнила каракатиці, доцільно проводити регулярні мікробіологічні аналізи для забезпечення безпеки та якості продукту [14].

Також були проведені фізико-хімічні дослідження тіста, результати яких подані в таблиці 5.

Таблиця 5

Фізико-хімічні характеристики тіста з чорнилом каракатиці

Найменування фізико-хімічного показника	Значення показника
Масова частка сухих речовин, %	87,9
Масова кислотності, %	1,4

У результаті проведених досліджень було встановлено, що вміст сухих речовин у тісті для піци з 4 г чорнила каракатиці становить 87,9, а кислотність дорівнює 1,4.

Аналізуючи результати дослідження, що стосується впливу різних інгредієнтів, зокрема соєвої клітковини та чорнила каракатиці, на якість та технологічні характеристики тіста для піци. Обговорення зосереджене на порівняльному аналізі традиційних рецептур та інноваційних підходів, що включають ці добавки.

Соєва клітковина та інші добавки значно впливають на якість тіста для піци. Клітковина, будучи багатою на рослинні білки та волокна, допомагає покращити текстуру тіста, забезпечуючи більшу пухкість та еластичність. Це важливо для досягнення оптимальної консистенції тіста та його спроможності утримувати начинку без втрати форми.

Використання чорнила каракатиці вносить не лише унікальний колір, але й може вплинути на аромат та властивості випічки. Чорнило може змінювати еластичність тіста, роблячи його більш пластичним і пружним, що важливо для піц з високим вмістом вологи в начинках.

Уважний вибір і правильне комбінування компонентів є вирішальними для забезпечення очікуваної якості кінцевого продукту.

У сегменті обговорення методів випікання піци велика увага приділяється вибору та використанню печей, оскільки це один з ключових факторів, що визначає якість кінцевого продукту.



Різноманітність типів печей, таких як конвеєрні, кам'яні, електричні та газові, впливає на всі аспекти приготування піци, включаючи її текстуру, смак та зовнішній вигляд. Кам'яні печі забезпечують рівномірний розподіл тепла і часто використовуються для досягнення хрусткої корки, яка вважається ідеальною багатьма гурманами. З іншого боку, конвеєрні печі відомі своєю здатністю швидко випікати велику кількість піц, що робить їх незамінними у великих ресторанах і фаст-фудах, де час приготування є критично важливим. Також важливо звертати увагу на температуру випікання та час, які можуть значно варіюватися в залежності від моделі печі та її налаштувань, впливаючи на консистенцію, аромат і колір піци. Всі ці фактори разом формують якість піци, що потребує виваженого підходу при виборі обладнання для піцерії.

Висновки. В роботі досліджено особливості технології приготування тіста для піци з додаванням чорнила каракатиці та соєвої клітковини, а також розглянуто вплив нетрадиційного інгредієнта на органолептичні властивості та якість готового продукту. Дослідження включало розробку та аналіз рецептури тіста, використання різних методів приготування і випікання, а також оцінку якості готової піци.

Таким чином, робота виявилася важливою для розуміння потенціалу чорнила каракатиці та соєвої клітковини, як інноваційного компоненту у виробництві піци, пропонуючи нові можливості для розвитку харчової промисловості та збільшення варіативності продуктів харчування.

Список використаних джерел

1. Янюк О. В. Використання нетрадиційного виду борошна для приготування борошняних виробів (на прикладі піци) у піцеріях міста хмельницького, Збірник тез та доповідей, м. Тернопіль, 2020 р., С. 188–189.
2. Медведєва А. О., Антонюк І. Ю. "Технологія бісквітів і кексів підвищеної харчової та біологічної цінності." Державний біотехнологічний університет (2023): 1–17. Приготування борошняних кулінарних виробів. URL: studfile.net/preview/7354931/page.
3. Осадча І. М. Секрети піци. К: «Кондор» 2007 С. 46–47.
4. Бібліотека методичних матеріалів. Технологія приготування їжі з основами товарознавства URL: vseosvita.ua/library/embed.
5. Ратушний, А.С. Технологія продукції комунального харчування. Фізико-хімічні процеси, які у харчових продуктах за її кулінарної обробці [Текст] / Ратушний А.С. та ін. У 2т. Т. 1. М. : Мир, 2004.
6. Шумило Г. І. Технологія приготування їжі: Навч. посіб. К: «Кондор» 2003.



7. Збірник рецептур страв кулінарних виробів: Для підприємств товариств. харчування / Авт. - Упоряд.: А.І. Здобнов, В.А. Циганенко. - К.: ТОВ "Видавництво Арій", М.: ІКТЦ "Лада", 2009.

8. 20 цікавих фактів про піцу. Roll-club. [Електронний ресурс] URL: <https://roll-club.kh.ua/uk/20-cikavih-faktiv-pro-pitsu/>.

9. Чорна піца: з чого робиться тісто? Рецепти з чорнилом каракатиці. Корисні поради. Vidpovidi.com. [Електронний ресурс] URL: <https://vidpovidi.com/kulinariya/chorna-pica-z-chogo-robitsya-tisto-recepti-z-chornilom-karakatici-z-moreproduktami-z-chornoslivom-z-derevnim-i-aktivovanim-vugillyam/>.

10. Чорнило каракатиці. Jazdorov.com. [Електронний ресурс] URL: <https://jazdorov.com.ua/harchuvannya/naturalni-produkty/chornylo-karakatytsi.html>.

11. Чорнило каракатиці корисні властивості. Spetsgidromash.com. [Електронний ресурс] URL: <https://spetsgidromash.com.ua/?p=15329>.

12. Соєва клітковина [Електронний ресурс] URL: <https://soya.kiev.ua/ua/fiber.html>

13. Чорна їжа: не класика, але в тренді. Publish.com. [Електронний ресурс] URL: <https://publish.com.ua/kulinariia/chorna-jizha-ne-klasika-ale-v-trendi.html>.

14. Гуменюк О. Л. Харчова хімія Лабораторний практикум [Електронний ресурс] URL: https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/harch_himia_lab_prakt/80.

15. Методи контролю харчових виробництв / М. З. Паска, Б. І. Галух, І. О. Мартинюк, І. М. Басараб. Львів, 2012. 105 с.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024 р.

O. Koshel, T. Marenkova, T. Stepanova, A. Krutas
Sumy National Agrarian University

INNOVATIVE TECHNOLOGY OF PREPARATION OF PIZZA DOUG

Summary

Pizza is one of the most popular dishes in the world, which has won the hearts of millions thanks to its versatility and variety. Pizza dough, as the basis of this dish, plays a key role in shaping its taste, texture and overall perception. The research was aimed at developing a pizza dough technology that includes not only cuttlefish ink as an innovative ingredient, but also soy fiber to increase the nutritional value of the product. Research on the use of soy fibers indicates their ability to improve dough structure and increase the fiber content of the final product.

The work researched and developed:

- the influence of cuttlefish ink and soy fiber on the physical and chemical properties of the dough;
- determining the optimal proportions of pizza components to preserve the consistency and structure of the dough;



- the influence of the ingredients on the dough rising process and its readiness after baking;

- development of technological recommendations for the preparation of pizza using these ingredients, taking into account safety and product quality indicators.

As part of the work, the physical and chemical characteristics of the dough were analyzed, which made it possible to determine the optimal ratio of flour, cuttlefish ink and soy fiber. This helped to achieve the desired consistency and structural homogeneity of the dough. A detailed technological scheme for the production of pizza was developed, which includes the stages of preparation of ingredients, formation and baking of the product. Organoleptic analysis showed high sensory qualities of the finished pizza. Calculations of the energy and nutritional value of a new type of pizza were made. Thanks to the addition of cuttlefish ink and soy fiber, the pizza is innovative and can offer consumers not only excellent taste, but also improved nutritional characteristics.

Key words: pizza, cuttlefish ink, dough technology, innovative ingredient, recipe composition, soy fiber, organoleptic indicators.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-14

УДК 637.146.34:633.522

Т. П. Синенко, д.ф.

ORCID: 0000-0002-5300-5142

О. С. Гаврилюк, магістр

ORCID: 0009-0006-6440-0494

Сумський національний аграрний університет

e-mail: tetiana.synenko@snaeu.edu.ua, тел.: +380684870521

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВИСІВОК КОНОПЛЯНИХ НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ЙОГУРТУ

Анотація. Використання харчових добавок і смакових наповнювачів на основі рослинних інгредієнтів та біфідобактеріальних композицій розширює рецептури йогуртів та асортимент інгредієнтів. Серед перспективної сировини також виділено коноплі та похідні продукти їх переробки. Метою роботи є удосконалення технології йогурту збагаченого харчовими волокнами. Виконано дослідження якості та обґрунтовано доцільність використання сировини, зокрема висівок конопляних. Результати показують, що внесення висівок коноплі підвищує вміст клітковини в продукті, не збільшуючи при цьому його калорійність. Визначено, що прийнятною дозою внесення висівок конопель в йогурт є від 5,0% до 10%. Органолептична оцінка показала, що оптимальним рішенням є внесення в кількості 10% до йогурту. За проведеними дослідженнями, розроблено рецептуру йогурту збагаченого харчовими волокнами «Непр» безлактозного з висівками конопель. Дослідний зразок має відмінні органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники, які залишаються стабільними при зберіганні.

Ключові слова: кисломолочні напої, рослинна сировина, харчові волокна, інноваційні технології, наукові основи.

Постановка проблеми. Кисломолочні напої займають одне з провідних місць в харчування сучасної людини, на що вказує статистичний аналіз українського ринку кисломолочної продукції (приріст споживання йогурту найвищий серед молочних продуктів) [1].

Йогурт вважається одним з найстаріших кисломолочних продуктів у світі. Зазвичай його виробляють шляхом змішування молочнокислих бактерій *Lactobacillus bulgaricus* та *Streptococcus thermophilus* у співвідношенні 1:1 з молоком, з наступним сквашуванням. Однак традиційні методи виробництва самі по собі не можуть задовольнити потреби сучасних споживачів. У зв'язку з цим, вдосконалення технології та рецептури неможливе без покращення споживчих характеристик йогурту, таких як смак, аромат та консистенція.

Йогурт широко використовується в дієтичному та лікувальному харчуванні завдяки своїй перевазі над коров'ячим молоком за



функціональними властивостями. Асортимент йогуртів постійно змінюється, і постійно з'являються нові види йогуртів з покращеними функціональними властивостями. Для того, щоб збільшити споживання йогурту серед різних вікових груп, йогурт комбінують з різними харчовими інгредієнтами для створення інших смаків, окрім фруктових. Рослинні інгредієнти є чудовими рецептурними компонентами для таких продуктів.

Рослинні інгредієнти як натуральні добавки до кисломолочних продуктів не тільки сприяють смаковому різноманіттю, але й доповнюють корисні властивості цих продуктів, оскільки овочі, фрукти та ягоди є основними джерелами біологічно активних речовин. Тому дуже важливим є пошук нових корисних наповнювачів для кисломолочних напоїв та розробка технологій їх виробництва.

Враховуючи вище наведені дані, актуальним і перспективним є удосконалення технологій виробництва йогуртів за рахунок використання рослинної сировини.

Аналіз останніх досліджень. За останні роки було впроваджено різноманітні інноваційні технології виробництва йогуртів, а використання нових методів виробництва та методів контролю якості сировини і кінцевого продукту може сприяти подальшому покращенню споживчих характеристик харчових продуктів. Використання харчових добавок та смакових наповнювачів на основі рослинних інгредієнтів та біфідобактеріальних композицій розширило рецептури йогуртів та асортимент інгредієнтів.

Більшість наукових досліджень з розробки технології йогуртів присвячено підбору оптимальних способів виробництва, вибору заквасок та підбору або комбінуванню фруктових і овочевих наповнювачів та функціональних добавок у рецептурах [2].

Для виробництва йогуртів нового покоління розроблено низку інноваційних методів. [3-6] Вони полягають у вдосконаленні технологічних прийомів на окремих етапах виробництва або введенні добавок, що містять біологічно активні речовини.

Наприклад, група вчених [7] розробила технологію функціональних кисломолочних продуктів з використанням рослинних добавок, що складаються з пророщеної пшениці та топінамбура. Дослідження показало, що використані рослинні інгредієнти містять високий вміст мінералів, вітамінів та амінокислот, а також інуліну, який сприяє травленню та виведенню токсичних речовин з організму, що є важливим для хворих на цукровий діабет. Завдяки використанню цих інгредієнтів розроблений йогурт характеризується високим вмістом вітамінів та мінералів.

Вчені [8] досліджували можливість капсулювання фруктових концентратів для використання в йогуртах. В результаті вони



вивчили способи збагачення молочних продуктів вітамінами для отримання високоякісного продукту з яскравими смаковими характеристиками. Науковці розробили технологію йогурту з використанням капсул концентрату.

У роботі [9] продемонстровано використання рослинних наповнювачів у технології виробництва йогурту та підібрано ефективні виробничі параметри. Вчені пропонують використовувати такі наповнювачі, як гарбуз груша з насінням чіа, огірок з кропом та італійськими травами. Розробники дослідили показники якості йогурту протягом усього технологічного процесу (механічної обробки) та терміну зберігання, відзначивши відмінні гістологічні властивості кінцевого продукту з наповнювачами.

У роботі [10] описано технологію збагачених йодом кисломолочних напоїв. Автор обрав ламінарію для виробництва збагаченого йогурту. Водорості багаті на йод, амінокислоти, альгінову кислоту, мінерали та інші біологічно активні речовини.

Фруктові, ягідні та овочеві добавки у вигляді сиропів, концентратів і сухих сумішей використовуються для надання йогурту унікального смаку та аромату, а також для покращення його зовнішнього вигляду. Ці наповнювачі використовуються для регулювання вмісту вітамінів, вуглеводів і мінеральних речовин у кисломолочних продуктах. Особливу роль у формуванні функціональних властивостей відіграють харчові волокна [11].

Харчові волокна допомагають нормалізувати склад мікробіоти кишечника, збільшуючи кількість корисних пробіотичних мікроорганізмів, зменшуючи гнильні процеси, пригнічуючи вміст кишкової палички та сприяючи синтезу вітамінів групи В і фолієвої кислоти.

Відомий спосіб виробництва йогурту з використанням гарбузового пюре як наповнювача. Розроблений спосіб підвищує поживні та профілактичні властивості йогурту за рахунок пектиновмісних речовин та харчових волокон гарбуза [12].

У роботі [13] продемонстровано потенціал використання квасолі як рослинного інгредієнта в йогуртах та розроблено технологію цього напою. Досліджено якісні характеристики, хімічний склад, жирнокислотний, вуглеводний та вітамінний склад продукту. Автори виявили, що квасоля значно підвищує харчову та енергетичну цінність розробленого напою.

Вчені [14] розробили наповнювач, який являє собою пектиново-овочеву пасту або сушений буряковий та морквяний порошок. Цей наповнювач додають у вигляді сиропу до молока перед сквашуванням. Перспективним є також використання борошна розторопші, яке має антиоксидантні властивості, пов'язані з молочним жиром [15].



Зарубіжними науковцями також було проведено ряд досліджень та розроблено технологію виробництва йогурту, збагаченого порошком гарбуза. Введення в рецептуру кисломолочного продукту нетрадиційної сировини є перспективним з точки зору дієтичного харчування населення [16].

Серед перспективної сировини також виділено коноплі та похідні продукти їх переробки.

Коноплі завжди були привабливою культурою завдяки високій цінності та універсальності. У минулому в господарствах країни переробку конопель припадало 50% сільськогосподарського доходу, а на її вирощування припадало близько 10% загальної площі сільськогосподарських угідь. У сучасному виробництві технічні коноплі вважаються дуже рентабельною культурою, а їх переробка практично не залишає відходів. Всі складові конопель – насіння, волокно (довге і коротке) і костриця (побічний продукт виробництва волокна) – широко використовуються в багатьох галузях промисловості і в народному господарстві.

Використання побічних продуктів, отриманих при екстракції конопляної олії – конопляного шроту (висівок) здебільшого спрямоване на виробництво інноваційних та функціональних продуктів рослинного походження, зокрема безглютенового хліба, чіпсів, бісквіта і це лише деякі з них [17].

У роботі [18] досліджено харчовий і функціональний потенціал конопель. Показано, що конопляні продукти мають ліпіди з унікальним і ідеально збалансованим складом жирних кислот, білки, які легко засвоюються і багаті незамінними амінокислотами, і вуглеводи, які в основному представлені харчові волокна (в основному нерозчинні), а також велику кількість вітамінів і мінералів.

Інтерес викликають похідні при переробці саме насіння цієї рослини, які раніше вважалися відходами виробництва – вичавки (висівки/шрот) джерело клітковини, і характеризуються високими поживними та функціональними профілями.

Коноплі є одним із найбільш концентрованих харчових джерел нерозчинної клітковини [19]. Однак промислові процеси перетворення, які піддають насіння високому тиску та температурам (такі як екструзія), мають тенденцію руйнувати структуру полісахаридів, збільшуючи частку розчинної клітковини порівняно з нерозчинною. Вміст харчових волокон може коливатися від 27 до 34%.

Таким чином, на основі аналітичного огляду літературних джерел та патентів досліджено сучасний стан та перспективи підвищення якості та харчової цінності йогурту за рахунок додавання рослинних інгредієнтів. Використання різноманітних добавок рослинного походження в технології йогуртів виявилось одним з найбільш



перспективних технологічних засобів для надання йогуртам оздоровчого, лікувально-профілактичного ефекту.

Інформаційний аналіз показав, що висівки конопель є перспективною і одночас недостатньо вивченими харчовими побічними продуктами. З метою розробки потенційних функціональних харчових інгредієнтів для сприяння безвідходному виробництву продуктів харчування з конопель, циклічного харчування та замкнутої економіки перспективним є розробка кисломолочного напою (йогурту) із збагаченням його харчовими волокнами із висівок конопель.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою роботи є удосконалення технології йогурту збагаченого харчовими волокнами.

Для досягнення поставленої мети було сформовано наступні завдання:

- обґрунтувати технологічну доцільність використання рослинної сировини багатой харчовими волокнами у технології йогуртів;
- визначити технологічні властивості нетрадиційної сировини з метою прогнозування їх раціонального співвідношення у складі молочної суміші, впливу на реологічні показники йогурту та якість готових напоїв;
- дослідити вплив рецептурних компонентів на органолептичні, фізико-хімічні показники та реологічні властивості модельних систем йогурту;
- удосконалити технологію йогурту, комплексно дослідити якість розроблених кисломолочних напоїв.

Основна частина. При створенні йогурту з комбінованою сировиною, необхідно враховувати не лише товарні властивості та показники безпеки, а й задоволення потреб організму людини у певних кількостях та співвідношенні харчових речовин.

При обґрунтуванні рецептурно-компонентних рішень виконано дослідження якості та обґрунтовано доцільність використання сировини, зокрема молока-сировини, пробіотиків (заквашувальних культур), пребіотиків (сиропу лактулози), ферментного препарату лактази, харчових волокон (висівок конопляних).

Для виробництва контрольного та дослідних зразків питного йогурту (резервуарним способом) використано молоко коров'яче отримане з дослідного господарства Інституту сільського господарства Північного Сходу Національної академії аграрних наук України (Сумська область, Україна).

При виробництві високоякісних кисломолочних продуктів, особливо йогуртів, основним завданням є вибір закваски, яка забезпечить формування щільної структури і густої консистенції



продукту, скоротить час сквашування і збереже низький рівень пост-окислення. Останнє покращує смак і консистенцію продукту в процесі виробництва і зберігання, особливо в умовах недостатнього охолодження або перепаду температур. Для виробництва йогурту в лабораторних умовах було використано пробіотичну закваску прямого внесення FD DVS ABY-3 (Chr. Hansen, Данія), яка містить заквашувальні культури *Bifidobacterium species*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*.

З аналізу літературних джерел встановлено, що висівки конопляні містять значний вміст клітковини, білку, незамінні амінокислоти, жирні кислоти Омега-3, Омега-6 та Омега-9, йод, хром, срібло, літій, а також вітаміни А, Е, С. В роботі досліджено можливість використання в технології йогурту висівок конопляних виробництва ТОВ «Десналенд» (Україна).

Результати хімічного аналізу висівок коноплях представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Якісні показники висівок конопляних

Показник	Значення
Вологість, %	94,0±1,0
Білок, г/100 г	13,0±1,0
Жир, г/100 г	9,0±1,0
Вуглеводи, г/100 г в тому числі	52,0±1,0
харчові волокна, г/100 г	42,0±1,0
Вітаміни:	
В1, мг/100 г	0,1±0,05
В2, мг/100 г	0,4±0,05
Е, мг/100 г	4,5±0,05
А, мг/100 г	0,7±0,05
Мінеральні речовини:	
Фосфор, мг/100 г	6,46±0,5
Кальцій, мг/100 г	1,35±0,5
Магній, мг/100 г	1,75±0,5
Ферум, мг/100 г	0,78±0,01
Цинк, мг/100 г	0,51±0,01

Хімічний склад конопляних висівок відрізняється високим вмістом рослинного білка (13,0 ± 1,0 г/100 г). Поєднання рослинних і тваринних білків максимізує біологічну цінність розроблених збагачених продуктів та оптимізує амінокислотний склад кисломолочних продуктів. Високий вміст харчових волокон (42,0 ± 1,0 г/100 г) надає конопляним висівкам функціональних і технічних властивостей.

Вживання конопляних висівок і збагачення ними продуктів харчування аргументує можливість досить легко і швидко зменшити дефіцит мікроелементів і клітковини, не збільшуючи при цьому калорійність раціону.

В лабораторних умовах були виготовлені дослідні зразки йогурту за наступною технологічною схемою: в нормалізоване молоко за масовою часткою жиру при температурі 40–45 °С вносили підготовлені висівки конопляні. Висівки конопляні вносили в кількості 5–15%. Суміш витримували 20–30 хв (з метою набухання та кращого екстрагування біологічно активних речовин в молочну основу). Потім вносили сироп лактулози (5% від маси суміші), суміш перемішували 3–5 хв і при температурі (92±1) °С без витримки проводили пастеризацію суміші, з швидким охолодженням до температури (40±1) °С. Вносили ферментний препарат НА-Lactase 2100 (доза внесеного препарату – 0,05% згідно рекомендацій виробника). Процес гідролізу здійснювали за температури 40 °С протягом 20–30 хв для розщеплення молочного цукру (лактози) до моносахаридів. Далі проводили заквашування пробіотичною закваскою прямого внесення (доза внесеного препарату – 0,2% згідно рекомендацій виробника) за температури (40±1) °С, перемішування 5–10 хв. Сквашували суміші за (40±1) °С протягом 4–5 годин до досягнення титрованої кислотності 65–75°Т і щільного згустку. Далі охолоджували згусток до температури 20–25°С. Розфасовували йогурт по ємкостях і зберігали за (4±2) °С до моменту дослідження.

Після охолодження, в підготовлених зразках визначали органолептичні та фізико-хімічні показники (кислотоутворення, в'язкість, вологоутримуючу здатність).

Результати зміни титрованої кислотності в процесі сквашування представлені на рис. 1.

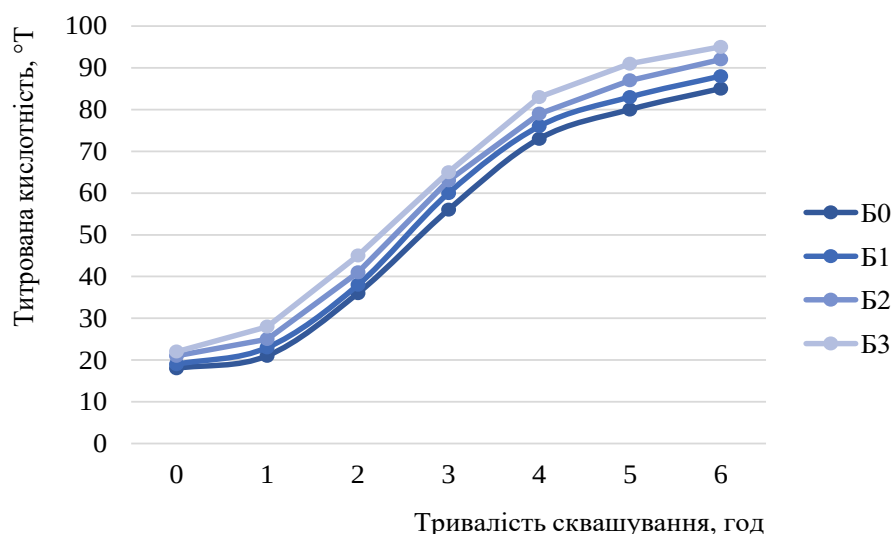


Рис. 1. Динаміка кислотоутворення дослідних зразків йогурту

Процес ферментації в дослідних зразках з додаванням висівок конопель до утворення згустку і досягнення титрованої кислотності 65–75 °Т відбувається більш ефективно (за 3,5–4 годин). Отже, процес ферментації скорочується, що дозволяє зменшити енерговитрати при виробництві.

Результати визначення та розрахунки вологоутримуючої здатності дослідних зразків наведено на рис. 2.

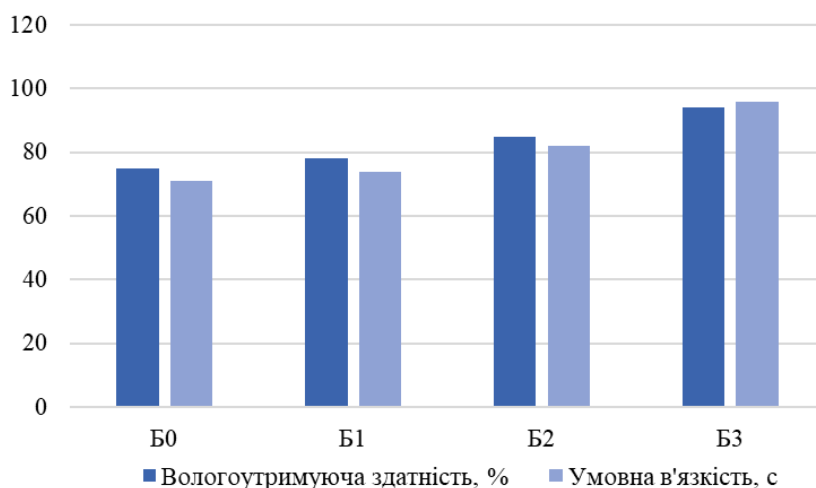


Рис. 2. Структурно-механічні властивості дослідних зразків йогурту

В проведених дослідженнях виявлено тенденцію зменшення об'єму виділеної сироватки із збільшенням дози внесення висівок коноплях. З даних наведених на графіку (рис. 2) видно, що зі збільшенням кількості внесення висівок конопляних в дослідних зразках вологоутримуюча здатність зростає. В порівнянні контрольного зразка (Б0) і дослідних зразків, що містить 5...15% висівок, різниця волоутримуючої здатності складає до 16...19%.

Таким чином, додавання конопляних висівок до йогуртів дозволить зменшити відділення сироватки і позитивно вплине на збереженість розробленого продукту.

Однак, збільшення густини йогуртів негативно впливає на сенсорні показники саме питного типу кисломолочного напою. Відповідно, дослідження впливу структурно-механічних властивостей висівок конопляних на консистенцію дослідних зразків показали, що підвищується в'язкість і йогурти зберігають структуру без використання додаткових стабілізаційних систем (рис. 2).

Проведені експерименти вказують, що висівки конопляні впливають на консистенцію йогуртів. Сенсорне оцінювання показників дослідних зразків є не менш важливим етапом досліджень при виборі кількості внесення висівок конопляних.

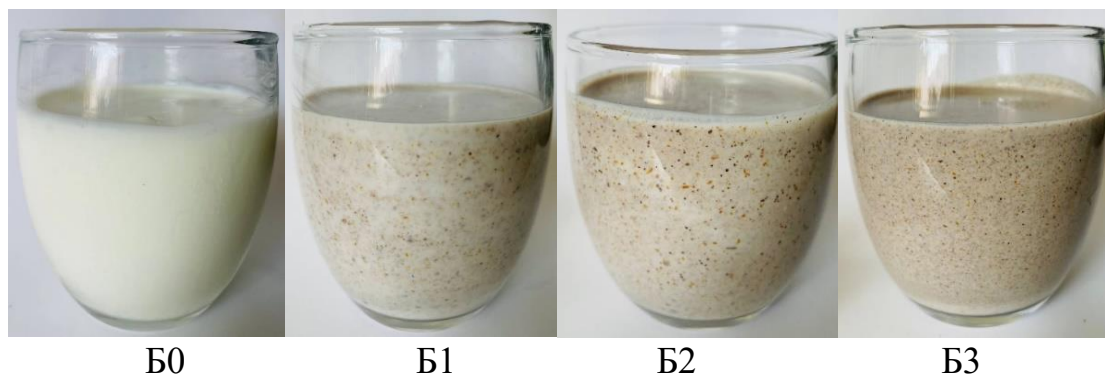


Рис. 3. Зовнішній вигляд дослідних зразків йогурту

Згідно результатів сенсорного аналізу контрольний зразок йогурту (B0) відповідає нормативним вимогам. Консистенція йогуртів щільна, однорідна консистенція з порушеним згустком. Із чистим, солодко-кисломолочним смаком, без сторонніх присмаків і запахів.

Із внесенням у зразки висівки конопель консистенція йогурту ущільнюється, що негативно впливає на сенсорні властивості. Також змінюється смак і аромат від чистого солодко-кисломолочного з легким відтінком конопель і пряно-терпкими нотками (зразки B1, B2) до солодкого, з відчутним кисломолочним присмаком, приємним конопляним, терпким присмаком і ароматом (зразок B3). Не приємні смако-ароматичні відчуття з'являються із максимальним вмістом висівки конопель (зразок B4) – гіркоті пряно-терпкі смаки, і не привабливий колір.

На підставі проведених досліджень впливає, що прийнятною дозою внесення висівки конопель в йогурт є від 5,0% до 10%. Органолептична оцінка показала, що оптимальним рішенням є внесення в кількості 10% до йогурту.

За проведеними дослідженнями, розроблено рецептуру йогурту збагаченого харчовими волокнами «Немр» безлактозного з висівками конопель.

Дослідження показників якості розробленого продукту проводили в порівнянні з традиційним йогуртом (продукт-аналог йогурт безлактозний без наповнювача, що відповідає вимогам якості ДСТУ 4343:2004). У йогуртах визначали органолептичні, фізико-хімічні і мікробіологічні показники. Результати що розроблений йогурт збагачений харчовими волокнами не поступається за якість традиційному і відповідає нормативним вимогам.

Харчові продукти - це комплекси речовин, включаючи білки, жири та вуглеводи, які виконують специфічні функції в життєвих процесах. Аналіз цих хімічних компонентів необхідний для визначення потенційної здатності харчового продукту задовольняти фізіологічні потреби організму.



Розраховані значення харчової та енергетичної цінності розробленого йогурту представлено табл. 2.

Таблиця 2

Харчова та енергетична цінність йогурту

Показника	Добова норма*	Значення, г в 100 г йогурті збагаченого харчовими волокнами
<i>Харчова цінність:</i>		
- білки	80/61	3,8
- жири	81/62	3,0
- вуглеводи, в тому числі	350/300	13,3
- харчові волокна	25...30	4,2
<i>Енергетична цінність, ккал</i>	2450/2000	96,8

*Примітка. Дані взяті для І групи населення, значення для чоловіків/жінок віком 18-29 років

Згідно з отриманими даними визначено, що використання висівок конопель в технології кексів сприяє збільшенню калорійності напоїв за рахунок збільшенню вмісту білка, вуглеводів. Позитивним є збагачення продукту харчовими волокнами, що відповідає 16,8% від добової норми (25...30 г).

Таким чином, отримано комплекс даних, що характеризує якість розроблених йогуртів, доведено їх високу харчову та біологічну цінність. Визначено, що за вмістом харчових волокон розроблені йогурти перевищують продукт-аналог.

Висновки. Обґрунтовано вибір сировини для використання у технології йогуртів збагачених харчовими волокнами, а саме висівки конопляних. Встановлено вплив окремих рецептурних компонентів на фізико-хімічні, структурно-механічні та органолептичні показники модельних систем йогуртів. Обґрунтовано доцільність використання у технології йогуртів висівок конопляних у кількості 10% від маси молочної суміші.

За проведеними дослідженнями, розроблено рецептуру йогурту збагаченого харчовими волокнами «Непр» безлактозного з висівками конопель. При цьому йогурт характеризується однорідним, ніжним згустком, у міру щільний з частинками висівок коноплі, які розподілені по всій масі йогурту. Має солодкий гармонійний кисломолочний смак з присмаком коноплі, нотками горіховими, пряно-терпкими, приємний аромат кисломолочного напою з відчутними нотками конопель. Дослідний зразок має відмінні фізико-хімічні та мікробіологічні показники, які залишаються стабільними при зберіганні.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень сформульовано й доведено науково-практичну гіпотезу – використання рослинної сировини у технології йогуртів з метою підвищення вмісту



харчових волокон забезпечить підвищення їх харчової та біологічної цінності, дасть змогу розширити асортимент кисломолочних напоїв.

Отримані результати демонструють перспективу для подальших досліджень функціональних та оздоровчих властивостей збагачених кисломолочних напоїв.

Список використаних джерел

1. Карпенко В.Л. Аналіз стану розвитку молокопереробної галузі України. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. 2020. №5. С. 90-101.
2. Гойко І., Мещеряков А. Розроблення фітокомпозиції із лікарської рослинної сировини для збагачення йогуртів. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 87-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 15–16 квітня 2021. Київ : НУХТ, 2021. С. 35.*
3. Геліх А., Даниленко С., Крижська Т., Цзіншань Л. Розробка технології та дослідження показників якості йогурту із натуральним наповнювачем у процесі зберігання. *Продовольчі ресурси*. 2021. №9(16). С. 69–78.
4. Визначення впливу пюре кропиви-яблука на якісні показники йогурту / Т. П. Синенко та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів*. 2023. №4 (54). С. 42–46.
5. The effect of milk whey and sublimated pear on the biological value of soft cheese / I. Puryhin et al. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2024. № 32(2). P. 382–390.
6. Method of yoghurt production: Pat 2366194 RF. No. 2007133068, declared 03.09.2007, published 10.09.2009, Bulletin No. 13.
7. Kanareikina S.G., Guzel R.M., Kanareikin V.I. Efficiency of introducing a vegetable additive to manufacture a sour-milk product. *Animal husbandry and fodder production*. 2018. №101. С. 98-105.
8. Ospanov A. B. Use fruit and berry concentrates for encapsulation technology and further use in the composition of live yoghurts based on sheep and goat milk. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology*. 2021. №9.3. P. 23-31.
9. Baidina I. A., Fedosova A. N. Application of vegetable fillers in yoghurt technology. *The role of science in doubling the gross regional product: proceedings of the XXV International Scientific and Production Conference (26-27 May 2021)*. Mayskiy: Publishing house of FGBOU VO Belgorod GAU, 2021. P. 55–56



10. Petukhova S. C. Development of sour-milk product enriched with iodine and dietary fibres. *Actual issues of improving the technology of production and processing of agricultural products*. 2016. №18. P. 141–143.
11. Belokrinitskaya E.A., Chesnokova N.Yu., Levochkina L.V. *Influence of fillers on physico-chemical properties of yoghurts*. *Food industry*. 2009. №5. P. 52–53.
12. Method of yoghurt production: Patent No. 2463796 C2, IPC A23C 9/13. : No. 2010126613/10: applied for. 30.06.2010 : published 20.10.2012.
13. Weber A.L., Leonova S.A., Pikoszewski V. Evaluation and analysis of food, biological value of fermented milk drink with bean component. *Electronic scientific journal*. 2016. № 1(19). P. 22–30.
14. Dolmatova I. A. Research the properties of raw vegetable materials and candied fruits in yoghurt production. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology*. 2016. T. 4. №. 2. P. 85–93.
15. Dzhasheeva Z.A.-M. Flour vegetables of milk thistle fruits are an antioxidant in milk fat. *Modern science-intensive technologies*. 2008. № 3. P. 7.
16. Zaikina M. A. Innovative approaches in developing yoghurt enriched with vegetable raw materials. *Problems of competitiveness of consumer goods and food products*. 2021. P. 167–172.
17. Nakov G., Trajkovska B., Lukinac J. The influence of adding hemp press cake flour on the properties of bovine and ovine yoghurts. *Foods*. 2023. №12(5). P. 958.
18. Montemurro M., Verni M., Rizzello C. G. Design of a Plant-Based Yogurt-Like Product Fortified with Hemp Flour: Formulation and Characterization. *Foods*. 2023. №12(3). P. 485.
19. Rizzo G., Storz M. A., Calapai, G. The Role of Hemp (*Cannabis sativa* L.) as a Functional Food in Vegetarian Nutrition. *Foods*. 2023. № 12. P. 3505.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024 р.

T. Synenko, O. Gavryliuk
Sumy National Agrarian University

DEVELOPMENT OF CUPCAKE TECHNOLOGY WITH INCREASED BIOLOGICAL AND NUTRITIONAL VALUE

Summary

Recently, various innovative yoghurt production technologies have been introduced, which, using new production methods and quality control methods for raw materials and finished products, can further improve the consumer properties of the food product. Recipe and component solutions for yoghurts are expanded through food additives and flavouring fillers based on plant raw materials and Bifidus compositions. Hemp and its derivative products are also among the promising raw materials. The



information analysis showed that hemp bran is a hopeful and, at the same time, insufficiently studied food by-product. To develop potential functional food ingredients to promote waste-free food production from hemp, circular food and a circular economy, it is promising to create a fermented milk drink (yoghurt) enriched with dietary fibre from hemp bran. The work aims to improve the technology of yoghurt enriched with dietary fibre. When substantiating the formulation and component solutions, the quality of the raw materials, particularly dietary fibres (hemp bran), was studied, and the feasibility of using them was substantiated. The results of studies on the quality of hemp bran showed that its enrichment of food products makes it possible to reduce the deficiency of micronutrients and dietary fibre quite easily and quickly without increasing the calorie content of the diet. Based on the studies, an acceptable dose of hemp bran in yoghurt is from 5.0% to 10%. The organoleptic evaluation showed that adding 10% to the yoghurt is optimal. According to the research, a recipe for lactose-free yoghurt enriched with dietary fibre, 'Hemp' with hemp bran, was developed. The yoghurt is characterised by a homogeneous, delicate clot, moderately dense with hemp bran particles distributed throughout the yoghurt. It has a sweet, harmonious fermented milk taste with a hemp flavour, nutty, spicy and tart notes, and a pleasant aroma of a fermented milk drink with noticeable hemp notes. The prototype has excellent physicochemical and microbiological characteristics that remain stable during storage. The results show that the developed yoghurt enriched with dietary fibre is not inferior in quality to traditional yoghurt and meets regulatory requirements.

Key words: fermented milk drinks, vegetable raw materials, dietary fibres. innovative technologies, scientific foundations.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-15

UDC 635.31:631.563

O. P. Priss, d.t.s, professor,
P. O. Bulhakov, postgraduate

ORCID: 0000-0002-6395-4202

ORCID: 0009-0002-9011-8151

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

e-mail: olesia.priss@tsatu.edu.ua, tel.: +380675273110

STORAGE WASTE OF ASPARAGUS AS A VALUABLE SOURCE OF PHENOLIC COMPOUNDS

Summary. Waste from the fruit and vegetable industry dominates on the food waste market. With a tendency of increasing consumers' interest in healthy food and growing consumption of fruits and vegetables, according to forecasts of analysts, the share of this waste will constantly increase. Therefore, nowadays the search for effective solutions of fruit and vegetable waste use, e.g. to obtain biologically active compounds, is extremely timely. Amount of waste during processing and storage of asparagus can reach up to 50%. However, these disposed residuals are rich in polyphenolic compounds, which are characterized by high biological value and can provide additional income. This work provides evaluation of phenolic compounds' content in the waste generated during commercial processing of asparagus, at the stages of preparation for storage and after storage. Two varieties of Asparagus were studied, namely, varieties Prius F1 and Rosalie F1. It was established that the amount of phenolic compounds in asparagus waste reaches 67.73-74.77 mg×100g-1FW depending on the variety. Despite the differences in color, the studied varieties of asparagus did not differ significantly in terms of polyphenolic compounds' total content. In the asparagus waste, content of phenolic compounds was estimated to be only 20-27% lower than in whole spears. Significant differences in the amount of polyphenolic compounds in asparagus waste produced during commercial processing before and after storage were not recorded. Asparagus waste of both studied varieties Prius F1 and Rosalie F1 thus may become a valuable source for obtaining polyphenolic compounds of high biological activity.

Key words: waste, storage, green asparagus, purple asparagus, phenolic compounds.

Introduction. In the "Sustainable Development Goals" adopted by the UN Summit for the period until 2030, goal 12 is set as "Ensure sustainable consumption and production patterns." Task 12.3 envisages halving (per percentage of population) global food waste at the consumer and retail levels by 2030. Food losses occur at all stages from growing, harvesting, processing, storage, logistics and distribution to consumption. The analysis of the food waste market for 2022 shows that fruit and vegetable waste dominates in the share with 20.3% of total food waste. The reasons for such a high amount of waste are losses at the stage of growing products, non-



compliance with storage conditions, and disposing of some product quantities during processing. Consumer interest in healthy eating, an indispensable part of which are fruits and vegetables, will fuel the growth of waste in this sector [1].

Losses at a later stage increase the detrimental impact on the global food system. Therefore, reducing losses and waste of fruit and vegetable products can be one of the leading global strategies for achieving sustainable food security and improving diets, reducing greenhouse gas emissions and wasted resources, as well as increasing productivity and ensuring economic growth.

Fruit and vegetable waste can be used in various industries. Most often, waste from the fruit and vegetable industry is composted and used as organic fertilizer to improve the soil properties. In addition, such waste can be used in animal feed. Today, the possibilities of using waste to obtain biofuel, biogas or other forms of energy through anaerobic fermentation or pyrolysis are also being studied. However, content of antioxidants, phenolic compounds and other phytonutrients that fruits and vegetables are rich in, can be still high in the fruit and vegetable waste. Therefore, it can be a promising raw material for obtaining valuable compounds with high biological activity, thus creating products with value added.

Recent research and publications analysis. Phenolic compounds are of particular importance in fruit and vegetable waste. Today, residues and byproducts of the food production chain are used to extract phenolic substances as products with high value added [2]. Phenolic substances show high biological activity. For instance, they serve as protective compounds during cardiovascular diseases, cancer, diabetes, inflammation, etc. [3]. Their impact on health is known especially due to their strong antioxidant effect. These compounds are classified into several groups, such as phenolic acids, flavonoids, xanthenes, stilbenes, lignins, tannins, and others, being also divided into various subgroups.

Depending on the type of fruit or vegetable, content of phenolic compounds differs, with presence or even prevalence of specific groups. Asparagus contains a wide range of phenolic substances, therefore, the use of waste obtained during its processing for the production of biologically active compounds is considered today as a valorization strategy [4].

Asparagus waste reaches up approximately 50% of the total harvested amount [5]. Most waste is generated during canning of asparagus. Only 15 cm of the tops of asparagus spears are left for canning, and the remaining 15-18 cm ends up in the waste. At least 20% is wasted during its commercial processing, storage and further preparation. Such a large proportion of waste derives from removing the lower part of asparagus spears (usually about 2 cm) during the storage, as this piece tends to be coarser or due to the necessity of adjustment spears to same length. Such

slicing is, however, recommended to reduce mass loss during storage, with preference of the straight cut to diagonal to reduce surface of evaporation from the fresh cut [6]. In addition, after storage, asparagus slices are renewed by removing the dried part of the spear. Unfortunately, due to this fact the basal part of asparagus spears that actually contains a greater number of biologically active compounds is removed [7].

According to literature, Asparagus contains variety of phenolic acids: gallic, protocatechuic, *p*-hydroxybenzoic, vanilic, caffeic, chlorogenic, *p* – coumaric, ferulic, sinapic. Among flavonoids, rutin, isoquercetin, hyperoside, astragalin, quercetin and kaempferol are abundant [8]. Rutin dominates among phenolic substances, with the share of about 67%. Further 10% are taken by its derivative – rutin-4'-glucoside [9]. Recent studies indicate that asparagus waste can be an excellent source for the natural rutin production [10]. In addition, asparagus contains stilbene, lignans and norlignans [11]. Still, the content of phenolic compounds and their ratio differs a lot depending on such factors as genotype, variety, agricultural cultivation techniques, stage of plant development, soil composition, environmental conditions and other abiotic and biotic factors during plant growth, as well as storage conditions of the harvested product [12-14].

Purpose statement. In view of the abovementioned, this work aims to evaluate the content of phenolic compounds in the waste generated at the stages of asparagus commercial processing of asparagus, during preparation for storage and after storage.

Materials and methods of research. For this study two varieties of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) were chosen: the green variety Prius F1 and the purple-green variety Rosalie F1. Plants were harvested at the end of the season (the third decade of June) in 2023 in the Chaichyntsi village, Ternopil region, Ukraine. After collection, the samples were immediately cooled and transported to the laboratory of the Institute of Food Resources (Kyiv), where all further research was carried out. Asparagus had closed bracts and no visible mechanical damage, as well as met the size standards: diameter at least 8 mm, length 23-25 cm, as corresponds to the CODEX STAN 225-2001 standard. The prepared asparagus was stored at a temperature of $2^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ and a relative humidity of $95\% \pm 1$ for 14 days.

The total content of polyphenolic compounds in mg per 100 g of raw weight was determined using the Folin-Denis reagent, according to National Standard of Ukraine 4373 [15]. This determination method is based on the complexation reaction of polyphenols with the Folin-Denis reagent that form colored substances. Reaction is followed by the determination of the optical density of the solution (measurements were

made at a wavelength of 670 nm). The amount of polyphenols was determined by the extinction coefficient of rutin.

The content of polyphenolic compounds was determined in the following samples:

1. Whole asparagus spears, without separating the basal part prior to storage. Different asparagus variates were marked as Prius 1 and Rosalie 1, respectively.

2. Waste in preparation for storage – Prius 2 and Rosalie 2.

3. Whole asparagus spears after storage before the separation of the basal part – Prius 3 and Rosalie 3.

4. Waste, produced during preparation for product sale after storage – Prius 4 and Rosalie 4.

The research was carried out in five repetitions, and the results were subjected to statistical processing by the method of variance analysis.

Results and discussion.

During preparation for storage or sale, operations of primary processing of asparagus spears are carried out, when the lower section of asparagus is leveled and the spears are collected in bundles of standard height. On this stage, first asparagus waste is produced (Fig. 1).



a – place of an oblique cut to be leveled; b – asparagus leftovers accumulated during preparation for storage; c – asparagus prepared for storage; d – basal part of asparagus after storage to be cut off due to its condition.

Fig. 1. The asparagus waste production

In addition, more waste is formed at the stage of commercial processing after storage, when the lower part of the dried slices is removed.

According to our observations, at the stage of primary processing, 15-17% of stems are sent to the waste, depending on the varietal characteristics and quality characteristics. After storage, when renewing the slices, another 5 to 7% of asparagus is thrown away.

When analyzing the content of polyphenols in samples of whole asparagus before storage, no significant differences were recorded for different varieties (Fig. 2).

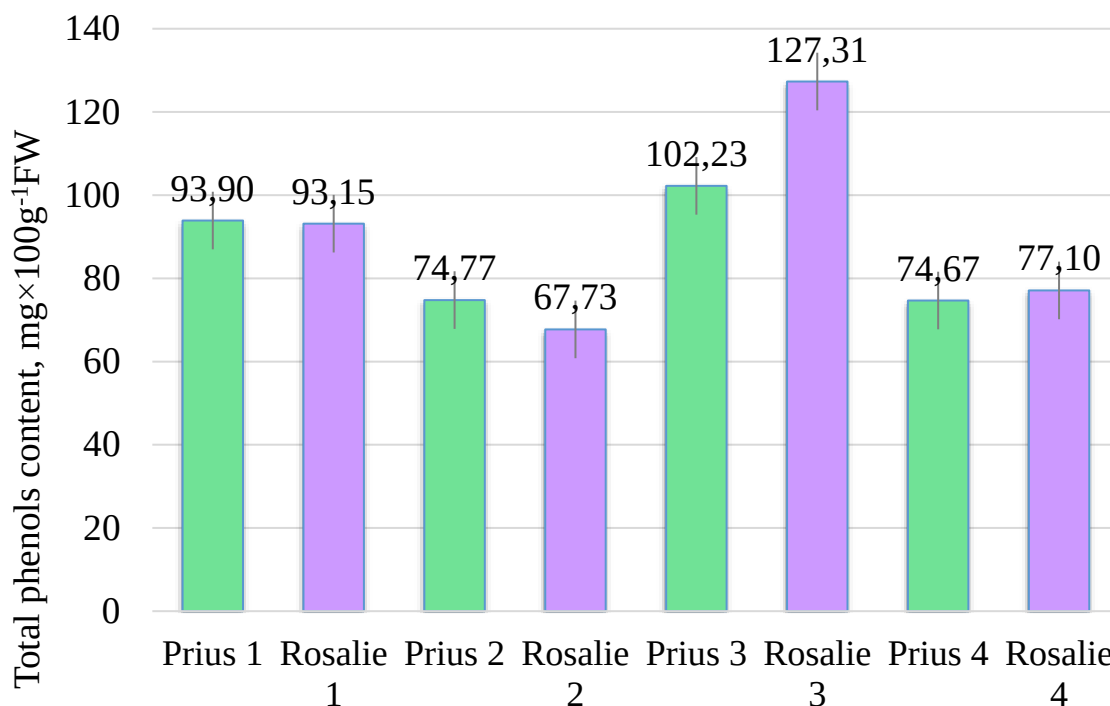


Fig 2. Total content of phenolic compounds in different asparagus samples

As can be seen from the histogram, after storage of asparagus, the content of phenolic compounds significantly increased in whole asparagus shoots of both varieties (samples 3 vs samples 1). However, if the Prius variety showed an increase in phenolic compounds of only about 9%, the Rosalie variety showed an increase of 36%. In literature, different data and opinions regarding the change in the amount of phenolic compounds during storage of asparagus are presented. It was described that the phenolic content of asparagus increases during the first days of storage at 4 °C and remains stable thereafter [16]. Toscano et al. showed that the total content of phenolic compounds increases in Atlas asparagus variety on the third day of storage, and then gradually decreases [17]. The authors believe that this decrease in the total level of phenolic compounds reflects a response to the aging of asparagus.

Barberis et al. observed a similar pattern of changes in the total phenol content during storage of Vegalim asparagus variety [18]. This variety showed an increase in the amount of phenols on the 6th day, however, on

the 12th day of storage, the content of polyphenols decreased by 20% from the initial content. Two other varieties described in this article showed a completely different trend of changes in the content of polyphenols. Grande (green) and Purple Passion (purple) asparagus after 12 days of storage increased the content of polyphenols by 45 and 36%, respectively.

A constant increase in polyphenolic compounds was described in asparagus of the Grande variety stored at 2 °C and 10 °C by Palma et al. [19]. Authors explain the growth trend by an increase in the content of phenols in the cell walls of asparagus. However, the authors note that spears stored at 10 °C showed no change in phenolic content when they were in the stage of decay, most likely because decaying cells are no longer able to synthesize phenolic compounds. The opposite nature of the change in the content of phenolic compounds was observed by Chinese researchers. They showed that with increasing storage time, the amount of phenolic compounds decreases [20]. As noted by these authors, this may be due to the constant involvement of phenols in the synthesis of lignin during storage, since phenolic compounds serve as precursors of lignin synthesis.

Such radically different results prove that not only the quantitative characteristics are different in different asparagus varieties, but also the nature of the formation and degradation of polyphenolic compounds can differ significantly depending on the varietal specificity and other factors.

As for the basal parts of asparagus spears, which are normally disposed (samples 2 and 4), we observed them containing a 20-27% lower amount of phenolic compounds than in whole spears. However, such amount of phenolic compounds in such waste is still quite high: 74.77 mg×100g⁻¹FW in the Prius variety and 67.73 mg×100g⁻¹FW in the Rosalie variety. Similar results were obtained by other authors [20], although Rodríguez et al. claim the basal part of asparagus to be richest in polyphenolic compounds [8].

We did not record significant differences in the basal parts of asparagus, which are waste before and after storage. It is obvious that some changes, however, occur anyway as long as physiological processes are taking place. But, perhaps, in parallel with the new formation of polyphenols, process of their degradation occurs with comparable speed, therefore detected sum of polyphenolic compounds is not reflected. Differences still might be traced in the content of individual phenolic substances, but to detect such, additional research is required.

Conclusions. According to our data, asparagus waste of both studied varieties, Prius and Rosalie, contains high amounts of phenolic compounds and can thus become a valuable source for obtaining compounds of high biological activity. Significant differences in the amount of polyphenolic compounds in asparagus waste produced during commercial processing before and after storage were not recorded. Despite the differences in color,

the studied varieties of asparagus did not differ noticeably in terms of the total content of polyphenolic compounds. Variety-specific features also did not affect the amount of phenolic compounds in asparagus waste. Additional research is needed to identify the transformation of individual phenolic substances in waste samples obtained before and after storage.

References

1. Food Waste Management Market Size, Share & Trends Analysis Report by Waste Type (Fruits & Vegetables), by Source, by Service Type, by Region, and Segment Forecasts, 2023 – 2030. (2023). URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/food-waste-management-market#:~:text=The%20global%20food%20waste%20management,concerns%20over%20food%20waste%20globally> (accessed 15.09.2024).
2. Albuquerque B. R., Heleno S. A., Oliveira M. B. P. P., Barros, L. & Ferreira I. C. F. R. Phenolic compounds: Current industrial applications, limitations and future challenges. *Food & Function*. 2021. Vol.12(1). P. 14–29. <https://doi.org/10.1039/D0FO02324H>.
3. Durazzo A., Lucarini M., Souto E. B., Cicala C., Caiazzo E., Izzo A. A., Novellino E. & Santini A. Polyphenols: A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health. *Phytotherapy Research*. 2019. Vol. 33(9). P. 2221–2243. <https://doi.org/10.1002/ptr.6419>.
4. Díaz K. E., Castagnino A. M., Rosini M. B. & Favazzo M. E. Vegetable flour as a strategy for the use and valorization of processed by-products: asparagus case-Part I: Panorama on the general problem of losses and waste in horticulture, dehydration as a II range agroindustrial alternative, and its benefits–Review. *Argentinian Horticulture/Horticultura Argentina*. 2022. Vol. 41(104). <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/5mq2vrfvr>.
5. Fuentes-Alventosa J. M., Jaramillo-Carmona S., Rodríguez-Gutiérrez G., Guillén-Bejarano R., Jiménez-Araujo A., Fernández-Bolaños, J. & Rodríguez-Arcos R. Preparation of bioactive extracts from asparagus by-product. *Food and Bioproducts Processing*. 2013. Vol. 91(2). P. 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.12.004>.
6. Priss O., Hutsol T., Glowacki S., Bulhakov P., Bakhlukova K., Osokina N., Nurek T., Horetska I. & Mykhailova L. Effect of Asparagus Chitosan-Rutin Coating on Losses and Waste Reduction During Storage. *Agricultural Engineering*. 2024. Vol. 28(1). P. 99–118. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2024-0008>.
7. Rodríguez R., Jaramillo S., Guillen R., Jimenez A., Fernández-Bolaños J. & Heredia A. Cell wall phenolics of white and green asparagus. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2005. Vol. 85(6). P. 971–978. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2053>.



8. Kobus-Cisowska J., Szymanowska D., Szczepaniak O. M., Gramza-Michałowska A., Kmiecik D., Kulczyński B., Szulc P. & Górnaś P. Composition of polyphenols of asparagus spears (*Asparagus officinalis*) and their antioxidant potential. *Ciência Rural*. 2019. Vol. 49(4). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180863>.
9. Solana M., Boschiero I., Dall'Acqua S. & Bertucco A. A comparison between supercritical fluid and pressurized liquid extraction methods for obtaining phenolic compounds from *Asparagus officinalis* L. *The Journal of Supercritical Fluids*. Vol. 100. P. 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.02.014>.
10. Santiago B., Feijoo G., Moreira M. T. & Gonzalez-Garcia S. (2021). Identifying the sustainability route of asparagus co-product extraction: From waste to bioactive compounds. *Food and Bioprocess Processing*. 2021. Vol. 129. P. 176–189. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.08.005>.
11. Jiménez-Sánchez C., Lozano-Sánchez J., Rodríguez-Pérez C., Segura-Carretero A. & Fernández-Gutiérrez A. Comprehensive, untargeted, and qualitative RP-HPLC-ESI-QTOF/MS2 metabolite profiling of green asparagus (*Asparagus officinalis*). *Journal of Food Composition and Analysis*. 2016. Vol. 46. P. 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.11.004>.
12. Burdina I. & Priss O. Effect of the Substrate Composition on Yield and Quality of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Horticultural Research*. 2016. Vol. 24(2). P. 109–118. <https://doi.org/10.1515/johr-2016-0027>.
13. Hutsol T., Priss O., Kiurcheva L., Serdiuk M., Panasiewicz K., Jakubus M., Barabasz W., Furyk-Grabowska K. & Kukharets M. Mint Plants (*Mentha*) as a Promising Source of Biologically Active Substances to Combat Hidden Hunger. *Sustainability (Switzerland)*. 2023. Vol. 15(15). P. 11648. <https://doi.org/10.3390/su151511648>.
14. Priss O. & Glowacki S. Strategies for reducing postharvest losses of vegetables through integral assessment of antioxidant status. In O. Priss (Ed.). *Food technology progressive solutions*. 2024. Ch.1. P. 4–27. <https://doi.org/10.21303/978-9916-9850-4-5>.
15. Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Методи визначення вмісту поліфенолів: ДСТУ 4373:2005. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 6 с.
16. Kevers C., Falkowski M., Tabart J., Defraigne J.-O., Dommes J. & Pincemail J. Evolution of antioxidant capacity during storage of selected fruits and vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007. Vol. 55(21). P. 8596–8603. <https://doi.org/10.1021/jf071736j>.
17. Toscano S., Ferrante A., Leonardi C. & Romano D. PAL activities in asparagus spears during storage after ammonium sulfate



treatments. *Postharvest Biology and Technology*. 2018. Vol. 140. P. 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.02.010>.

18. Barberis A., Cefola M., Pace B., Azara E., Spissu Y., Serra P. A., Logrieco A. F., D'hallewin G. & Fadda A. Postharvest application of oxalic acid to preserve overall appearance and nutritional quality of fresh-cut green and purple asparagus during cold storage: a combined electrochemical and mass-spectrometry analysis approach. *Postharvest Biology and Technology*. 2019. Vol. 148(July 2018). P. 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.10.016>.

19. Palma A., Schirra M. & D'Aquino S. Effect of film packaging and storage temperature on physical and chemical changes in fresh-cut green asparagus. *Advances in Horticultural Science*, 2015. <http://digital.casalini.it/3085409>.

20. Tian Z., Zhang R., Liu Y., Xu J., Zhu X., Lei T. & Li K. Hemicellulose-based nanocomposites coating delays lignification of green asparagus by introducing AKD as a hydrophobic modifier. *Renewable Energy*. 2021. Vol. 178. P. 1097–1105. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.096>.

Стаття надійшла до редакції 29.09.2024 р.

О. Прісс, П. Булгаков
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

ВІДХОДИ ПРИ ЗБЕРІГАННІ СПАРЖІ ЯК ЦІННЕ ДЖЕРЕЛО ФЕНОЛЬНИХ РЕЧОВИН

Анотація

Відходи плодоовочевої галузі займають переважаючу частку ринку харчових відходів. Враховуючи тенденцію до зацікавленості споживачів у здоровому харчуванні та зростання споживання плодів та овочів, за прогнозами аналітиків, частка цих відходів буде постійно зростати. Тож актуальним є пошук ефективних рішень для використання плодоовочевих відходів для отримання біологічно активних сполук. Відходи при переробці та зберіганні спаржі можуть сягати до 50 %. Найчастіше відходи компостують та використовують у годівлі тварин. Однак, відходи плодоовочевої продукції містять цінні фітонутрієнти на які багаті плоди та овочі. Тож вони можуть бути перспективною сировиною для отримання цінних сполук з високою біологічною активністю та створення продукції з доданою вартістю. Спаржа містить такі фенольні кислоти, флавоноїди інші речовини фенольної природи, що володіють антиоксидантними, антибактеріальними, вітамінними властивостями. Очевидно, що і відходи спаржі багаті на поліфенольні сполуки, що характеризуються високою біологічною цінністю і можуть давати додатковий прибуток. У роботі оцінили вміст фенольних сполук у відходах, що утворюються під час товарної обробки спаржі, на етапах підготовки до зберігання та після зберігання. Досліджували спаржу сортів Пріус F1 та Розалі F1. Незважаючи на відмінності у забарвленні, досліджувані



сортів спаржі за сумою поліфенольних сполук достовірно не відрізнялись. У відходах спаржі на 20-27% нижча кількість фенольних сполук, ніж в цілих списках. Встановлено, що сума фенольних сполук у відходах спаржі сягає 67,73-74,77 mg×100g-1FW залежно від сорту. Суттєвих відмінностей у сумі поліфенольних сполук у відходах спаржі, що утворюються при товарній обробці до та після зберігання не зафіксовано. Відходи спаржі обох досліджуваних сортів Пріус F1 та Розалі F1 можуть стати хорошим джерелом для отримання поліфенольних сполук високої біологічної активності.

Ключові слова: плодовоовочева продукція, відходи, зберігання, спаржа зелена, спаржа фіолетова, фенольні речовини.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-16

УДК 662.818:[665.3:621.777]

К. О. Самойчук, д.т.н.

ORCID: 0000-0002-3423-3510

В. А. Самохвал, аспірант

ORCID: 0000-0001-5539-3647

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: kyrylo.samoichuk@tsatu.edu.ua, тел.: +380978805485

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ВІДЖИМУ ТЕХНІЧНИХ ОЛІЙ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПРИСТРОЮ ОСТАТОЧНОГО ФОРМУВАННЯ ПАЛИВНОГО БРИКЕТУ

Анотація. Аналіз досліджень показав, що при використанні багатосекційного пристрою остаточного формування паливних брикетів з оліємісткої сировини, значно поліпшується якість готової продукції завдяки контрольованого відводу технічних олій на певних етапах формування. За рахунок подовженої конструкції пристрою збільшився час перебування сировини в стиснутому стані, що в свою чергу підвищило якість кінцевого продукту. При застосуванні даної технології брикетування, саме обладнання має значно більший ресурс ніж в аналогів, тому що відбувається незначний відбір олій на етапах де максимальне тертя та збільшується на етапах з мінімальним, за рахунок чого, як показала практика, ресурс обладнання збільшується в декілька раз.

Виконання вхідної частини матриці у формі конуса сприяє кращому формуванню різних видів сировини та зниженню енергоємності самого процесу, а збільшення відношення довжини набору секцій до його діаметру збільшує тиск при формуванні брикету та покращує відвід олій. Дане обладнання добре себе зарекомендувало в промислових умовах, та зазнає постійних вдосконалень та покращень.

Ключові слова: брикет, прес, олії, формування, дожимний пристрій.

Постановка проблеми. При сьогоденних умовах, коли спостерігається постійний ріст цін на енергоресурси і особливо гостро стає проблема про перехід на відновлювальні джерела енергії, напрямок виготовлення паливних брикетів має стрімкий розвиток [1]. В даний час брикетування різних видів сировини, а особливо відходів провіювання таких культур як соняшник, соя, рапс, коріандр, стало стандартною технологічною операцією в більшості великих та середніх сільгосппідприємств, так як паливні брикети мають великий попит [2, 3]. Застосування брикетування стало розвиватися в промислових обсягах.

Так як сфера стає високорентабельною то і збільшується конкуренція на ринку збуту, а отже якість готової продукції та обладнання на якому вона виготовлена, постійно змінюється в кращу



сторону. В процес впроваджуються нові більш інноваційні технології, які знижують собівартість готової продукції та при цьому підвищують її якість [4].

В даний час різко збільшується використання біопалива що виготовляється з рослинної сировини, а саме відходів сільського господарства, при цьому фермерські господарства все більше починають збирати відходи провіювання рослин, які гарно підходять для виготовлення паливних брикетів, що раніше просто лишалися на полях [5]. Метою брикетування рослинної сировини при виробництві біопалива є поліпшення показників при згоранні, збільшення термінів зберігання а також заміна більш дорогих джерел енергії [5, 6].

При брикетуванні оліємісткої сировини багато виробників стикаються з проблемою, як відібрати потрібну кількість олії з готового продукту, щоб забезпечити як гарні екологічні показники так і велику щільність брикету та високу калорійність, при невеликій собівартості їх виробництва [7]. Важливе значення при цьому відіграє правильність підбору обладнання та організація самого технологічного процесу [8].

Незважаючи на різноманітність обладнання на сьогоднішній день дуже малий їх відсоток здатен забезпечити всі процеси в одній машині (пресі) та при цьому мати низьку собівартість та тривалий період між плановими ремонтами і при цьому забезпечити висококонкурентну продукцію [9].

Аналіз останніх досліджень. Більша частина досліджень в даній галузі спрямованих на вивчення конструкцій існуючого обладнання та на технічні процеси які відбуваються при переробці ним різних видів сировини [10, 11]. Велика кількість виробників обладнання зосереджується на розробці більш практичних та досконалих зразків обладнання [12, 13]. На даний час галузь по виготовленню паливних брикетів є дуже перспективною. З'являється все більше зразків обладнання, здатного поєднувати в собі одразу значну кількість усіх операцій технічного процесу виготовлення паливних брикетів [14]. В країнах з широко розвиненим сільським господарством є великий потенціал сировинних баз для даної галузі, так як вся органіка гарно горить.

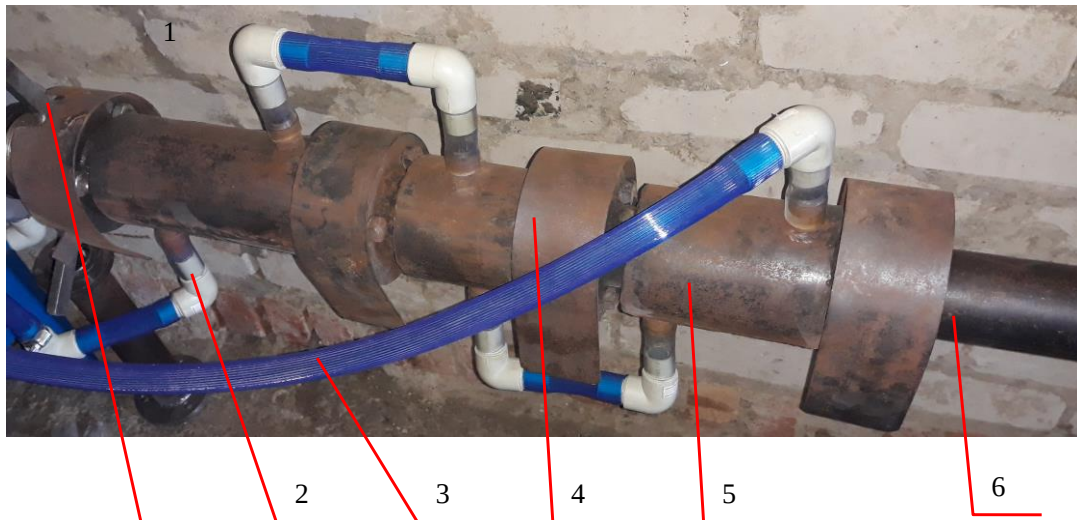
Для кожного виду сировини підходять різні види пресового обладнання [15, 16]. В нашому регіоні вирощують в великій кількості оліємісткі рослини такі як соняшник, соя льон, рапс та інші, які добре підходять для виготовлення паливних брикетів. З даним видом сировини найкраще себе зарекомендувало обладнання шнекового типу [17, 18]. Проводячи аналіз літератури та новітніх патентів ми бачимо що обладнання даного типу за останні роки зазнало безлічі вдосконалень та стало більш універсальним [19]. Більша частина

шнекового обладнання, при роботі з маслянистими культурами включає в технологічну лінію декілька окремих установок що в свою чергу підвищує собівартість як обладнання так і готової продукції [20, 21]. Для зменшення собівартості нами було прийнято рішення розробки установки яка б поєднувала більшість процесів в одному пресові [22].

Формулювання мети статті. Задачею даної статті є опрацювання відомої літератури та зразків обладнання а також діючих патентів в даному напрямку. Метою - розробка нового, більш досконалого пресового обладнання, здатного поєднати всі технологічні процеси в одній установці та при цьому забезпечити високу якість готової продукції при невеликій собівартості. При цьому обладнання має підходити для майже всіх видів оліє місткої сировини [23, 24].

Основна частина. В час постійної конкуренції зростають вимоги до як готової продукції так і до обладнання на якому вона виготовлена. Опрацьовуючи відому літературу та існуючі патенти за напрямком виготовлення паливних брикетів можна зробити висновок, що за останні шість років галузь сильно вдосконалилася, з'явилося як безліч нових видів обладнання та і нових технологій по виготовленню паливних брикетів. Для нашої держави є найбільш пріоритетним напрямком виготовлення паливних брикетів з відходів провіювання сільського господарства, так як Україна має гарно розвинуте сільське господарство та великі площі сільгоспугідь. Під час аналізу відомих популярних зразків пресового обладнання ми бачимо, що при роботі з маслянистими видами культур майже всі лінії включають в себе додатково маслопрес, що в свою чергу значно збільшує собівартість готової продукції та знижує її конкурентоспроможність [25]. Із досвіду виробників слідує, що з такими видами культур найкраще себе зарекомендували саме шнекові прес екструдери для виготовлення паливних брикетів. При роботі в даному напрямку було прийнято рішення розробити пристрій, який поєднує в собі формування брикету, віджим технічних олій та контрольоване охолодження сировини. Пристрій при цьому повинен бути простий в обслуговуванні та мати високий ресурс роботи. Розроблений пристрій показаний на рис. 1.

Даний робочий орган досліджувався в поєднанні з серійним прес-екструдером основні технічні характеристики якого приведені в таблиці 1.



1 – регулятор тиску камери дожиму; 2 – патрубок подачі охолоджуючої рідини; 3 – патрубок відводу охолоджуючої рідини; 4 – захисний кожух; 5 – секція з охолодженням; 6 – секція без охолодження.

Рис. 1. Фрагмент робочих органів, до складу якого увійшов розроблений пристрій остаточного формування

Таблиця 1

Технічні характеристики прес-екструдера

Показник	Величина
Продуктивність (по відходах оліє містких культур), кг/год	120-150
Встановлена потужність, кВт	до 7,5
Споживана потужність, кВт/т	55...60
Потужність електродвигуна, кВт	11
Вологість сировини до, %	15

Для дослідів використовували три види сировини: відходи соняшнику, відходи сої, та відходи льону та змінювали кількість секцій пристрою. Сировина була завчасно підготовлена та мала однакову структуру, вологість та вміст оліємісткої частки. Всі досліди проводилися за однаковий проміжок часу та повторювалися по три рази. При досліді завантаженість обладнання була наближена до промислових умов. Під час дослідів зважували отриману продукцію на цифрових вагах Nokasonic Nk-50. Всі отримані показники занесли в таблицю 2.

При виконанні дослідів нами було задіяно вісім секцій пристрою остаточного формування, але як показала практика, при роботі з відходами сої можливо використовувати і більшу кількість секцій, так як структура культури є більш м'якою. А при роботі з відходами льону достатньо семи секцій, так як якість брикету вже після сьомої секції є досить високою.



Таблиця 2

Кількісні показники роботи пресу

Кількість секцій	1	2	3	4	5	6	7	8
Довжина пристрою, мм	245	445	690	935	1180	1425	1670	1915
Маса олії при виготовленні 100 кг брикету з відходів соняшника	0,8	1,9	2,8	3,5	4,1	4,8	5,1	5,5
Маса олії при виготовленні 100 кг брикету з відходів сої	0,4	0,8	1	1,2	1,9	2,1	2,6	2,8
Маса олії при виготовленні 100 кг брикету з відходів льону	0,6	1,2	1,8	3	3,5	4,1	5	5,4

Висновки. В результаті досліджень можна зробити висновки, що при використанні секційного пристрою остаточного формування брикету в значній мірі збільшилося відбирання технічних олій з готового продукту вже на етапі його формування.

Завдяки унікальності своєї конструкції пристрій легко адаптувати до більшості видів шнекових пресів а сама конструкція дозволяє відбирати потрібну нам кількість олій на певних етапах формування що в свою чергу забезпечує зниження зношування деталей пресу.

З економічної сторони використання розробленого пристрою – при використанні обладнання в значній мірі зменшується собівартість готової продукції та розширюється спектри сировини, який можна використати в пресі.

Список використаних джерел

1. Адаменко О., Височанський В., Лютко В., Михайлов М. Під ред. докт. техн. наук, проф. Лютко В. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії: підручник для енергетичних і екологічних спеціальностей вищих навчальних закладів, Івано-Франківськ: Полум'я, 2000. 225 с.

2. Єременко О. І., Василенков В. Є., Руденко Д. Т. Дослідження процесу брикетування біомаси шнековим механізмом. *Інженерія природокористування*. 2020. Вип. 3(17). С. 15–22.

3. Гелетуша Г. Г., Железна Т.А. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Ч. 1. *Промислова теплотехніка*, 2010. Т. 3, №3. С. 73–79.



4. Полянський О. С., Д'яконов В. І., Д'яконов О. В. Комплексна оцінка і аналіз енергетичних показників існуючих технологій переробки рослинних відходів у паливні брикети. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. «Механізація сільськогосподарського виробництва»*. 2018. Вип. 190. С. 192–202.
5. Bogaert L., Mhemdi H., Vorobiev E. Residence time distribution and flow pattern modeling of oilseeds in a pilot screw press. *Oilseeds & Fats Crops and Lipids*. 2020. 27, № 65. doi: 10.1051/ocl/2020060.
6. Шнековий прес-екструдер для отримання брикетів: пат. 127064, Україна. МПК (2022.05). а 202007249: заявл. 13.11.2020: опубл. 30.03.2023, Бюл. № 13. 8 с.
7. Бойко В. С., Самойчук К. О., Тарасенко В. Г., Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О., Михайлов Є. В., Червоткіна О. О. Процеси і апарати. Механічні та гідромеханічні процеси. Київ: ПрофКнига, 2021. 468 с.
8. Indartono Y. S., Heriawan H., Kartika I. A. Innovative and flexible single screw press for the oil extraction of Calophyllum seeds. *Research in Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 65. P. 91–97.
9. Mushtruk M., Gudzenko M., Palamarchuk I., Vasylyv V., Slobodyanyuk N., Kuts A., Nychyk O., Salavor O., Bober A. Mathematical modeling of the oil extrusion process with pre-grinding of raw materials in a twin-screw extruder. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 937–944. <https://doi.org/10.5219/1436>.
10. Кіндзера Д. П., Атаманюк В. М., Госовський Р. Р., Мотіль І. М. Дослідження процесу формування паливних брикетів із рослинної сировини та визначення їх характеристик. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 101. С. 138–146.
11. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Розробка міні-лінії для виготовлення паливних брикетів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 21, т. 1. С. 152–159.
12. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Характеристики використання брикетування в переробній промисловості. *Новачії в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. : [матеріали конференції]* Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 182–184.
13. Choton S., Gupta N., Bandral J. D., Anjum N., Choudary A. Extrusion technology and its application in food processing: A review. *The Pharma Innovation Journal*. 2020. Vol. 9(2). P. 162-168. <https://doi.org/10.22271/tpi.2020.v9.i2d.4367>.
14. Фомич М. І. Технології та обладнання для виготовлення паливних брикетів. *Сільськогосподарські машини*. 2023. № 46. С. 53–59.

15. Antoniassi R., Wilhelm A. E., Reis S. L. R., Regis S. A., Faria-Machado A. F., Bizzo H. R. & Cenci S. A. Expeller pressing of passion fruit seed oil: Pressing efficiency and quality of oil. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2022. Vol. 25. e 2021168. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.16821>.
16. Самохвал В. А., Самойчук К. О. Виготовлення паливних брикетів на пресі екструдерного типу. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: науково-практична конференція молодих учених (24 лютого 2023)*. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 11.
17. Гелетуша Г. Г., Железна Т. А., Драгнєв С. В. Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні. *Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України № 20*, 2018. URL: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-20-ua.pdf> (дата звернення 12.09.2024).
18. В. П. Пурдик Обґрунтування основних експлуатаційних параметрів обладнання для виробництва паливних брикетів. *Тези доповідей, на 12-му Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові*. Львів, 2015. С. 73–74.
19. Самохвал В. А. Самойчук К. О., Підвищення ефективності виробництва паливних брикетів з оліє містких сировин в шнекових прес-екструдерах. *Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2023: Збірник тез доповідей XIX Міжнародної наукової конференції (18-19 травня 2023 року) / Національний університет біоресурсів і природокористування України*. Київ, 2023. С. 56–59.
20. Самойчук К. О., Самохвал В. А., Дослідження ефективності роботи обладнання для інтенсифікації відтискання технічних олій в гвинтових прес-екструдерах для виготовлення паливних брикетів. *Праці ТДАТУ*. 2023. Вип. 13, т. 1. С. 1-16. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-1-16>.
21. Самойчук К. О., Самохвал В. А., Перспективи використання біопалива з рослинної сировини. *Інтеграційні та інноваційні напрями розвитку харчової індустрії: матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції «(3-4 листопада 2022 р)»*. Черкаси, 2022 С. 158–161.
22. Fakayode O. & Ajav E. Development, testing and optimization of a screw press oil expeller for moringa (*Moringa oleifera*) seeds. *Agricultural Research*. 2019. Vol. 8. P. 102–115. <https://doi.org/10.1007/s40003-018-0342-6>.
23. Bălțatu C., Mateescu M., Anghelache D., Tăbărașu A. The importance of moisture in extracting oils from oilseeds. A review. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara-International Journal of Engineering*. 2022. Vol. 2. P. 167–170.



24. Alonge A. F. Extraction of vegetable oils from agricultural materials: A review. *CIGR – International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering*: In Proceedings of the 12th CIGR Section VI International Symposium. 2019. P. 1184–1206.

25. Gudzenko M. M., Vasylyv V. P., Mushtruk M. M., Zheplinska M. M., Palamarchuk I. P., Burova Z. A., Sarana V. V. Parameters of screw nozzles of twin-screw extruder-press on oil yield. *Animal Science and Food Technology*. 2021. Vol. 12(3). P. 5–17. <https://doi.org/10.31548/animal2021.03.001>.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024 р.

K. Samoichuk, V. Samokhval
Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

**DETERMINATION OF QUANTITATIVE INDICATORS
OF SQUEEZING OF INDUSTRIAL OILS WHEN USING THE DEVICE
FOR FINAL FORMATION OF FUEL BRIQUETTES**

Summary

The analysis of the research showed that when using a multi-sectional device for the final formation of fuel briquettes from oil-containing raw materials, the quality of the finished product is significantly improved due to the controlled removal of industrial oils at certain stages of formation. Due to the design features of the device, the time spent by the raw material in the compressed state has increased, which in turn has also improved the quality of the final product. When applying this technology, the equipment has a much longer service life than its analogues, since there is a slight selection of oils at the stages with maximum friction and increases at the stages with minimal friction, due to which, as practice has shown, the service life of the equipment increases several times. This research is aimed at overcoming the problem of excessive oil content in the finished product, as this problem is faced by most fuel briquette producers who work with oil-containing waste from sunflower, flax, soybean, rapeseed and other crops. The main goal of our work is to improve the quality of finished products through controlled selection of oils and increase the time of raw materials in the compressed state, as well as reduce the cost of finished products without losing quality. When developing methods for solving this problem, the designs and patents of well-known screw-type press equipment were studied. In the new equipment, it was decided to make the inlet part of the die in the form of a cone with rotation protection ribs, which in turn contributed to better forming of different types of raw materials and reduced energy consumption of the process itself, and an increase in the ratio of the length of the set of sections to its diameter increases the pressure during briquette formation and better drainage of industrial oils. This equipment has proven itself in industrial conditions and is constantly being improved. When the device is used in conjunction with a screw extruder, the cost of the finished product is reduced in the range of 5...20%, depending on the type and structure of the raw material.

Key words: briquette, press, oils, molding, final forming device.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-17

УДК [637.146:633.522]:637.05

С. М. Одінцов, аспірант

ORCID: 0009-0005-1390-648X

Ю. В. Назаренко, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-4870-4667

Сумський національний аграрний університет

e-mail: sergii.odintsov@gmail.com, тел.: +380663749180

ТЕХНОЛОГІЯ СИРНОГО ПРОДУКТУ ІЗ ПРОТЕЇНОМ КОНОПЛЯНИМ

Анотація. Зростаюча тенденція до виробництва сиру з тваринних і рослинних інгредієнтів призвела до урізноманітнення технологій сироваріння та пошуку нової сиропридатної сировини. Включення рослинної сировини в технологію сиру впливає на технічні властивості молочно-рослинних сумішей, зокрема на їхню сиропридатність, та якість готового сирного продукту. Метою дослідження є визначення впливу протеїну конопляного на якісні показники сирного продукту та вміст в ньому поживних речовин. Проведеними дослідженнями встановлено, що білки насіння конопель впливають на сенсорні характеристики сиру. Збільшення вмісту конопляного білка в рецептурах призводить до появи коричнево-зеленого кольору сирного продукту. Смак і запах набувають характерного конопляного відтінку. При використанні рослинних білків в рецептурі сиру збільшується вихід готового продукту на 0,3...23,5 %. В дослідних зразках підвищується вміст жиру (на 0,3...2,2 %) та білка (на 1,75...10,4 %). Враховуючи результати сенсорного аналізу експертної комісії та збалансований біологічний профіль, рекомендована концентрація білка конопляного насіння в молочно-рослинній суміші становить 20 %, що гарантує прийнятну якість продукту.

Ключові слова: сирний продукт, рослинна сировина, протеїн конопляний, білок, біологічна цінність.

Постановка проблеми. Коноплі та промислові продукти з них є одним з перспективних ключів до розвитку стійкої та життєздатної продовольчої системи. З точки зору вирощування, коноплі мають короткий період збору врожаю і потребують менше пестицидів і води, ніж інші технічні культури. Крім того, все тіло рослини – листя, стебла, коріння і насіння – можна використовувати без відходів [1, 2].

Насіння конопель має поживну цінність, порівнянну з соєвими бобами [3]. Насіння конопель складається з білого ядра та коричневої оболонки. Ядро багате білком, ненасиченими жирними кислотами та харчовими волокнами. Конопля має унікальний поживний склад з високим вмістом білка та низьким вмістом вуглеводів, що помітно відрізняється від іншої рослинної сировини, таких як рис і пшениця [4].



Молочні продукти, такі як сир, отримують за допомогою сичужного або кислотного-сичужного процесу. Однак рослинні білки мають інші молекулярні та функціональні властивості, ніж казеїн, в результаті під дією сичужного ферменту не утворюються білкові згустки. Цю проблему можна вирішити за допомогою різних методів, таких як підбір комбінації ферментів та штамів мікроорганізмів з різною специфічністю, кислот та термічної обробки.

Наукові дослідження з цієї теми є важливими, щоб зрозуміти потенційний вплив білка конопелі на сироваріння та взаємозв'язок між білками тваринного та рослинного походження в процесі утворення сирного згустку. Результати таких досліджень потрібні практиці, тому що дозволять розширити асортимент сирних продуктів з комбінованої сировини.

Аналіз останніх досліджень. Включення рослинних білків у технологію сиру та встановлення взаємозв'язку між молочними продуктами та рослинними білками все ще потребує наукових досліджень. Рослинні інгредієнти у виробництві сиру були предметом численних досліджень [5–8]. Рослинні білки не коагулюють під впливом сичужних ферментів, тому їх ефективне включення в технологію сиру вимагає вибору параметрів попередньої обробки молочно-рослинної суміші. Наприклад підвищені параметри термічної обробки (пастеризації), використання солей, ферментів широкого спектру дії, зміна рН і заквасок з додатковими властивостями.

Науковцями [9] підкреслено, що біологічна цінність білків сильно відрізняється між тваринного та рослинного походження. Використання білків тваринного походження призводить до того, що в продуктах загалом міститься більша частка незамінних амінокислот (32...44 %) порівняно з білками рослинного походження (20...35 %).

Саме такий підхід використаний у роботі [10]. Авторами пропонується змішувати білки з різних джерел, щоб підвищити поживну цінність продукту і збалансувати амінокислотний профіль. Наприклад, вони пропонують поєднувати горох і сочевицю, протеїни яких багаті на лізин, із зернами злаків, які бідні на лізин, але з високим рівнем амінокислот сірки. Однак не досліджено поєднання білків тваринного та рослинного походження.

У роботах [11, 12] досліджено фізико-хімічні, структурні та функціональні властивості білків насіння конопель та порівняно їх з соєвими, гороховими, сироватковими та яєчними білками. Показано, що білок насіння конопель має високий вміст загального білка (67,1 г/100 г) і незамінних амінокислот (23,1 г/100 г). Автори визначили потенціал використання конопляного білка в різних продуктах харчування для збільшення вмісту білка в них. Однак конопляний білок має низьке водопоглинання та розчинність і високе поглинання



олії, тому для зміни його структури та функціональності необхідна відповідна обробка.

У роботах [13, 14] встановлено, що конопляний протеїн має чудовий поживний амінокислотний профіль із широким спектром незамінних амінокислот і значною кількістю глутаміну та аргініну. Основним білком в насінні конопель є едестин, який становить близько 70 % конопляного білка і має низьку розчинність. Другий основний білок конопель – альбумін, який має менше дисульфідних зв'язків, ніж едестин, завдяки чому має більш гнучку структуру, вищу розчинність і здатність до піноутворення. Автори підкреслюють, що конопляний білок має високий ступінь засвоюваності. Крім того, більшість конопляних алергенів, таких як основний тауматиноподібний білок і білок перенесення ліпідів, були усунені в процесі виділення білка або травлення. Тому конопляний білок можна використовувати як інгредієнт гіпоалергенних продуктів.

У статті [15] досліджуються альтернативи молока на основі конопляного насіння. Показано, що термін зберігання готової продукції в холодильнику становив від 15 до 28 днів, причому вищий вміст конопель (15 %) призводив до більш тривалого терміну зберігання. У зразках конопляного молока спостерігалось незначне розділення фаз, але значного утворення осаду чи крему не відбулося, і всі вони легко рекомбінувалися після струшування. Автори зазначають, що не спостерігалось кореляції між концентрацією конопель і тенденцією до розділення. Зразки конопляного молока, приготовлені з 3 % і 5 % насіння конопель, були найбільш схожими на коров'яче молоко за органолептичними та фізико-хімічними показниками. Однак не досліджено функціональних і технологічних властивостей альтернативного молока.

У роботі [16] визначено, що молоко з насіння конопель має високу поживну цінність. Воно складається з ліпідів (1,25...5,00 %), білків (0,83...4,00 %), вуглеводів (2,5...20,0 %). А також містить вітамін Е, мінерали (натрій, фосфор, калій, магній, кальцій, сірка, залізо та цинк), всі незамінні амінокислоти й поліненасичені жирні кислоти. Авторами оцінено молоко насіння конопель у порівнянні з іншими видами рослинного молока, представлено його поживні аспекти та сформовано перспективу з поточними дослідженнями. Однак це дослідження не розкриває технологічних властивостей конопляного молока або його придатності для виробництва альтернативних молочних продуктів, таких як сир.

У роботі [17] досліджено вплив порошку органічного насіння конопель на показники якості традиційного хорватського сироваткового сиру «Skuta», отриманого термокислотним методом зсідання. Показано, що додавання порошку насіння конопель мало



значний вплив на харчову цінність, вміст мінеральних речовин, але не вплинуло на мікробіологічне псування. Однак у роботі не розглядається використання формування сирного згустку під дією ферментів, мікробіологічних заквасок для поліпшення й формування смаку та аромату.

Загалом, серед джерел недостатньо інформації про дослідження щодо використання конопляного білка в технології сиру. Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення дослідження, присвяченого визначенню комплексного впливу білка насіння коноплі на виробництво сиру шляхом оцінки сенсорних показників, вмісту поживних речовин та хімічного складу сиру із комбінованої сировини.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою дослідження є визначення впливу протеїну конопляного на якісні показники сирного продукту та вміст в ньому поживних речовин, а також розробка технології сирного продукту.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- визначити харчову цінність протеїну конопляного;
- дослідити якісні показники зразків сирного продукту із протеїном конопляним;
- розробити технологію сирного продукту.

Основна частина. В роботі досліджено можливість використання в технології сирного продукту протеїну конопляного виробництва ТОВ «Десналенд» (Україна).

Результати хімічного аналізу протеїну конопляного представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Якісні показники протеїну конопляного

Показник	Значення
Вологість, %	94,0±1,0
Білок, г/100 г	50,0±1,0
Жир, г/100 г	14,0±1,0
Вуглеводи, г/100 г в тому числі	10,0±1,0
харчові волокна, г/100 г	5,0±1,0

Хімічний склад протеїну конопляного представлений значним вмістом рослинного білку (50,0±1,0 г/100 г). Комбінування білка рослинного і тваринного походження дозволить досягти максимальної біологічної цінності розробленого збагаченого продукту, а також оптимального амінокислотного складу кисломолочного продукту.

В лабораторних умовах були виготовлені дослідні зразки сиру за технологію напівтвердого сиру типу Качотта (Caciotta): очищене від механічних домішок молоко підігрівають до температури (60–65) °С. Вносять порошок протеїну конопляного в кількості 15, 20 та 25%.

Молочно-рослинну суміш пастеризують при температурі $(90 \pm 2)^\circ\text{C}$ з витримкою 5 хв. В охолоджене до температури $(36 \pm 2)^\circ\text{C}$ молоко вносять суху закваску прямого внесення, в кількості, що рекомендована виробником. Закваска складається з термофільних культур мікроорганізмів – *Streptococcus thermophilus* та *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* («Dalton», Італія). Далі вносять розчин хлористого кальцію і сичужний фермент «Albamax 600» (100 % хімозин) («Caglificio Clerici», Італія). Суміш сквашують за температури $(36 \pm 2)^\circ\text{C}$ до утворення щільного згустку. Далі проводять розрізання згустку, обробку сирного зерна (вимішування, друге нагрівання при температурі $(38 \pm 2)^\circ\text{C}$, обсушування сирного зерна). Сформовані сирні головки самопресуються в термокамері (температура $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$, витримка 120 хв., кількість перевертень – 3, через кожні 30 хв.). Далі сирні головки витримують 3–4 год в розсолі (концентрація солі 18–20 %, температура $10\text{--}14^\circ\text{C}$). Потім сирні головки направляють на дозрівання в кліматичну камеру при температурі $(10 \pm 2)^\circ\text{C}$ протягом 5...30 діб. Дозрілий сир зберігають у холодильній камері при температурі $(6 \pm 2)^\circ\text{C}$.

На рис. 1 продемонстровано зовнішній вигляд зразків сиру, виготовлено з комбінованої сировини.

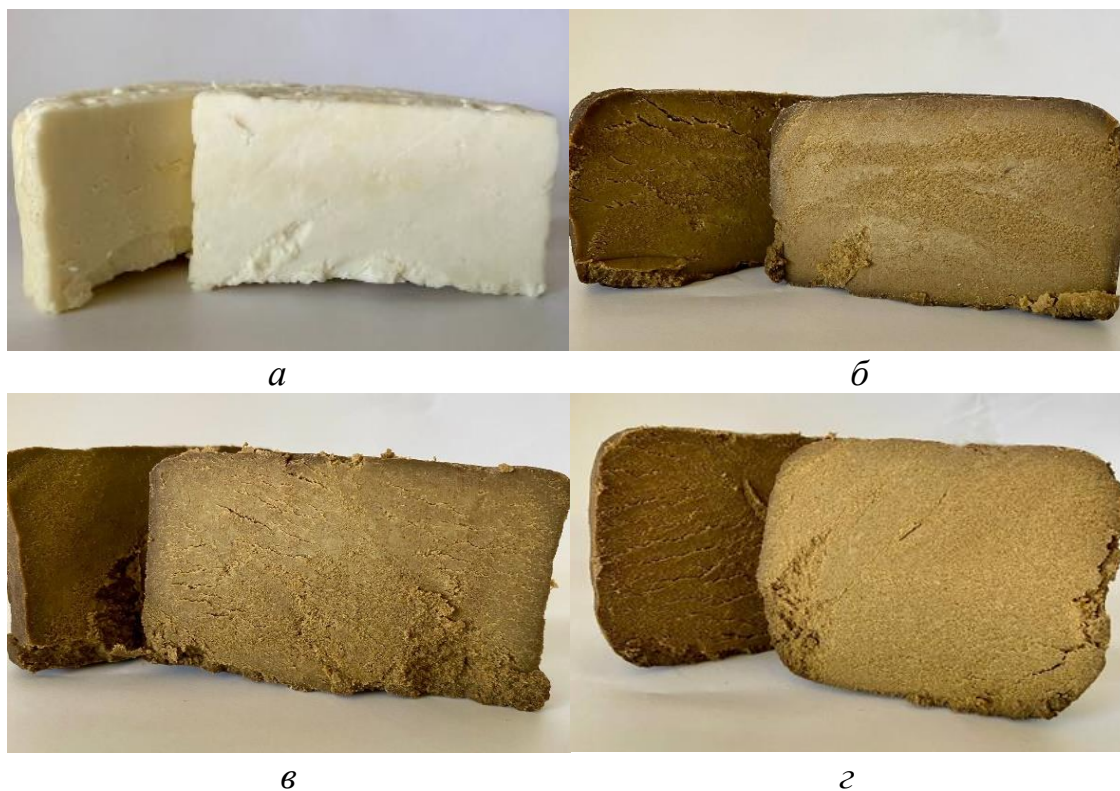


Рис. 1. Зовнішній вигляд дослідних зразків сиру із протеїном конопляним в кількості: а – контроль; б – 15%; в – 20%; г – 25%



Згідно сенсорного аналізу, зразки сиру з коров'ячого молока отримали високу оцінку за зовнішній вигляд, смак і аромат, консистенцію та колір. Додавання протеїну конопляного і збільшення його концентрації в молочно-рослинній суміші помітно змінює зовнішній вигляд, колір і смак. При цьому зовнішній вигляд, смак та запах дослідних зразків сирів зберігаються на високому рівні. Зразки сиру з конопляним білком експерти описують як сири овальної форми. Сир характеризується приємним конопляним смаком та ароматом. Текстура задовільна, колір рівномірно коричнево-зелений, а зі збільшенням вмісту конопляного білка колір стає більш інтенсивним. Крім того, протеїн конопляний впливає на смак і аромат. Під час дозрівання, в результаті ферментативних реакцій в сирній масі, смак і аромат видозмінюється, набуває привабливого відтінку, зникають специфічні рослинні та конопляні характеристики, в усіх зразках вони залишаються прийнятними згідно експертної оцінки.

Результати фізико-хімічних показників зразків сиру з комбінованої сировини представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники зразків сиру із протеїном конопляним

Зразок	рН	Вміст, г/100 г		
		сухих речовин	білка	жиру
1 – контроль	5,05±0,01	57,17±0,12	24,35±0,10	26,80±0,10
2 – 15%	4,89±0,01	59,35±0,18	30,35±0,15	27,95±0,10
3 – 20%	4,82±0,01	60,72±0,15	32,58±0,14	28,50±0,15
4 – 25%	4,79±0,01	65,18±0,10	34,75±0,16	29,00±0,05

Склад сирів з коров'ячого молока після 30 днів дозрівання в середньому становив 21,5 % білка та 36,1 % жиру. Збільшення концентрації протеїну конопляного у молочно-рослинних сумішах підвищує вміст білка на 1,75...10,4 % та жиру на 0,3...2,2 % в сирних продуктах.

Комплексні дослідження показали, що протеїн конопляний має значний вплив на якісні показники сирів та вміст поживних речовин в ньому. Інформаційний аналіз безсумнівно підтверджує, що споживання протеїну конопляного насичує організм поживними речовинами [13, 14]. Враховуючи результати сенсорного аналізу експертної комісії та фізико-хімічні показники, рекомендована концентрація протеїну конопляного в молочно-рослинній суміші становить 20 %, що гарантує прийнятну якість продукту.

За проведеними дослідженнями розроблено технологію сирного продукту «Непр» з протеїном конопляним (рис. 2).

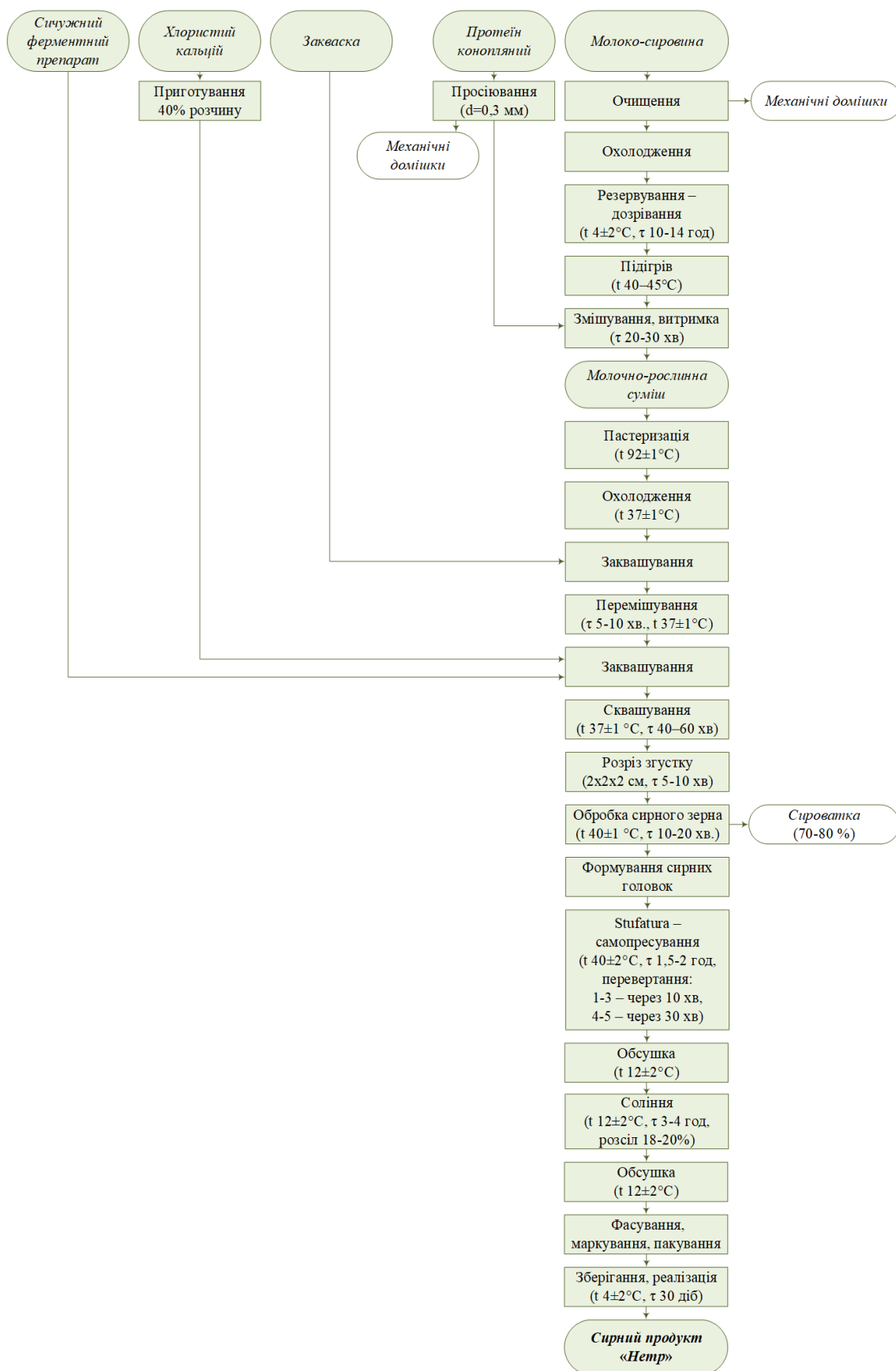


Рис. 2. Принципово-технологічна схема виробництва сирного продукту із використанням протеїну конопляного



Розроблена технологія сиру із використанням протеїну конопляного може бути впроваджена на молокопереробному підприємстві, де налагоджено випуск сирів. Впровадження нової технології не потребує великих виробничих площ, дороговартісного обладнання і додаткового переоснащення виробництва.

Висновки. Комплексне дослідження показників якості зразків сирів, виготовлених з комбінованої сировини, показало, що протеїн конопляний впливає на сенсорні та фізико-хімічні показники сирного продукту. Зокрема, збільшення вмісту протеїну конопляного в рецептурах молочно-рослинних сумішей призводить до появи коричнево-зеленого кольору сирного продукту. Смак і запах зразків сиру набуває характерного конопляного відтінку. Однак під час дозрівання, в результаті ферментативних реакцій, смак і аромат видозмінюються, набувають привабливого відтінку, а специфічні конопляні характеристики зменшуються. Відзначено, що при використанні рослинних білків в рецептурі сиру підвищується вміст сухих речовин, продукт набуває неприйнятної крихкої консистенції. В дослідних зразках сирів підвищується вміст жиру (на 0,3...2,2 %) та білка (на 1,75...10,4 %) залежно від кількості внесеного протеїну конопляного в молочно-рослинній суміші.

Отримані висновки мають практичне значення, оскільки можна врахувати, що поєднання сировини рослинного та тваринного походження розширюють асортимент, збільшують сировинну базу та вихід сиру, а отже, і на прибутковість виробництва. При проведенні подальших досліджень особливу увагу слід приділити підбору ферментів, стабілізуючих добавок, встановленню переходу поживних речовин в сироватку.

Список використаних джерел

1. Mavroeidis A., Roussis I., Kakabouki I. The role of alternative crops in an upcoming global food crisis: A concise review. *Foods*. 2022. № 11(22). P. 3584.
2. Traditional and New Applications of Hemp / G. Crini et al. *Sustainable Agriculture Reviews*. Cham, 2020. P. 37–87.
3. Emerging natural hemp seed proteins and their functions for nutraceutical applications / H. Chen et al. *Food Science and Human Wellness*. 2023. Vol. 12, no. 4. P. 929–941.
4. The Seed of Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional Quality and Potential Functionality for Human Health and Nutrition / B. Farinon et al. *Nutrients*. 2020. Vol. 12, no. 7. P. 1935.
5. Brine-ripened cheese enriched with vegetable ingredients: technology and quality. / V. V. Kryuchkova et al. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 548(8). P. 082063.



6. Kamath R., Basak S., Gokhale J. Recent trends in the development of healthy and functional cheese analogues-a review. *LWT*. 2022. Vol. 155. P. 112991.
7. Синенко Т. П. Розробка крафтового сиру «Качотта» з підвищеною біологічною цінністю. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів*. 2024. № 2(56). С. 67–72.
8. Назаренко Ю. В., Шмідт Б. В., Болгова Н. В., Синенко Т. П. Розробка сирного продукту із рослинним білком. *Вісник ЛТЕУ. Технічні науки*. 2023. № 33. С. 47–54.
9. Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates / S. H. M. Gorissen et al. *Amino Acids*. 2018. Vol. 50, no. 12. P. 1685–1695.
10. Guidi S., Formica F. A., Denkel C. Mixing plant-based proteins: Gel properties of hemp, pea, lentil proteins and their binary mixtures. *Food Research International*. 2022. P. 111752.
11. Physicochemical, Structural, and Functional Properties of Hemp Protein vs Several Commercially Available Plant and Animal Proteins: A Comparative Study / Y. Xu et al. *ACS Food Science & Technology*. 2022.
12. The effects of germination on the composition and functional properties of hemp seed protein isolate / M. Liu et al. *Food Hydrocolloids*. 2022. P. 108085.
13. Wang Q., Xiong Y. L. Processing, Nutrition, and Functionality of Hempseed Protein: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019. Vol. 18, no. 4. P. 936–952.
14. Yano H., Fu W. Hemp: A Sustainable Plant with High Industrial Value in Food Processing. *Foods*. 2023. Vol. 12, no. 3. P. 651.
15. Industrial hemp foods and beverages and product properties / L. Nissen et al. *Industrial Hemp*. 2022. P. 219–246.
16. A Plant-Based Milk Type: Hemp Seed Milk / A. Besir et al. *Akademik Gıda*. 2022. № 20(2). P. 170–181.
17. Quality and shelf life of Skuta whey cheese packed under vacuum and modified atmosphere in presence or absence of the hemp seed powder / E. Zandona et al. *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology*. 2020. № 21(4). P. 483–495.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024 р.



S. M. Odintsov, Y. V. Nazarenko
Sumy National Agrarian University

TECHNOLOGY OF A CHEESE PRODUCT WITH HEMP PROTEIN

Summary

The growing trend towards cheese production from animal and plant ingredients has led to a diversification of cheese-making technologies and the search for new cheese-suitable raw materials. The study aims to determine the effect of hemp protein on the quality characteristics of the cheese product and its nutrient content. This will allow raw plant and animal-origin materials to produce cheese with increased biological value. Including raw vegetable materials in cheese technology affects the technical properties of milk and vegetable mixtures, particularly their changeability and the quality of the finished cheese product. Studies have shown that hemp seed proteins affect the sensory characteristics of cheese. Increasing the content of hemp protein in recipes leads to a brownish-green color of the cheese product. The taste and smell acquire a characteristic hemp flavor. Using vegetable proteins in the cheese recipe increases the yield of the finished product by 0.3...23.5 %. The prototypes' fat content (by 0.3...2.2 %) and protein content (by 1.75...10.4 %) increased. Considering the results of the expert committee's sensory analysis and the balanced biological profile, the recommended concentration of hemp seed protein in the milk-plant mixture is 20 %, which guarantees acceptable product quality. The developed technology of cheese using hemp protein can be implemented at a dairy processing plant where cheese production is established. Introducing the new technology does not require significant production areas, expensive equipment, or additional re-equipment in output. The results obtained are of practical importance, as it can be considered that combinations of raw materials of plant and animal origin expand the range, increase the raw material base and cheese yield, and therefore affect the profitability of production.

Key words: cheese product, vegetable raw materials, hemp protein, protein, biological value.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-18

УДК 628.4.042:631.8

О. О. Червоткіна, асист.,

ORCID: 0000-0002-6814-0566

О. П. Прокопенко, асист.,

ORCID: 0009-0005-7304-923X

Н. О. Паляничка, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-8510-7146

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного*

E-mail olena.prokopenko@tsatu.edu.ua, тел.: +380679333657

КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПЛОДООВОЧЕВГО ВИРОБНИЦТВА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ДОБРІВ

Анотація. У статті наведено результати досліджень комплексної переробки органо- мінеральних добрив. Розглянуто два варіанта переробки у різних технологічних режимах. Комплексний метод використовується при переробці відходів, оскільки він забезпечує найбільш повну їхню утилізацію. У цьому дослідженні зразки органо- мінеральних добрив поєднуються з відходами плодоовочевих виробництв з оцінки динаміки вологості у процесі сушіння.

Зміну масової частки води можна розглядати, як один із показників ефективності застосування різних відходів та технологічних схем. Виявлено переваги технологічних схем, що полягають у додаванні відходів фруктових вичавків або жмиху бурякового на різних етапах. Технологія дозволяє отримувати добрива для ґрунту нового покоління. Для покращення параметрів запропоновано схему спільної переробки відходів свинокомплексів та плодоовочевих виробництв.

Ключові слова. Органо- мінеральні добрива, утилізація, жмих, відходи плодоовочевого виробництва, вижимки фруктів, грануляція, комплексна переробка.

Постановка проблеми. Половина фруктів і овочів, вироблених у всьому світі, зрештою перетворюється на відходи, створюючи екологічні проблеми, спричинені головним чином деградацією мікроорганізмів. Більшість відходів утворюється внаслідок промислової переробки, так званих побічних продуктів. Ці побічні продукти все ще містять багато біологічно активних сполук після обробки, таких як макроеlementи (білки та вуглеводи) та фітохімічні речовини (поліфеноли та каротиноїди) [1]. Останнім часом вилучення цих біоактивних сполук з побічних продуктів промисловості приділяється значну увагу, головним чином через їх можливу користь для здоров'я людини.

Аналіз останніх досліджень. Яблучні вичавки зазвичай використовуються як корм для худоби, але вважаються недостатньо використовуваним відходом яблучної промисловості.



Відповідно до композиційного аналізу, даний відхід має потенціал для використання в технологічних цілях. Відходи включають, серед іншого, побічні продукти із фруктів сокова фабрика - яблучна вичавка.

Це джерело багатьох біологічно активних сполук: сахаридів (глюкози, фруктози, сахарози), білків, пектинів, клітковини, вітамінів та органічних кислот, волокнами (35-52,9%). Тому їх слід розглядати як сировину для подальшої утилізації.

Буряковий жом - це надзвичайно важливі органічні відходи, отримані в результаті виробництва цукру. Його можна використовувати як дуже цінний корм для тварин, або при комплексній переробці може бути як добриво. Слід зазначити, що органічні відходи, буряковий жом, мають великий потенціал як джерело органіки з використанням процесу комплексної переробки.

Постановка завдання. Нині лише половина бурякового жому піддається висушуванню та гранулюванню безпосередньо на корм худобі, згодовується у сирому вигляді (не більше 15 %). Отже, приблизно 1 млн т бурякового жому залишається незатребуваним, який міг би бути ефективно використаний. Не використаний жом гниє у жомових ямах, забруднюючи довкілля.

Відходи моркви, що утворюються після відділення м'якоті та соку, мають високу вологість, що породжує не тільки економічні, а й екологічні проблеми, що потребують спеціального підходу до їх вирішення [2]. Морква багата каротиноїдами (4996,4 мкг/г) та цукрами ($84,83 \pm 3,26$ г/л) та поживними речовинами. Каротиноїди мають потенційне застосування у харчовій та фармацевтичній промисловості. Фракцію, багату на цукор, піддавали валоризації для отримання молочної кислоти та етанолу.

Основна частина Відходи плодоовочевих виробництв: яблук, моркви та буряків багаті на пектин, цукор, органічні кислоти та інші цінні компоненти сировини. Їх можна використовувати як корм для худоби, добрив, для отримання спирту, оцту.

Буряковий жом є мікростружкою товщиною не більше 2 мм з вологістю близько 90 %. Вихід жому при роботі на періодичній дифузійній батареї становить 90% за вагою переробленого цукрового буряка, а на безперервно діючої батареї - 70-80% за вагою переробленого цукрового буряка. Вихід вичавків із яблук становить від 25 до 40 % маси перероблених яблук вологістю 65—67 %. Рис. 1.

Вологість вичавки моркви після віджиму соку становила 84%. Морквяний залишок (морквяна вичавка і шкірка) – це побічний продукт, полунений при переробці морквяного соку, на частку якого припадає 12% від ваги свіжої моркви. Вологість аналізованих відходів представлена на рис. 1.

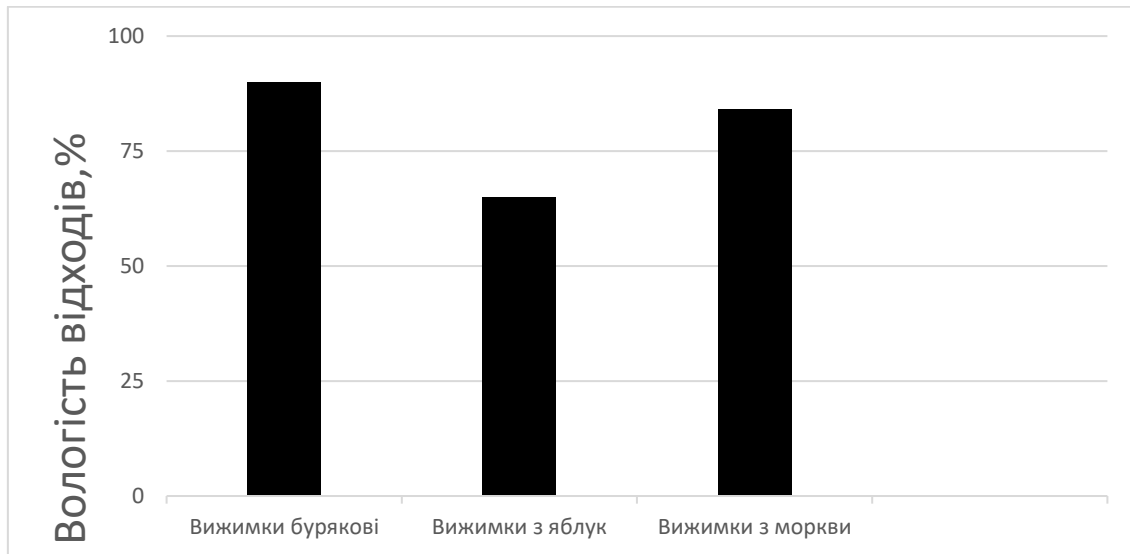


Рис. 1. Вологість відходів різних плодоовочевих виробництв

Дані про світове споживання добрив свідчать, що останніми роками світове споживання мінеральних добрив становило 185 млн т, збільшившись, таким чином, у 6 разів проти 1960 роком. У країнах, що розвиваються (Китай, Індія, Бразилія) використання добрив за ці роки збільшилося навіть у 34 рази. У зв'язку із збільшенням споживання подорожчали й мінеральні добрива. Порівняно з 2005 роком, 2019 року він збільшився на 77 %, досягнувши рівня 50 млрд доларів США[3]. За оцінками, азотні добрива становить 57 % від загальної кількості добрив, що використовуються. Важливо, що лише 20—30 % азоту з азотних добрив засвоюється і використовують рослинами. Решта викидається в природне середовище, що спричиняє негативні екологічні наслідки (у тому числі евтрофікацію вод).

Зростання попиту на продукти харчування, енергію та матеріали підвищило роль перероблених відходів в економіці, заснованій на біології. Однак промислове виробництво добрив все ще перебуває в стані, що розвивається. Органічні та мінеральні добрива мають високу цінність, тим часом у сільському господарстві утворюється великий обсяг відходів із високою концентрацією біогенних елементів, що належать до рідких відходів м'ясних кластерів. Існує широкий спектр можливостей для вирішення проблеми забруднення навколишнього середовища, викликаного інтенсивним скотарством: анаеробна та аеробна аерація, біокомпостування та інші нові технології, а також традиційні методи, такі як метод обробки ґрунту та метод переробки біогазу. Суху речовину в колоїдному розчині можна виділити лише при використанні спеціальних методів обробки.

Висококонцентровані відходи м'ясних кластерів, по-перше, це рідкі відходи свиноферм, які при обробці реагентами стають



природними для зрошення сільськогосподарських угідь, оскільки містять такі цінні сполуки, як азот, фосфор і калій (N, P, K).

Процес зневоднення широко використовується як метод видалення вологи з використання різного обладнання та установок [4-7].

Це складний технологічний процес, в результаті якого змінюється властивості матеріалу. Двоетапні операції, що складаються з видалення рідкої фракції найдешевшим з можливих методів, привабливі з економічної точки зору. Процес зневоднення, що використовує систему з кількох етапів, дозволяє ефективно використовувати можливості устаткування, що використовується.

Плодоовочевий сектор виробляє велику кількість відходів, що створює як екологічні, і економічні проблеми. Різні стратегії можуть бути прийняті для оцінки відходів фруктів і овочів шляхом перетворення їх в продукти з доданою вартістю. Однак економічні і екологічні наслідки таких стратегій в значній мірі невідомі. Авторами проведено дослідження про відходи переробки моркви, яблук, цукрового виробництва. Метою роботи було вивчення властивостей відходів плодоовочевих виробництв і розробка засобів їх комплексної переробки для отримання органо- мінеральних добрив разом з відходами свинокомплексів.

Для досягнення поставленої мети необхідний вибір та обґрунтування оптимальних технологічних схем комплексної переробки відходів.

Самі по собі вижимки не є добривом, але можуть бути його компонентом[8-10]. Для цього необхідно вивчити вплив на процес зневоднення і характеристики кінцевого продукту додавання відходів плодоовочевого виробництва в технологічну схему отримання органо-мінеральних добрив на основі відходів свинокомплекса.

Відходи плодоовочевих виробництв широко використовують як кормову базу в сільському господарстві, частково переробляються в харчовій промисловості з отриманням нових продуктів. На теперешній час до 50% відходів плодоовочевих виробництв не переробляються, лише інколи використовуються як добрива.

Існує спосіб утилізації рідких відходів свинокомплекса і відходів цукрового виробництва (бурякові вижимки тощо) з отриманням цінної удобрювальної суміші яку вносять під сільськогосподарські культури. Результат досягається тим, що рідкі відходи свинокомплексів, оброблені розчином дефекаційного вапна або суспензією дефекації цукрового виробництва до рН = 10,0—11,0, змішують з подрібненими буряковими вижимками- свіжовижатим, або кислим, в тому числі вижимками, які втратили споживчі якості, в співвідношенні (1-2):(2-3), який забезпечує рН отриманої суміші 7,0- 8,5, розподіляючи і рівномірно вводячи в ґрунт на глибину 10- 15 см.



Бурякові вижимки, які додають в суміш, є цінним джерелом цінних поживних і мінеральних речовин, які можна повернути в ґрунт, який виснажують сільськогосподарські рослини. В той самий час бурякові вижимки та рідкі відходи свинокомплексів являють собою багатотонні відходи агропромислового кластеру, а також є екологічним забрудненням навколишнього середовища. Перевагою даних відходів є те, що вони являються безкоштовною сировиною для виготовлення удобрювальної суміші. При утилізації скорочуються площі, які відводять для накопичення цих відходів.

Зовнішні шари фруктів і овочів є потенційно цінними компонентами. Але не дивлячись на знання його корисних властивостей, овочеві і фруктові вижимки не отримали широкого використання в сільськогосподарській промисловості. Останніми роками спостерігається прогрес у дослідженні переробки овочів і фруктів, вилучення біологічно активних з'єднань з фруктових та овочевих вижимок, та вивчення їх впливу на організм людини. Це пов'язано з підвищенням зацікавленості до отримання нового продукту з відходів. Великий асортимент та велика кількість натуральних компонентів у вижимках роблять його цікавим для вивчення в промислових масштабах. Це б допомогло збільшити утилізацію цієї цінної сировини, а також скоротити використання штучних добрив, які б замінили органо- мінеральними [21-24].. Якщо використовувати компоненти вижимок також можна знизити забруднення навколишнього середовища та зменшити збіднення ґрунту. Додавання вижимок в органо- мінеральні добрива впливає на їх фізичні і хімічні властивості.

Для зневоднення відходів плодоовочевих виробництв, частіше за все, використовують схеми, які складаються з декількох етапів, а також з використанням високих температур. Є можливим додавати вологі вижимки на різних етапах зневоднення органо- мінеральних добрив, але через високу вологість добрив і вижимок, найбільш зручним є додавання вижимок на останніх етапах сушіння добрив (рис. 2).

Для порівняння динаміки вологості добрива, яке отримують при додаванні різних видів плодоовочевих відходів використовували співвідношення 10 частин зневодненого добрива з відходів свинокомплексу і 1 частину вижимок з яблук, моркви і буряка. У разі змішування добрив, які були зневоднені, після змішувача потребується додатковий етап сушіння. Вологість після змішування залежить від походження плодоовочевих виробництв.

Найбільш ефективний, з погляду витрат енергії та часу, є варіант з додаванням відходів плодоовочевих виробництв органо- мінеральне добриво після видалення вільної вологи з нього.

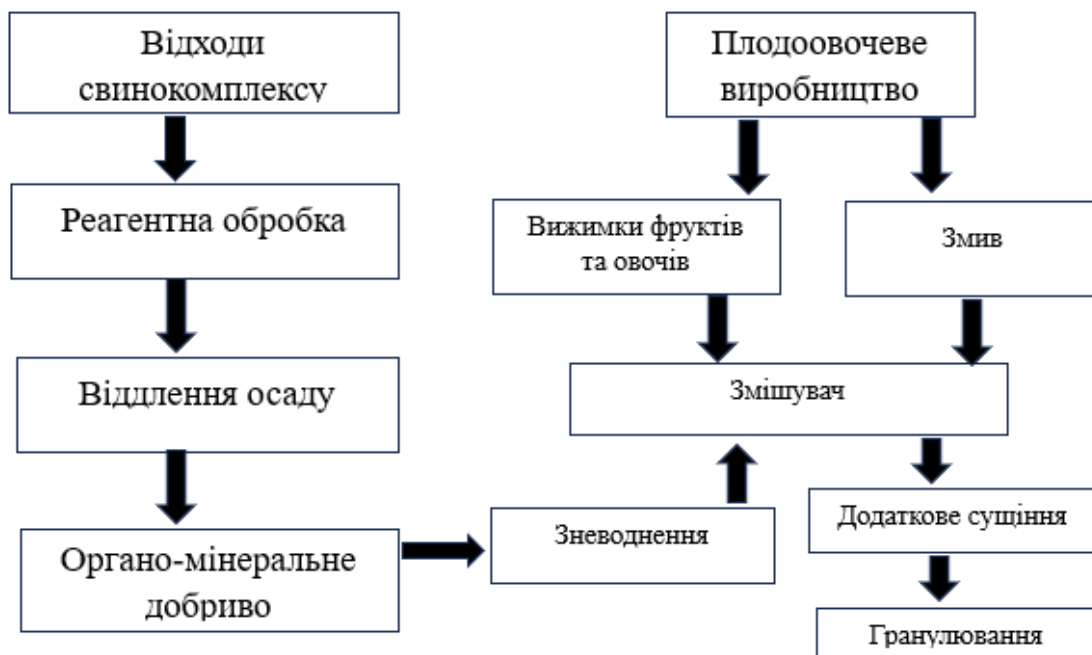


Рис. 2. Схема додавання відходів плодоовочевого виробництва у висушені органо-мінеральні добрива

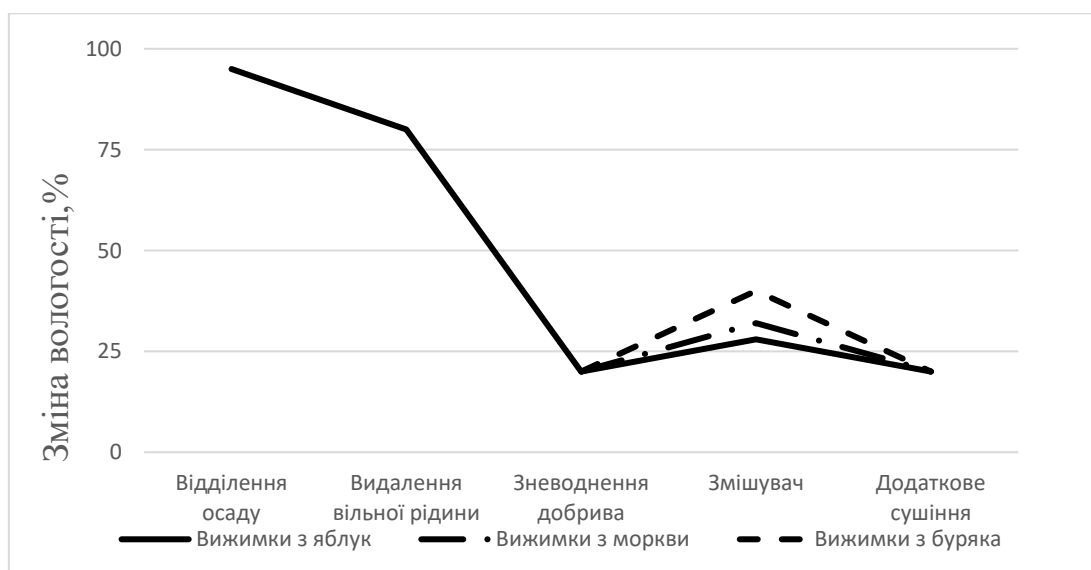


Рис. 3. Графік залежності зміни вологості зневодненого органо-мінерального добрива після додавання відходів плодоовочевого виробництва

Зазначене співвідношення 10:1 використання будь-якого з розглянутих видів плодоовочевих відходів у технологічній схемі одержання органо- мінеральних добрив незначно впливає на зміну вологості, тому застосування даного виду відходу не потребує суттєвої зміни технологічної схеми та доповнення витрат [16-20]. При додаванні відходів до пастоподібної форми добрив можна усунути етап досушування в технологічній схемі. Додавання відходів до етапу

відділення вільної рідини в центрифугах незручне через високу вологість рідких добрив.

Наявність волокон плодовоовочевих виробництв, що містяться у відходах, розширюють можливості подальшої грануляції. Впливають на міцність гранул та вивільнення органо- мінеральних добрив із них. Для точного визначення кількості відходів плодовоовочевого виробництва потрібні дослідження добрив як гранул. Для підготовки жому до грануляції використовується лінія, що складається із послідовно з'єднаних апаратів [15].

Висновки Представлена стратегія наголошує на необхідності стійкого виробництва як первинного органо- мінерального добрива, так і готового гранульованого добрива, отриманого з використанням відходів плодовоовочевих виробництв. У цьому контексті різні галузі економічної діяльності мають бути пов'язані з прогресивними досягненнями у галузі фундаментальних знань та прикладних наук, особливо технологій. Загальний принцип каскадного використання потоків біомаси та відходів визначає пріоритетні дії та послідовний підхід у біоекономіці. Слідуючи цій ідеї, спочатку має бути забезпечене виробництво продуктів з більш високою доданою вартістю, таких як органо-мінеральні добрива, повторне використання/переробка побічних продуктів, відходів та сировини разом із виробництвом біопродуктів та, нарешті, впровадження енергозберігаючих технологій. Принцип каскадування узгоджується з концепцією мінімізації відходів, визначеною як «програма без відходів», що розглядається як стратегія, має вирішальне значення для економіки замкнутого циклу, захищаючи цінні матеріали від «уцінки з економіки» цієї програми, ідеальною метою для будь-якої технології, орієнтованої біоекономіку, є виконання критеріїв «нульових відходів», що дозволяє повторно використовувати всі побічні продукти в ланцюжку створення вартості.

Список використаних джерел

1. Червоткіна О. О., Олексієнко В. О., Фучаджи Н. О. Обґрунтування параметрів робочого органу гранулятора для отримання гранул на основі овочевої сировини. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Вип. 13, т. 7. С. 57–62.

2. Технологічне обладнання для переробки продукції рослинництва: Лабораторний практикум / В. Ф. Ялпачик, Н. П. Загорко, Н. О. Паляничката ін. Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. 277 с.

3 Rombel A., Krasucka P., Oleszczuk P. Sustainable biochar-based soil fertilizers and amendments as a new trend in biochar research. *Science of The Total Environment Available [online]*. 2021. No 151588.



4. Lassaletta L., Estellés F., Beusen A. H. W., Bouwman L., Calvet S., van Grinsven H. J. V., Doelman J. C., Stehfest E., Uwizeye A., Westhoek H. Future global pig production systems according to the Shared Socioeconomic Pathways. *Science of The Total Environment*. 2019. P. 739–51.
5. Kolesnikova T. A., Kulikova M. A., Kasharin D. V., Monastyrskiy D. I. Optimization of the environmentally safe technology for the processing of liquid animal breeding. *Earth Environ. Sci.* 2019. Vol. 548. No 032013.
6. Monastyrskiy D. I., Zemhenko G. N., Kulikova M. A. Investigation of the method of dehydration of organomineral fertilizer based on liquid waste of pig farms. *Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 848. No 012135.
7. Червоткіна О. О., Олексієнко В. О., Фучаджи Н. О. Обґрунтування параметрів робочого органу гранулятора для отримання гранул на основі овочевої сировини. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Вип. 13, т. 7. С. 57–62.
8. Процеси і апарати. Механічні та гідромеханічні процеси / В. С. Бойко, К. О. Самойчук, В. Г. Тарасенко та ін. Київ: ПрофКнига, 2021. 468 с.
9. Єременко О. І., Василенков В. Є., Руденко Д. Т. Дослідження процесу брикетування біомаси шнековим механізмом. *Інженерія природокористування*. 2020. Вип. 3(17). С. 15–22.
10. Harun N. Y., Afzal M. Effect on particle size on mechanical properties of pellets made from biomass. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 148. P. 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.44>.
11. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Розробка міні-лінії для виготовлення паливних брикетів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 21, т. 1. С. 152–159.
12. Carré P. New approach for the elucidation of the phenomena involved in the operation of vegetable oil extraction presses. *Oilseeds & Fats Crops and Lipids*. 2022. Vol. 29, № 6. doi: 10.1051/ocl/2021048
13. Дідур В., Кюрчев В., Чебанов А., Асєєв А. Підвищення ефективності технологічного процесу переробки насіння рицини на рицинову олію. *Сучасні шляхи розвитку агропромислового виробництва*. Springer. 2019. С. 17–27. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_3.
14. Червоткіна О. О., Фучаджи Н. О., Паляничка Н. О., Самохвал В. А. Вплив різних параметрів на процес гранулювання рослинної сировини та якість гранул. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2023. Вип. 23, т. 2. С. 122–130.



15. Червоткіна О. О., Фучаджи Н. О., Ковальов О. О., Паляничка Н. О., Матвіїшин П. В. Аналіз методів отримання гранул і засобів для їх реалізації. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2023. Вип. 13, т. 2. С. 143–150.

16. Самохвал В. А., Самойчук К. О., Червоткіна О. О. Дослідження роботи остаточного формування брикету з здатністю відбору олій при виготовленні паливних брикетів на гвинтових прес-екструдерах. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: Збірник тез доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції (01-24 листопада 2023 р.)*. Запоріжжя, 2023. С. 159-162.

17. Червоткіна О. О., Тарасенко В. Г. Використання в'яжучих речовин при виробництві гранульованих овочів. *Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В. М. Кюрчева. Мелітополь, 2020. С. 161–163.*

18. Ялпачик В. Ф., Буденко С. Ф., Олексієнко В. О., Червоткіна О. О. Дослідження коефіцієнта тертя гранульованого жому моркви. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2018. Вип.18, т. 1. С. 112–118.

19. Calvete-Torre I., Munoz-Almagro N., Pacheco M. T., Anton M. J., Dapena E., Ruiz L., Margolles A., Villamiel M., Moreno. Apple pomaces derived from mono-varietal Asturian ciders production are potential source of pectins with appealing functional properties. *Carbohydrate Polymers*. 2021. Vol. 264. P. 117980.

20. Wilk M., Sliz M., Gajek M. The effects of hydrothermal carbonization operating parameters on high-value hydrochar derived from beet pulp. *Renewable Energy*. 2021. Vol. 177. P. 216–228.

21. Kaszycki P., Giodniok M., Petryszak P. Towards a bio-based circular economy in organic waste management and wastewater treatment. – The Polish perspective. *New Biotechnology*. 2021. Vol. 61. P. 80–89.

22. Shkodich N. F., Rogachev A. S., Vadchenko S. G., Sachkova N. V., Chassagnon R. Reactivity of mechanoactivated Ni-Al blends. *Inter. J. SHS*. 2012. Vol. 21, No. 2. P. 104–109. <https://doi.org/10.3103/S1061386212020100>.

23. Black M. J., Anandan P. A framework for the robust estimation of optical flow. *ICCV'93*. 1993. P. 231–236.

24. Процеси і апарати. Механічні та гідромеханічні процеси / В. С. Бойко, К. О. Самойчук, В. Г. Тарасенко та ін. Київ: ПрофКнига, 2021. 468 с.



25. Сухое и влажное гранулирование. URL: <https://albnn.com/stati/sukhoe-i-vlazhnoe-granulirovanie/> (дата звернення 16.09.2024).

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024 р.

О. Chervotkina, O. Prokopenko, N. Palianychka
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

COMPLEX USE OF WASTE FROM FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTION IN FERTILIZER PRODUCTION

Summary

The article presents the results of research into complex processing of organo-mineral fertilizers. Two variants of processing in different technological regimes are considered. The complex method is used in waste processing, as it ensures the most complete disposal of waste. In this study, samples of organomineral fertilizers are combined with waste from fruit and vegetable production to assess the dynamics of moisture during the drying process.

The change in the mass fraction of water can be considered as one of the indicators of the efficiency of the application of various wastes and technological schemes. The advantages of technological schemes consisting in the addition of waste fruit juices or beet pulp at different stages have been revealed. The technology makes it possible to obtain fertilizers for the soil of a new generation. To improve the parameters, a scheme of joint processing of waste from pig farms and fruit and vegetable production is proposed. Ukraine belongs to the countries with a high level of development of agriculture, the sphere of consumption of various products of industrial and agrarian origin. Every year, more than 1 billion tons of natural substances are involved in economic circulation in Ukraine. These are raw materials and products of various types of industry, in particular, a large share is occupied by agriculture and the production of organic-mineral fertilizers. Therefore, as a result of conducting research on complex processing of organic-mineral fertilizers, two options for processing waste from agricultural production were considered. A comprehensive method of waste processing allows us to ensure their complete disposal. The fruit and vegetable sector produces a large amount of waste, which creates both environmental and economic problems. The authors conducted a study on waste after the processing of carrots, apples, and sugar production. It was also found that the waste processing technology makes it possible to obtain fertilizers for the soil of a new generation. In recent years, there has been an increased demand for organic-mineral fertilizers. Most farmers use dry fertilizers - more than 80% of all fertilizers applied in the world.

Key words: agro-mineral fertilizers, utilization, pulp, waste of fruit and vegetable production, fruit pomace, granulation, complex processing.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-19

УДК [664.68:613.2]:664.788.3

С. П. Боковець, д.ф., ст. викл.,

ORCID: 0000-0003-0466-2426

О. Ю. Кошель, д.ф., доц.,

ORCID: 0000-0002-2184-2106

Сумський національний аграрний університет

e-mail: sergiy_bokovets@ukr.net, тел.: +380671878060031,

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ БОРОШНА ЗЕЛЕНОЇ ГРЕЧКИ ТА ПСИЛІУМУ НА СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕЗГЛЮТЕНОВИХ МАФФІНІВ

Анотація. У статті розглянуто дослідження впливу борошна зеленої гречки та псиліуму на структурно-механічні властивості безглютенових мафінів, зокрема на в'язкість тіста, динаміку усихання та формостійкість готових виробів. Актуальність дослідження обумовлена необхідністю підвищення якості безглютенових кондитерських виробів у зв'язку з їх зростаючою популярністю серед споживачів, що дотримуються безглютенової дієти з медичних чи інших причин.

В експерименті використано різні співвідношення борошна зеленої гречки та псиліуму, що дозволило визначити оптимальне поєднання цих інгредієнтів для досягнення найкращих технічних характеристик продукту. Встановлено, що співвідношення борошна зеленої гречки та псиліуму 85:15 % забезпечує оптимальну в'язкість тіста, бажану консистенцію мафінів та їх формостійкість.

Сенсорний аналіз показав, що безглютенові мафіни з таким співвідношенням мають приємний смак та текстуру, а також зменшене усихання під час зберігання, що підвищує їх тривалість свіжості. Результати дослідження підтверджують доцільність використання борошна зеленої гречки і псиліуму для поліпшення технологічних властивостей безглютенових мафінів, підвищення їх харчової цінності та збереження якості протягом тривалого періоду.

Ключові слова: безглютенові мафіни, борошняні кондитерські вироби, борошно зеленої гречки, псиліум, в'язкість тіста, структурно-механічні властивості, сенсорний аналіз.

Постановка проблеми. Стратегія розвитку харчової та переробної промисловості України до 2023 року спрямована на підвищення якості та конкурентоспроможності кондитерських виробів. Хлібобулочні вироби, в тому числі мафіни, користуються постійним попитом серед споживачів.

У деяких країнах мафіни популярні як ранковий або вечірній перекус. Мафінами називають м'які бісквітні вироби з пористою структурою м'якушки і великим об'ємом. Маффіни та інші хлібобулочні вироби зазвичай містять високий вміст жиру, цукру та глютену і тому не користуються популярністю серед споживачів, які піклуються про своє здоров'я [1].



Як відомо, їжа є одним з основних джерел енергії для людського організму. Однак деякі люди народжуються з природною схильністю, або в результаті порушення певних метаболічних процесів можуть з'являтися токсини, які пригнічують захисну та імунну системи організму, а також погіршують роботу мозку. Це пов'язано з удосконаленням методів діагностики захворювань, викликаних непереносимістю глютену, а також з «модними» тенденціями та маркетинговими прийомами виробників продуктів. Як наслідок, безглютенові продукти все частіше можна побачити в меню магазинів, кафе та ресторанів [2, 3]. Проте для багатьох людей безглютенова дієта є необхідністю, а не частиною тренду.

Вирішити цю проблему можна шляхом пошуку нових видів сировини, які володіють необхідними технологічними властивостями, відносно недорогі, мають багатий хімічний склад та структурні компоненти, що дають змогу виробляти борошняні кондитерські вироби. Однією з таких нетрадиційних видів сировини є борошно з зеленої гречки та псиліуму.

Борошно із зеленої гречки - це інноваційний вид борошна, виготовлений із зеленої гречки, відомої своєю високою харчовою цінністю та корисними властивостями. Це борошно має ряд властивостей, які роблять його використання в технології мафінів цікавим. Основними його компонентами є білок, вітаміни групи В, мінерали (залізо, кальцій і магній) та антиоксиданти. Однак важливим аспектом його використання є високий вміст гідрофільних макромoleкулярних сполук, таких як білок, крохмаль і клітковина, які надають йому важливих технологічних властивостей [4].

Псиліум містить добре розчинні волокна, які здатні поглинати воду і утворювати гелеподібну структуру. Ця властивість робить його цінним інгредієнтом для утримання вологості та покращення текстури хлібобулочних виробів. Псиліум також позитивно впливає на здоров'я, нормалізує травлення та допомагає контролювати рівень цукру в крові [5].

Результати аналітичного огляду показали, що літературні дослідження щодо структурно-механічних властивостей тіста для безглютенових кексів є розрізненими. Це зумовлює доцільність обраного напрямку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [6] досліджували вплив концентрованого сколотину на якість безглютенових маффінів. Результати показали, що додавання збагаченого сколотину до рецептури покращило вологоутримання тіста, поєднало білки тваринного та рослинного походження та створило передумови для створення більш різноманітного асортименту безглютенових маффінів з кращою харчовою цінністю та споживчими властивостями.



Автори роботи [7] досліджували якість трьох цукрових маффінів та маффінів, збагачених гарбузовою пастою. Встановлено, що додавання гарбузової пасти до рецептури збільшує вологість готового продукту. При цьому сухість маффінів суттєво не змінилася.

Дослідники [8] вивчали використання борошна з насіння нішевих культур у технологіях виробництва кексів та тортів. Результати показали, що вміст білка в готових виробах збільшився. Білок позитивно впливає на організм людини, оскільки містить незамінні амінокислоти. Крім того, збільшення вмісту жиру в хлібобулочних виробах має як позитивні, так і негативні наслідки. Ненасичені жирні кислоти, що містяться в жирах, мають оздоровчий вплив на організм людини, але високий вміст жирів у продуктах призводить до їх швидшого псування.

Вчені [9] визначили вплив структурно-механічних властивостей тіста для маффінів, а саме підсолоджувача фруктози та пребіотики лактулози, на структурно-механічні властивості кінцевого продукту.

У роботі [10] досліджено вплив сухого змішування з кербом на якість тіста та випечених маффінів. Дані, отримані в цьому дослідженні, показали, що сухе змішування з кербом надало готовій випічці високу поживну цінність з хорошими фізико-хімічними властивостями. Було виявлено, що додавання кербу допомагає зменшити вміст вологи і трохи знизити лужність продукту.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження впливу борошна зеленої гречки та псиліуму на структурно-механічні властивості, а саме в'язкості, динаміки усихання та формостійкості безглютенових маффінів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Важливим аспектом в цьому контексті є встановлення оптимального співвідношення компонентів, щоб досягти найкращих характеристик продукту.

Для створення рецептури безглютенових маффінів використано результати попереднього аналізу хімічного складу сировини та сформульовано функціонально-технологічні властивості готового тіста для маффінів.

У рамках даної технології (рис. 1) пропонується повну заміну пшеничного борошна на борошно зеленої гречки з додаванням псиліуму.

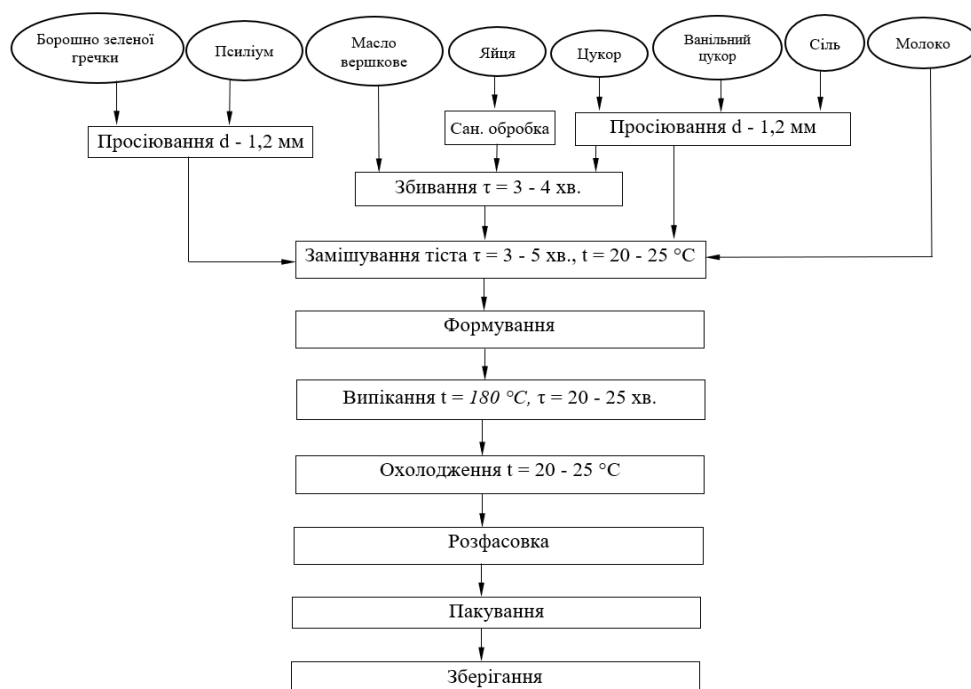


Рис 1. Технологічна схема безглютенових маффінів

Для того, щоб визначити відповідне співвідношення борошна зеленої гречки та псиліуму, було проведено сенсорний аналіз наданих зразків безглютенових кексів. У таблиці 1 наведено пропорції борошна зеленої гречки та псиліуму, що використовувалися в експерименті.

Таблиця 1

Співвідношення борошна зеленої гречки та псиліуму від маси пшеничного борошна

№ зразка	Кількість борошна зеленої гречки, %	Кількість псиліуму, %
1	95±2	5±2
2	90±2	10±2
3	85±2	15±2
4	80±2	20±2

Результати сенсорного аналізу готових безглютенових маффінів наведені на рисунку 2.

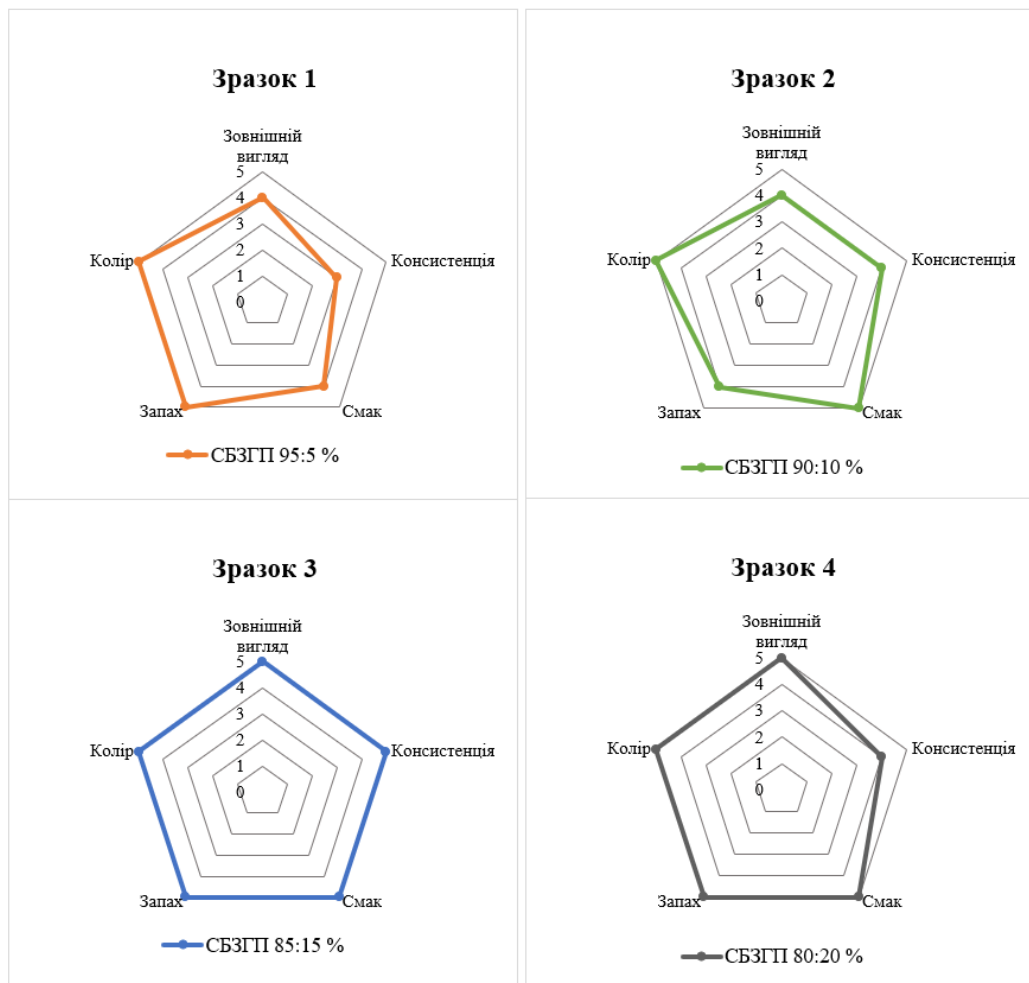


Рис. 2. Аналіз проведення сенсорного дослідження зразків готових безглютенових мафінів

Розглянемо сенсорний аналіз чотирьох зразків мафінів з різними співвідношеннями борошна зеленої гречки та псиліуму.

Зразок № 1 - смакові відчуття менш насичені, а консистенція не надто ніжна. Крім того, м'якушка була надто забита та не пориста.

Зразок № 2 має більше насичений смак та щільнішу консистенцію порівняно з першим зразком, проте все ще не відповідав бажаному результату.

Зразок № 3 - смак виявився насиченим, а консистенція ніжною з бажаною пористою м'якушкою.

Зразок № 4 має надто насичений смак та нерівномірну консистенцію м'якушки, ймовірно це пов'язано з великою кількістю псиліуму у рецептурі.

За результатами досліджень встановлено, що оптимальне співвідношення зеленого гречаного борошна та псиліуму для створення безглютенових мафінів становить 85:15 % від маси пшеничного борошна відповідно.

Наступним етапом дослідження було проведення аналізу структурно-механічних та фізико-хімічних характеристик з метою оцінки в'язкості тіста, стійкості форми готових маффінів, а також визначення ступеня усихання випечених виробів для кожного з досліджуваних зразків.

Для встановлення оптимального співвідношення між борошном зеленої гречки та псиліумом у рецептурі маффінів було проведено дослідження динамічної в'язкості тіста (рис. 3). В експерименті використовувалися чотири варіанти тіста: контрольний зразок на основі пшеничного борошна та чотири зразки з додаванням борошна зеленої гречки і псиліуму в різних пропорціях – 95:5, 90:10, 85:15 і 80:20 % відповідно.

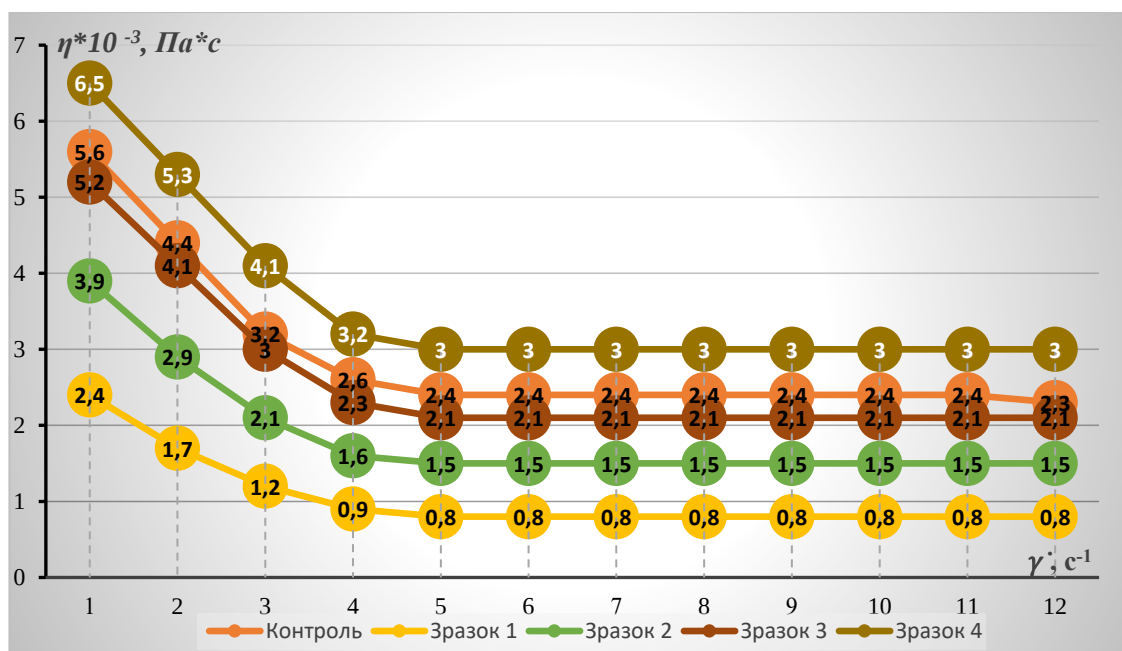


Рис. 3. В'язкість маффінів за різного співвідношення борошна зеленої гречки та псиліуму

Було встановлено, що зразок тіста зі співвідношенням борошна зеленої гречки та псиліуму 85:15 % демонстрував найбільш оптимальні показники в'язкості, близькі до контрольного зразка. Збільшення концентрації борошна та зменшення вмісту псиліуму спричиняло суттєве підвищення в'язкості тіста, що ускладнювало процес замішування.

При введенні до рецептури маффінів співвідношення борошна зеленої гречки та псиліуму 80:20 %, в'язкість тіста знижувалася. Однак, під час випікання таке співвідношення не забезпечувало бажаної консистенції та рівномірної пористості м'якушки, що призводило до нерівномірного розподілу текстури у готових виробах.

Формостійкість маффінів (рис. 4) була оцінена за співвідношенням висоти до діаметра виробу. В ході досліджень було виявлено, що зі збільшенням кількості борошна зеленої гречки та зменшенням псиліуму формостійкість погіршується. Це можна пояснити наявністю в борошні зеленої гречки амілолітичних та протеолітичних ферментів, а також більшою чутливістю крохмалю до амілолізу, зважаючи на те, що зерна крохмалю в гречаному борошні менші за зерна пшеничного. При вмісті 80 та 85 % борошна зеленої гречки різниця у формостійкості була незначною, проте при дозуванні 90 та 95 % спостерігалось значне розпливання виробу.

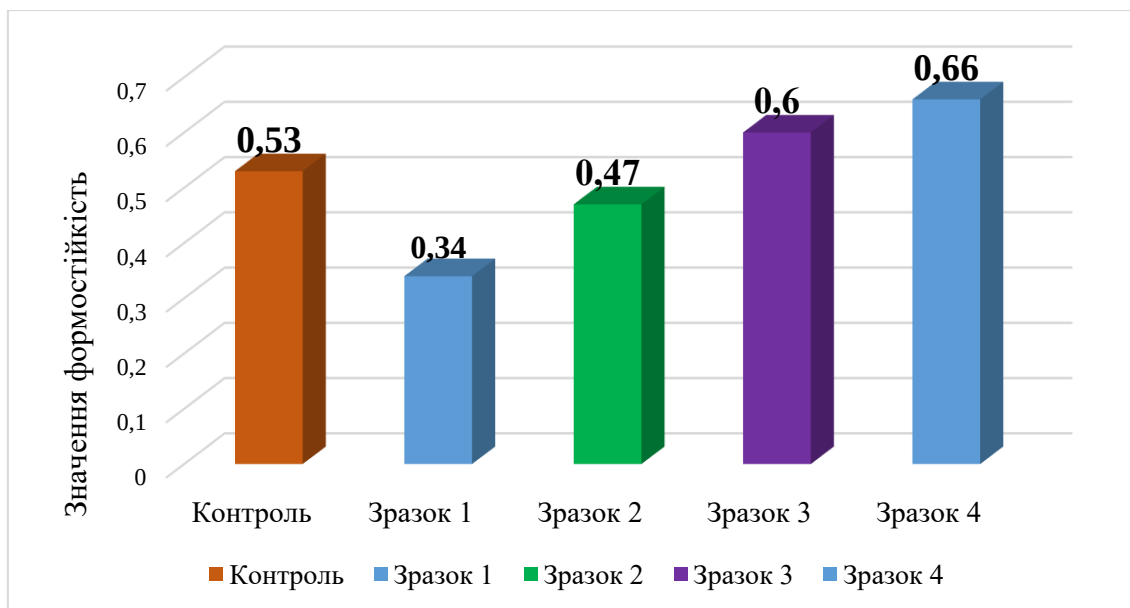


Рис. 4. Формостійкість маффінів за різного співвідношення борошна зеленої гречки та псиліуму

Процес усихання готових виробів було досліджено протягом періоду їх зберігання (рис. 5). Зниження цього показника свідчить про підвищення рівня взаємодії з вільною вологою, що, у свою чергу, сприяє подовженню терміну зберігання готової продукції.

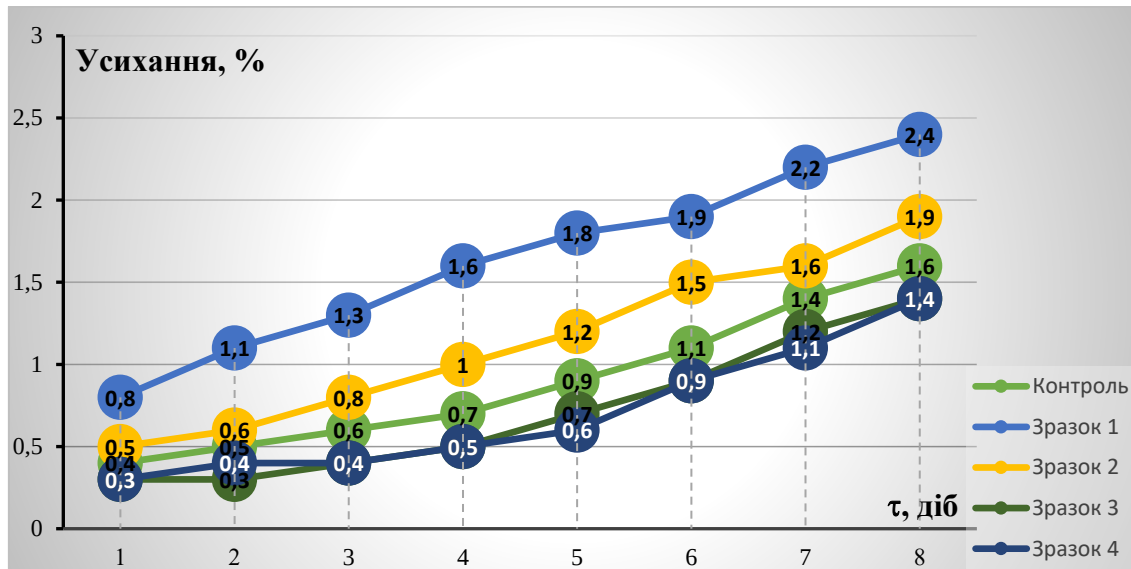


Рис. 5. Динаміка усихання маффінів за різного співвідношення борошна зеленої гречки та псиліуму

Аналіз кривих (рис. 5) показав, що найкращі показники усихання спостерігалися у зразків № 3 та № 4. Зменшення усихання цих зразків склало 0,3 % після двох діб зберігання та 1,4 % після восьми діб, порівняно з контрольним зразком маффінів. Повільне висихання маффінів можна пояснити взаємодією компонентів псиліуму, які затримують випаровування вологи з набряклих гранул крохмалю і утворюють міжмолекулярні водневі зв'язки, що сприяє збереженню вологи та перешкоджає швидкому висиханню готового продукту.

Висновки. У ході дослідження вивчено вплив борошна зеленої гречки та псиліуму на структурно-механічні характеристики безглютенових маффінів, включно з в'язкістю тіста, динамікою усихання та стійкістю форми готових виробів. Встановлено, що тісто зі співвідношенням борошна зеленої гречки та псиліуму 85:15 % забезпечує оптимальні показники в'язкості, а готовий продукт має бажану формостійкість.

Крім того, експериментально підтверджено, що одним із дієвих способів забезпечення тривалої свіжості безглютенових маффінів під час зберігання є використання псиліуму. У поєднанні з борошном зеленої гречки цей інгредієнт забезпечує поліпшення технологічних властивостей виробів, підвищення їх харчової цінності та подовження терміну зберігання.

Отримані результати мають практичне значення для визначення оптимального складу рецептурних компонентів у процесі виробництва безглютенових маффінів на основі борошна зеленої гречки та псиліуму.

Список використаних джерел

1. Юдіна Т. І., Безрученко О. М., Кравченко Т. В. Дослідження впливу концентрату сколотин на якість безглютенових кексів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*. 2019. Вип. 207: Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. С. 189–195. <https://doi.org/10.1533/9781845695873.1>.
2. Сова Н., Худайбердієва К., Коваленко Н., Михненко І. Використання борошна із насіння нішевих культур у технології виробництва кексів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях*. 2021. Вип. 4(10). С. 94–100. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2021.04.13>.
3. Хомич Г. П., Наконечна Ю. Г., Галушинський Є. М. Використання борошна чуфи в технології виготовлення мафінів. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2021. Т. 27, № 3. С. 181–192.
4. Мацук Ю. А., Колпікова Є. О., Іщенко Н. В. Обґрунтування технології безглютенових кексів із додаванням насіння чіа. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*. 2019. № 1 (91). С. 8–14. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2021-26-09>.
5. Singh V., Kumar S., Singh J., Rai A. K. Fuzzy logic sensory evaluation of 2 cupcakes developed from the mahua 3 flower (*madhuca longifolia*). *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*. 2018. Vol. 11. P. 56-64.
6. Lopez-Alarcon C. A., Cerdan-Leal M. A., Beristain C. I., Pascual-Pineda L. A. The potential use of modified quinoa protein isolates in cupcakes: physicochemical properties, structure and stability of cupcakes. *Food & Function*. 2019. Vol. 10(7). P. 4432–4439. <https://doi.org/10.1039/C9FO00852G>.
7. Caleja C., Barros L., Barreira J. C. M., Ciric A., Sokovic M. Suitability of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) extract rich in rosmarinic acid as a potential enhancer of functional properties in cupcakes. *Food Chemistry*. 2018. Vol. 250. P. 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.034>.
8. Jabborova S. K., Isabaev I. B., Djuraeva N. R., Kurbanov M. T., Khaydar-Zade I. N., Rakhmonov K. S. Application of products of processing mulberries and roots of sugar beet in the production of cupcakes. *Journal of Critical Reviews*. 2020. Vol. 7(9). P. 277–286. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.09.61>.
9. Jamieson J. A., Viana L., English M. M. Folate Content and Chemical Composition of Commercially Available Gluten- Free Flour Alternatives. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2020. Vol. 75. P. 337–343. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00833-z>.



10. Farisieiev A., Matsuk Y., & Oliynyk N. Improving the technology of dry mixes for craft flour confectionery products. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*. 2023. Vol. 25(100). P. 60–66. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f10010>.
11. Belorio M., & G'omez M. Gluten-free muffins versus gluten containing muffins: Ingredients and nutritional differences. *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 102. P. 249–253. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.015>.
12. Chi M. S., Adriana P., Man S. M., Mure V., Ancu S., Pop A., Stan L. & Rusu B. Textural and Sensory Features Changes of Gluten Free Muffins Based on Rice Sourdough Fermented with *Lactobacillus spicheri* DSM 15429. *Foods*. 2020. Vol. 9(3). P. 363. <https://doi.org/10.3390/foods9030363>.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024 р.



S. P. Bokovets, O. Yu. Koshel
Sumy National Agrarian University

**STUDY OF THE INFLUENCE OF GREEN BUCKWHEAT FLOUR AND
PSYLLIUM ON THE STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF
GLUTEN-FREE MUFFINS**

Summary

This study investigates the impact of buckwheat flour and psyllium on the structural-mechanical properties of gluten-free muffins, focusing on dough viscosity, drying dynamics, and product shape stability. The research is motivated by the growing demand for gluten-free bakery products among consumers who either have gluten intolerance or choose gluten-free diets for health or dietary reasons.

Buckwheat flour and psyllium were used in various proportions to determine the optimal combination for achieving the best technological characteristics of the muffins. The study revealed that a ratio of 85% buckwheat flour to 15% psyllium yields optimal dough viscosity, desirable muffin texture, and satisfactory shape stability. Sensory analysis indicated that muffins made with this ratio offer a pleasing taste and texture while demonstrating reduced moisture loss during storage, thus extending their shelf life.

The findings underscore the significant role of buckwheat flour and psyllium in improving the technological properties of gluten-free muffins. Specifically, the use of buckwheat flour, known for its nutritional value and beneficial properties, combined with psyllium's water-absorbing and gel-forming capabilities, enhances the muffins' texture and quality. Additionally, this combination helps in achieving a desirable balance between dough viscosity and product stability, addressing common issues in gluten-free baking.

The results also highlight the importance of optimizing ingredient ratios to enhance the sensory attributes and shelf-life of gluten-free bakery products. By establishing the optimal ratio of buckwheat flour to psyllium, this study contributes valuable insights into the formulation of gluten-free muffins that meet both consumer preferences and dietary requirements. The practical implications of these findings are significant for the food industry, particularly in developing gluten-free products that align with current dietary trends and health considerations.

This research adds to the body of knowledge on gluten-free baking technologies and provides a basis for further studies aimed at improving the quality and acceptability of gluten-free baked goods. Future research could explore the effects of other functional ingredients and their interactions with buckwheat flour and psyllium to further optimize gluten-free formulations.

Key words: gluten-free muffins, flour confectionery, green buckwheat flour, psyllium, dough viscosity, structural and mechanical properties, sensory analysis.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-20

УДК [664.68:613.2]:664.788.3

С. П. Боковець, д.ф., ст. викл.,

ORCID: 0000-0003-0466-2426

Сумський національний аграрний університет

e-mail: sergiy_bokovec@ukr.net, тел.: +380671878060031,

ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ У ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ТІСТА ДЛЯ ВАРЕНИКІВ

Анотація. Стаття присвячена дослідженню можливостей використання борошна зеленої гречки та льняного борошна для розробки безглютенових вареників. Актуальність теми зумовлена зростанням попиту на продукти без глютену внаслідок поширення алергії на глютен та орієнтацією споживачів на здоровий спосіб життя.

Результати досліджень показали, що безглютенові вареники, виготовлені на основі комбінації 80 % борошна зеленої гречки та 20 % льняного борошна, відзначаються високою харчовою цінністю та покращеними органолептичними властивостями.

Проведена органолептична оцінка продемонструвала, що ці зразки мали кращі смакові характеристики, текстуру та зовнішній вигляд порівняно з традиційними варениками на пшеничному борошні. Дослідження підтвердили перспективність використання альтернативних видів борошна для розробки безглютенових вареників, що дозволяє задовольнити потреби споживачів у продуктах здорового харчування та розширити асортимент напівфабрикатів.

Ключові слова: безглютенові вареники, безглютенове тісто, борошно зеленої гречки, лляне борошно, нетрадиційна рослинна сировина, харчова цінність, органолептичні властивості, здорове харчування.

Постановка проблеми. Харчова промисловість постійно шукає інноваційні рішення для задоволення потреб споживачів та мінливих вимог сучасного суспільства. Однією з найцікавіших і традиційних кулінарних галузей є варена їжа, яка посідає особливе місце в культурі харчування багатьох країн.

Вареники, провідна страва цієї категорії, століттями визначали смакові вподобання та кулінарні традиції багатьох культур. Популярність вареників пояснюється не тільки простотою приготування, але й різноманітністю доступних начинок, найпоширенішими з яких є вареники з солодкими начинками. Традиційно вареники готують з тіста, що містить борошно, яйця та сіль.

Оскільки обізнаність про дієтичні обмеження зростає і все більше людей обирають безглютенові дієти, існує нагальна потреба у



розробці альтернативних рецептів вареників. Безглютенові дієти стали популярними серед людей з целіакією та алергією на глютен, а також серед тих, хто віддає перевагу здоровому харчуванню. Тому важливо розробляти нові технології та рецептури для задоволення потреб цієї категорії населення. Відхід від традиційного борошна може відкрити нові горизонти для створення продуктів, які не тільки не містять глютену, але й задовольняють потребу в більш здорових та екологічно чистих харчових альтернативах.

Одним з найбільш перспективних напрямків розвитку безглютенових продуктів є використання борошна льону та гречки в якості сировини. Оскільки ці культури традиційно вирощуються в нашій країні, нашим завданням було продемонструвати необхідність та потенціал використання лляного та зеленого гречаного борошна для виробництва безглютенового тіста та напівфабрикатів на їх основі [20].

До цього часу в нашій країні не вироблялися безглютенові напівфабрикати з використанням лляного борошна або борошна зеленої гречки. Відомо лише про використання лляного борошна у поєднанні з пшеничним борошном для виробництва виробів з дріжджового тіста.

Борошно з зеленої гречки отримують з насіння гречки, яке має високий вміст білка та антиоксидантів. Воно містить клейковину, що робить його схожим на пшеничне та ідеальним для безглютенового тіста [14, 15].

Льняне борошно отримують шляхом подрібнення насіння льону. Це борошно має високий вміст омега-3 жирних кислот і відоме своїми перевагами для здоров'я серця і мозку. Воно не містить глютену і ідеально підходить для безглютенових рецептів [16].

Таблиця 1

Хімічний склад різних видів борошна

Показник	З пшеничного борошна	Льняне борошно	Борошно зеленої гречки
Білки, г	8,2	28	13
Жири, г	5,5	9,2	3,3
Вуглеводи, г	27,8	12	62
Енергетична цінність, ккал	198,7	281	310

Борошно із зеленої гречки дуже поживне, багате на амінокислоти, вітаміни та мінерали. Використання гречаного борошна не тільки додає продукту багатство поживних речовин, але й унікальний смак. Лляне борошно багате на омега-3 жирні кислоти та



харчові волокна, які сприяють поліпшенню здоров'я серцево-судинної системи та шлунково-кишкового тракту.

За результатами аналітичного огляду виявлено розрізнені дослідження щодо використання нетрадиційних інгредієнтів рослинного походження в технології безглютенового тіста для вареників. Це зумовлює доцільність обраного напрямку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автори [1] дослідили використання напівзнежиреного лляного борошна у виробництві вареників. Оцінено якість тіста на основі лляного борошна та кінцевого продукту, а також описано технологічний процес виробництва безглютенових вареників з лляного борошна. Визначено харчову та енергетичну цінність напівфабрикатів. Результати підтвердили, що харчова та енергетична цінність безглютенових вареників була порівнянна зі звичайними фрикадельками з пшеничного борошна і навіть перевищувала контрольний продукт за вмістом жиру - найбільш цінної поживної речовини.

Метою авторів [2] було розробити технологію безглютенового приготування та випікання виробів з кукурудзяного борошна. Вони розробили рецепт безглютенового тіста для вареників з кукурудзяного борошна. Було виявлено, що високоякісні безглютенові піріжки можна отримати, використовуючи сухі яєчні білки та вливаючи частину борошна тонкого помелу. Це покращує структуру тіста, його пластичність і здатність виробу зберігати форму після приготування.

Вчені [3] розробили рецепт вареників з використанням часникового екстракту. Доведено, що використання порошків та екстрактів рослинного походження дає можливість виробляти функціональні харчові продукти. Вареники з екстрактом часнику можна рекомендувати для включення в щоденний раціон харчування з метою покращення загального стану здоров'я та підтримки імунної системи.

Науковці [4] розробили безглютеновий продукт для закладів масового харчування. Попередніми дослідженнями визначено оптимальне співвідношення (25:0,18:0,09) рисового борошна, кукурудзяного крохмалю та кукурудзяного крохмалю в безглютеновому пельменному тісті.

Авторами [5] розроблено рецептури вареників та пельменного тіста з додаванням безглютенового борошна для розширення асортименту кулінарних напівфабрикатів для хворих на целиацію.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження щодо використання нетрадиційної сировини рослинного походження, а саме борошна зеленої гречки та лляного борошна, у технології безглютенового тіста для вареників.



Виклад основного матеріалу дослідження. Для дослідження та розробки технології виробництва пельменного тіста було обрано продукт-аналог «традиційний борошняний пельмень з м'ясом». Вибір цього продукту зумовлений широким використанням його в кулінарних традиціях та високим рівнем споживання серед різних культур і країн [3].

З метою визначення обґрунтованої кількості нетрадиційних інгредієнтів було змінено склад вареничного тіста, а пшеничне борошно було замінено на борошно зеленої гречки та льняне борошно. Метою в цьому контексті є показати оптимальний вміст нової сировини у складі кулінарного виробу, враховуючи різні варіанти зміни складу та їх вплив на якість та органічні властивості вареників. Нижче наведено порівняльну характеристику заміників борошна в тісті для вареників (табл. 2).

Таблиця 2

Порівняльна характеристика заміни пшеничного борошна на борошно зеленої гречки та льняне борошно у складі тіста для вареників

Зразок	Пшеничне борошно	Борошно зеленої гречки	Льняне борошно
Контроль	100 %	-	-
Зразок 1	-	90 %	10 %
Зразок 2	-	80 %	20 %
Зразок 3	-	70 %	30 %

В рамках дослідження було проведено заміну складу тіста для вареників з використанням різних відсотків борошна зеленої гречки та льняного борошна. Було розглянуто три різні варіанти складу тіста: зразок 1, де борошно зеленої гречки становило 90 %, льняне борошно – 10 %; зразок 2 - борошно зеленої гречки становило 80 %, льняне – 20 %; та зразок 3 - борошно зеленої гречки становило 70 %, льняне борошно – 30 %.

Було проведено порівняльну оцінку органічних властивостей кожного зразка (рис. 1). Детальний аналіз результатів цієї оцінки забезпечить краще розуміння якості та прийнятності кожного продукту і дозволить зробити висновки про їх взаємну перевагу.

Результати дослідження показали, що найкращий показник якості тіста був отриманий для зразка 2. Цей зразок характеризувався оптимальною текстурою, структурою та смаком вареників, що підтверджує його вибір для подальших досліджень та застосування.

Результати оцінки органолептичних властивостей вареників на пшеничному борошні та безглютенових вареників вказують на помітні відмінності між ними. Вареники на пшеничному борошні

отримали загальну оцінку на рівні 4 балів, що вказує на те, що вони мають задовільні органолептичні характеристики. Зокрема, їх зовнішній вигляд та смак були оцінені як приємні, але не настільки насичені, як у безглютенових вареників (рис. 2).

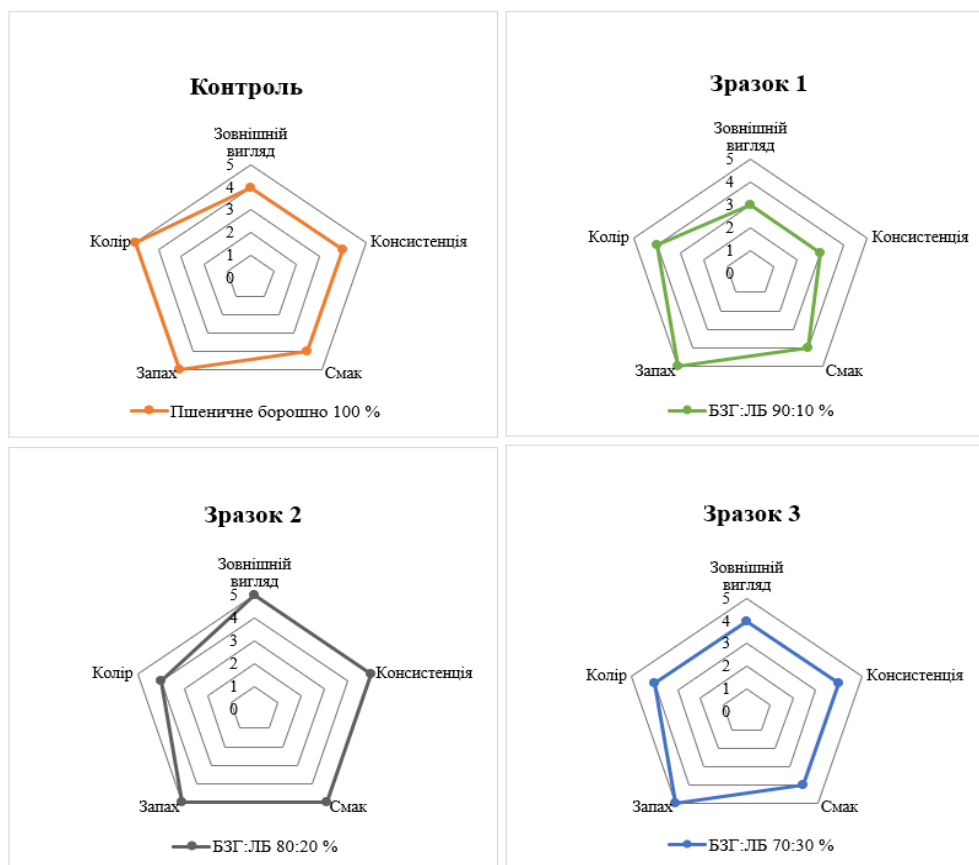


Рис. 1. Органолептична оцінка зразків вареників з різних дозуванням борошна зеленої гречки та льняного борошна.

Колір вареників на пшеничному борошні був насиченим, але оцінений нижче, ніж у безглютенових вареників. Запах та консистенція вареників на пшеничному борошні також були помірними, але не виділялися особливою насиченістю або м'якістю. У той час як безглютенові вареники отримали загальну оцінку на рівні 5 балів, що вказує на їх вищу якість в порівнянні з варениками на пшеничному борошні.

Отримані дані забезпечують об'єктивну основу для висновків про раціональний вміст досліджуваної сировини у складі нової кулінарної продукції, стадії її внесення, та необхідності коригування технологічного процесу.

На основі органолептичного аналізу була розроблена рецептура для безглютенових вареників, яка використовує унікальне поєднання борошна зеленої гречки та лляного борошна (табл. 3).

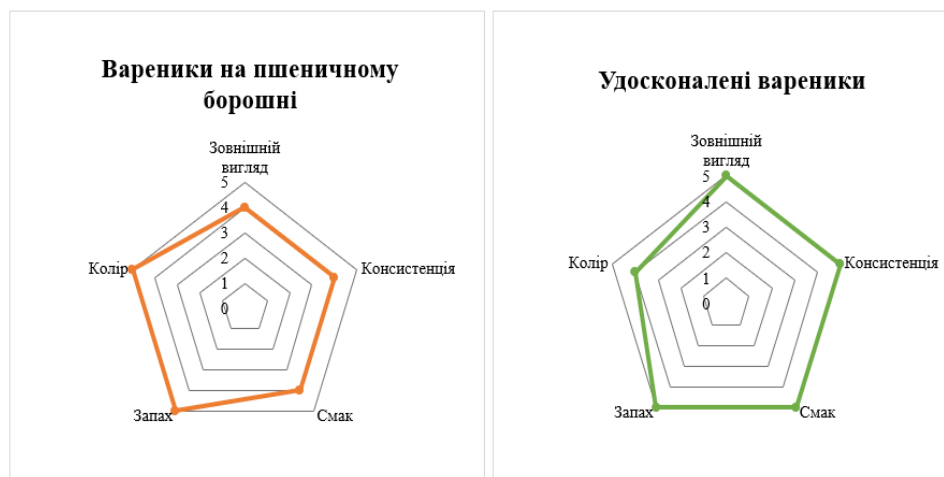


Рис. 2. Органолептична оцінка вареників

Таблиця 3

Аналіз рецептурного складу удосконалених вареників

Назва продуктів	Кількість сировини на 500 г продукції		Вміст, %	Роль у технологічному процесі
	Б	Н		
Борошно зеленої гречки	130,0	130,0	26,0	Нетрадиційна сировина, суха основа
Льняне борошно	20,0	20,0	4,0	Нетрадиційна сировина, суха основа
Сіль	4,0	4,0	0,8	Збагачуюча добавка
Яйце	1 шт	50,0	10,0	Сировина для покращення консистенції тіста
Вода	50,0	50,0	10,0	Зв'язуюча сировина
Фарш курячий	230	230	45,2	Начинка

Технологічна схема виробництва удосконалених безглютенових вареників з використанням нетрадиційних видів борошна представлена на рис. 3.

Технологія приготування безглютенових вареників полягає в дотриманні кількох важливих кроків, починаючи з підготовки тіста. Спочатку змішується борошно зеленої гречки, льняне борошно та сіль, після чого додається яйце та потрібна кількість води для створення м'якого тіста. Тісто залишається відпочивати протягом короткого часу, щоб досягти оптимальної консистенції.

Після підготовки тіста вареники формуються шляхом розкатування його на робочій поверхні та вирізання круглих заготовок. Далі на центр кожної заготовки кладеться начинка та з'єднуються краї тіста. Важливо забезпечити, щоб краї тіста були добре з'єднані, а начинка не виходила.

Готові вареники варяться в киплячій воді протягом 3-5 хвилин, доки вони не піднімуться на поверхню або ж піддаються заморожуванню та зберігаються.

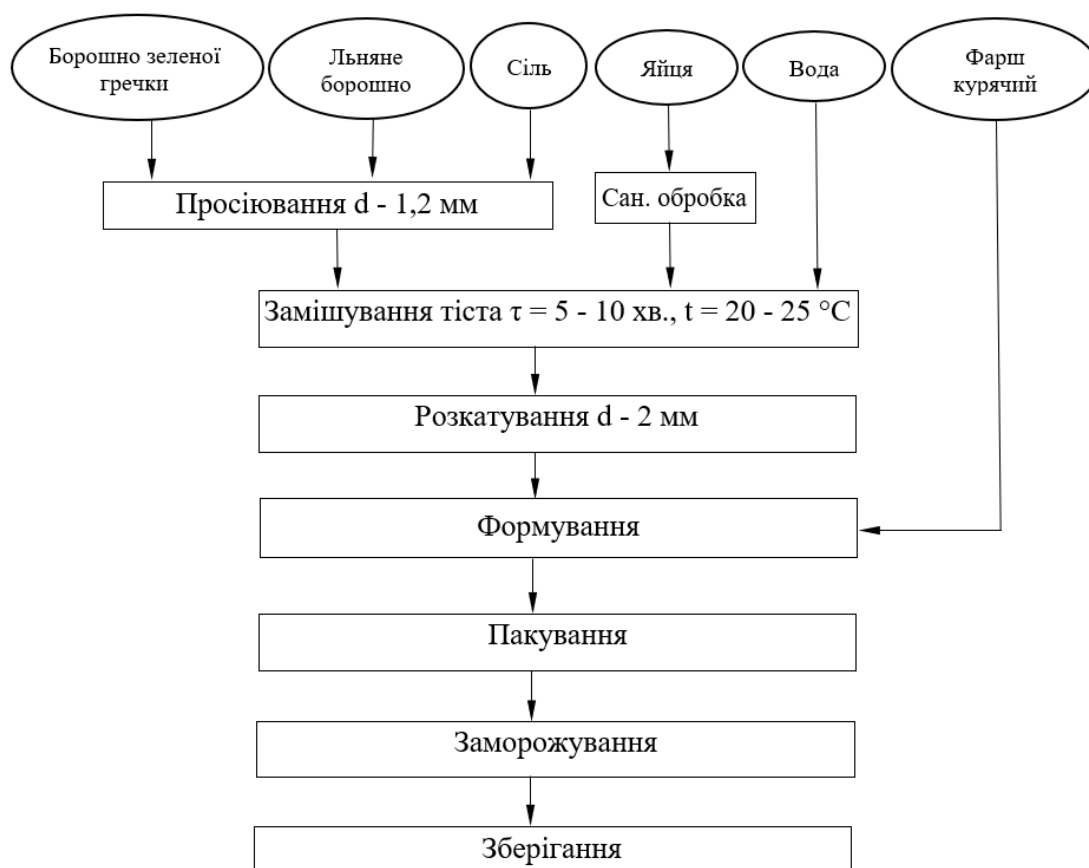


Рис 3. Технологічна схема удосконалених безглютенових вареників

Проведено аналітичний розрахунок харчової та енергетичної цінності експериментальних зразків вареників (табл. 4).

У порівнянні з контрольною зразком, удосконалені безглютенові вареники демонстрували значне покращення у харчовій цінності. Зокрема, вміст білків у безглютенових варениках був значно вищим, майже удвічі, порівняно з контрольним зразком. Це вказує на більш високий вміст білків у складі безглютенового борошна. Також варто відзначити, що удосконалені вареники містили більше жирів та вуглеводів порівняно з контрольним зразком.



Таблиця 4

Харчова цінність удосконалених безглютенових вареників у порівнянні з контрольним зразком вареників

Зразки	Показники			
	Білки	Жири	Вуглеводи	Енергетична цінність, ккал
Контроль (вареники з пшеничним борошном)	8,2	5,7	27,9	201,7
Удосконалені безглютенові вареники	17,3	8,2	32,6	283,3

Висновки. Проведене дослідження показало доцільність використання борошна зеленої гречки та льняного борошна для виробництва безглютенового тіста, яке може бути основою для виготовлення напівфабрикатів, таких як вареники. Отримані результати свідчать про значне покращення органолептичних характеристик та харчової цінності безглютенових вареників у порівнянні з традиційними варениками на пшеничному борошні.

Використання цих двох видів нетрадиційної сировини не лише забезпечує продукти високим вмістом білків, жирів і антиоксидантів, але й відповідає сучасним вимогам здорового харчування. Технологія приготування безглютенових вареників з даних видів борошна може бути впроваджена на практиці як конкурентоспроможна та екологічно чиста альтернатива традиційним рецептурам.

Список використаних джерел

1. Земліна Ю. В. Технологія борошняних страв на основі нетрадиційної сировини. *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Технічні науки*. 2019. Т. 30 (69). С. 77–82.
2. Клевцов К. М. Фізико-технологічні властивості і хімічний склад насіння льону та конопель. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2015. № 4. С. 104–110.
3. Тараненко Н. В. Інноваційні технології вареників з начинками. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 261.
4. Данилюк, І. Технологія прісного тіста із порошком *atherinarontica* та борошном пророщеного зерна пшениці. *Технічні науки та технології*. 2017. № 4(10). С. 228–234.



5. L. Tong, X. Gao, X. Zhou, K. Zhong, L. Liu, L. Wang, S. Zhou Milling of Glutinous Rice by Semidry Method to Produce Sweet Dumplings. *J. Food Process Eng.* 2016. Vol. 39. P. 330-334.
6. B. Suo, Z. Dong, Y. Huang, P. Guan, X. Wang, H. Fan, Z. Huang, Z. Ai Changes in microbial community during the factory production of sweet dumplings from glutinous rice determined by high-throughput sequencing analysis. *LWT-Food Sci. Technol.* 2023. Vol. 180. Article 114689. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114689>.
7. H. Wang, N. Xiao, X. Wang, X. Zhao, H. Zhang Effect of pregelatinized starch on the characteristics, microstructures, and quality attributes of glutinous rice flour and dumplings. *Food Chem.* 2019. Vol. 283. P. 248-256. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.047>.
8. Zhang Sen, Zhang Chunhua, Huang Weixia, etc. Analysis of the physical properties of several different starches. *Food Research and Development.* 2016. Vol. 37(23). P. 21-25.
9. Z. Lin, D.-H. Geng, W. Qin, J. Huang, L. Wang, L. Liu, L.-T. Tong Effects of damaged starch on glutinous rice flour properties and sweet dumpling qualities. *Int. J. Biol. Macromol.* 2021. Vol. 181. P. 390-397. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.160>.
- 10 Z. Huang, Y. Huang, Z. Dong, P. Guan, X. Wang, S. Wang, M. Lei, B. Suo Modelling the growth of *Staphylococcus aureus* with different levels of resistance to low temperatures in glutinous rice dough. *LWT-Food Sci. Technol.* 2023. Vol. 173. Article 114263. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114263>.
11. Y. Yang, S. Zheng, Z. Li, Z. Pan, Z. Huang, J. Zhao, Z. Ai Influence of three types of freezing methods on physicochemical properties and digestibility of starch in frozen unfermented dough. *Food Hydrocoll.* 2021. Vol. 115. Article 106619. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106619>.
12. M. Corzo-Martínez, M. Villamiel, F.J. Moreno, Impact of high-intensity ultrasound on protein structure and functionality during food processing. *Ultrasound in food processing.* 2017. Recent advances. P. 417–436.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024 р.

Bokovets S. P.
Sumy National Agrarian University

USE OF NON-TRADITIONAL RAW MATERIALS OF PLANT ORIGIN IN THE TECHNOLOGY OF GLUTEN-FREE DOUGH FOR DUMPLINGS

Summary

This article is dedicated to exploring the potential of using green buckwheat flour and flaxseed flour in the development of gluten-free dumplings. The growing interest in gluten-free products is driven by an increasing awareness of gluten-related disorders,



such as celiac disease and gluten intolerance, as well as a general consumer shift toward healthier food choices. Traditional wheat flour, a common ingredient in dumpling dough, presents challenges for individuals who need to avoid gluten. In response to this demand, the study investigates the feasibility of substituting wheat flour with green buckwheat and flaxseed flour, two plant-based alternatives that offer distinct nutritional advantages.

The research begins with a detailed comparative analysis of the chemical composition of wheat flour, green buckwheat flour, and flaxseed flour. The study demonstrates that these alternative flours not only eliminate gluten but also significantly enhance the nutritional value of the final product. Green buckwheat flour is rich in proteins, antioxidants, and amino acids, while flaxseed flour offers high levels of omega-3 fatty acids and dietary fibers, which contribute to heart health and digestive well-being. These qualities make both flours suitable for gluten-free dough, without compromising the structural and functional properties needed for dumpling production.

The experimental phase of the research focused on formulating gluten-free dumpling dough by varying the proportions of green buckwheat and flaxseed flour. The optimal formulation was identified as 80% green buckwheat flour and 20% flaxseed flour. This combination yielded the most favorable results in terms of texture, elasticity, and taste. Sensory evaluations revealed that the gluten-free dumplings, particularly those made with the 80/20 blend, exhibited superior organoleptic properties—such as taste, texture, and appearance—when compared to traditional wheat-based dumplings.

Furthermore, the study highlights the practical benefits of using green buckwheat and flaxseed flour in gluten-free production. Not only do these flours improve the nutritional profile of the dumplings, but they also introduce unique flavors that enhance the culinary appeal of the product. The higher protein content and better fat composition of the gluten-free dumplings suggest that they can serve as a more nutritious alternative to conventional dumplings, catering to a wider range of dietary preferences and needs.

This research underscores the importance of developing innovative, gluten-free products that meet both health and sensory expectations. The findings provide a solid foundation for further development and commercialization of gluten-free dumplings, opening new opportunities for the food industry to expand its product range in line with modern consumer demands for health-conscious, allergen-free foods. The study also calls for additional research to optimize production processes and explore the broader application of green buckwheat and flaxseed flour in other gluten-free culinary products.

Key words: gluten-free dumplings, gluten-free dough, green buckwheat flour, flax flour, non-traditional vegetable raw materials, nutritional value, organoleptic properties, healthy nutrition.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-21

УДК 637.524.5:637.05

Л. М. Крижак, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-4882-897X

О. А. Іваніщева, ст. викл.

ORCID: 0000-0002-0500-3652

Вінницький торговельно-економічний інститут ДТЕУ

e-mail: l.kryzhak@vtei.edu.ua, тел.: +380967242684

РОЛЬ СТАРТОВИХ КУЛЬТУР У ВИРОБНИЦТВІ СИРОВ'ЯЛЕНИХ КОВБАС

Анотація. У статті досліджено вимоги до стартових культур, які використовуються у виробництві сиров'ялених ковбас. Зокрема, узагальнено та систематизовано наукові дослідження щодо безпечності стартових культур, активності ферментів, їх вплив на колір і створення смакових сполук з ліпідів. Крім того, обговорюються особливості вибору стартових культур, зміни у якості (твердість і жувальна здатність) за рахунок зміни текстури після застосування закваски під час виробничого процесу. Досліджено роль стартових культур у мікробіологічній та хімічній безпеці сиров'ялених м'ясних продуктів, узагальнено вимоги до стартових культур у сиров'ялених ковбасах, умови підвищення харчової безпеки продукту. Прослідковано активність ферментів, отриманих із стартових культур, зміну сенсорних властивостей ковбас. Проілюстровано зміни у вільних жирних і летких сполуках стартових культур, в профілях текстури сиров'ялених ковбаси. Показано вплив протеолітичної активності стартових культур на профіль текстури сиров'ялених ковбас.

Ключові слова: якість, безпека, технологія, стартові культури, сиров'ялені ковбаси, мікроорганізми, інокуляція, властивості.

Постановка проблеми. Сиров'ялені ковбаси стабільно користуються попитом на ринку. Незважаючи на те, що на сьогодні створено численні різновиди даної продукції, сухі м'ясні продукти постійно привертають увагу виробників і дослідників, що працюють у харчовій м'ясопереробній галузі. Сучасні дослідження спрямовані на пошук нових стратегій для підвищення якості та безпеки сиров'ялених ковбасних виробів (2).

Стартові культури можуть відігравати важливу роль у виробництві традиційних в'ялених м'ясних продуктів. Для досягнення цілей, пов'язаних із підвищенням якості та безпечності м'ясних продуктів, відбір конкретних штамів, що входять до складу стартових культур, має здійснюватися в контексті застосування, оскільки їх функціональність залежатиме від типу ковбасних виробів та умов технологічного процесу.

Безпеці сиров'ялених м'ясних продуктів можуть загрожувати мікробіологічні, а саме харчові патогени (*Salmonella* spp., *Listeria* spp.



тощо), і хімічні небезпеки, зокрема біогенні аміни, нітрозаміни, поліциклічні ароматичні вуглеводні (РАН) і мікотоксини (3).

Стартові культури, що містять *Lactobacillus* spp., грампозитивні каталазопозитивні коки та дріжджі, використовувалися у виробництві традиційних м'ясних ковбас. Проте, вплив заквасок на зменшення накопичення РАН недостатньо вивчений. Існують перспективи дослідження конкурентних виключень, випереджаючи псування або погіршення стану автохтонної мікробіоти. Потребує глибокого вивчення роль цвілі, наприклад *Penicillium nalgiovense*, у конкурентному виключенні небажаних ниткоподібних грибів. Більшість цих небажаних грибків виробляють мікотоксини, вторинні метаболіти, здатні викликати захворювання. Усі ці аспекти роблять зазначену проблематику важливою та актуальною на сьогоднішній день.

Аналіз останніх досліджень. Зберігання м'яса шляхом бродіння проводилося тисячі років, але ідея використання стартових культур для виробництва сиров'ялених ковбас була вперше представлена у 1940-х роках у патенті US 2225783 А. Першою комерційною стартовою культурою був штам *Pediosoccus acidilactici*, яка була доступна у США в 1957 році (18). Першою стартовою культурою в Європі був штам M53 з роду *Kocuria*, виділений з фінської ковбаси, який використовувався для запобігання вадам кольору та аромату (19).

Стартові культури – це окремі або змішані мікроорганізми, які використовуються у підібраних концентраціях з метою підтримування процесів ферментації у сиров'ячених м'ясних продуктах за рахунок їх мікробіологічних та ферментативних властивостей.

Бактерії, зокрема молочнокислі бактерії (МКБ) і коагулазонегативні стафілококи (ЦНС), а також дріжджі та плісняви можуть використовуватися як закваски, що сприяє підвищенню безпеки ферментованих м'ясних продуктів. Крім того, стартові культури можуть допомогти стандартизувати властивості продукту та скоротити час дозрівання ферментованих м'ясних продуктів (1).

Попереднє використання стартових культур у м'ясних продуктах було результатом додавання частини вихідних м'ясних продуктів до їх сировини, тобто частина вже ферментованої партії ковбаси поверталася в нову суміш. Цей уже ферментований продукт містив необхідні мікроорганізми для початку ферментації нової партії. Ця технологія відома як зворотний нахил або зворотне щеплення (2).

Дослідження показали, що необхідно використовувати добре адаптовані та кваліфіковані штами презумпції безпеки (QPS), а створення закваски повинно бути перевірено, щоб гарантувати очікувану ефективність.



Пробіотики – це живі мікроорганізми, які при введенні в адекватних кількостях приносять користь здоров'ю організму господаря (8). Пробіотики використовуються в продуктах харчування, харчових добавках і фармацевтичних продуктах. Через зростання занепокоєння щодо здоров'я пробіотичні продукти (наприклад, пробіотичні молочні продукти) тепер прийняті на світовому ринку. Обговорюється можливість розробки пробіотичних м'ясних продуктів (9). Використовуючи пробіотичні закваски мікроорганізмів, м'ясні продукти можуть отримати потенційну користь для здоров'я, що може бути підставою для виробництва пробіотичних м'ясних продуктів (10, 11). Разом із тим, потенційно сприятливий вплив пробіотичної ковбаси на здоров'я людини все ще потребує підтвердження.

Групи мікробіологічних культур, які зараз використовуються в м'ясній промисловості, за ступенем важливості поділяють на молочнокислі бактерії (МКБ), грампозитивні каталазопозитивні коки (GCC+) (переважно стафілококи), пліснява та дріжджі (6).

Молочнокислі бактерії (МКБ) – це група грампозитивних бактерій, що належать до Firmicutes. Хоча багато родів бактерій виробляють молочну кислоту як первинний або вторинний кінцевий продукт бродіння, термін молочнокислі бактерії (LAB) традиційно зарезервовано для родів у порядку Lactobacillales, який включає Aerococcus, Carnobacterium, Enterococcus, Lactococcus та інші (14).

Оскільки агенти ферментації харчових продуктів беруть участь у виготовленні йогурту, сиру, кисловершкового масла, сметани, сиров'яленої ковбаси, солоних огірків, оливков і квашеної капусти, а деякі види можуть навіть зіпсувати пиво, вино та оброблене м'ясо (15).

Грампозитивні каталазопозитивні коки (GCC+) є другою за значимістю групою м'ясних закусок і складаються з непатогенних коагулазонегативних стафілококів (CNS). Найважливішими заквасками з цієї групи є штами, що належать до родів Staphylococcus і Kosciusa [16].

На початку процесу дозрівання поверхнева мікобіота в основному складається з дріжджів. Однак, коли вологість зменшується, цвілі витісняють дріжджі та переважають у кінцевому продукті (17). Цвіль поселяється на поверхні ферментованих м'ясних продуктів, у деяких випадках надає особливі характеристики, проте в інших випадках вважається ознакою псування.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою статті є огляд та систематизація наукових досліджень щодо використання стартових культур у виробництві сиров'ялених м'ясних продуктах, зокрема, ковбасах, та визначення впливу культур на якість готового продукту.



Основна частина. Розширення та розвиток ринку м'ясних продуктів збільшило попит на сиров'ялені ковбаси. Типовим способом виготовлення якісних сиров'ялених ковбас є використання штамів культур, які покращує смак, аромат і консистенцію. В даний час стартові культури для виробництва сиров'ялених ковбас в основному складаються з мікроорганізмів, таких як молочнокислі бактерії, дріжджі та гриби, які утворюють леткі сполуки шляхом окислення жирних кислот. Крім того, під час ферментації відбувається розкладання білка та зміна рН, це може позитивно змінити текстуру ферментованої ковбаси (2).

М'ясо є багатим джерелом білка, вітамінів і мінералів. Через те, що м'ясо швидко псується, його обробляли різними способами для консервування. Ферментація ковбаси може бути однією з найперших форм переробки м'яса. Шляхом ферментації з додаванням рецептурних компонентів, процесу сушіння, отримане м'ясо довготривало зберігається в оболонках (1).

Основними інгредієнтами сиров'яленої ковбаси є м'ясо, жирова тканина, вуглеводи, спеції та стартові культури. Мікроорганізми, які головним чином беруть участь у ферментації ковбаси, включають види молочнокислих бактерій, грампозитивні та каталазопозитивні коки (GCC), цвілі та дріжджі, в основному включаючи *Lactobacillus sakei*, *Lactobacillus curvatus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus paracasei*, *Staphylococcus xylosus*, *Staphylococcus carnosus*, *Staphylococcus saprophyticus*, *Kocuria varians*, *Penicillium nalgiovense*, *Penicillium chrysogenum* і *Debaryomyces hansenii* (20). Під час ферментації, стартові культури для ковбасних виробів, адаптуються до умов навколишнього середовища, таких як висока концентрація солі та низькі температури. Крім того, вони повинні конкурувати з іншими мікроорганізмами шляхом швидкого росту та зниження рН, щоб різні шкідливі мікроорганізми могли бути придушені, забезпечуючи мікробіологічну безпеку. Штами культур повинні бути стійкими до поглиначів нітриту натрію та нітриту натрію, який додають для консервування ферментованих ковбас. Закваски відповідають за вищезгадані функції та чуттєву якість ферментованої ковбаси. Протягом короткого періоду технологічного процесу ферментації, стартові культури створюють характерні смаки, аромати та колір ковбас, покращують текстуру та смак ферментованих ковбас (10).

Зростання шкідливих мікроорганізмів, таких як харчові патогени, у ферментованих ковбасах можна пригнічувати, застосовуючи до них стартові культури, знижуючи їх рН. Штами культур повинні бути здатними пригнічувати вироблення токсинів іншими мікроорганізмами. *P. nalgiovense*, який широко використовується в



складі стартових культур, він може пригнічувати вироблення грибів, що продукують токсини, забезпечуючи безпеку ферментованих ковбас.

Відібрані штами стартових культур повинні добре активізувати свою життєдіяльність в фізико-хімічних умовах ковбасних виробів і бути нешкідливим для людини. Щоб забезпечити безпеку стартових культур, необхідно оцінити гемоліз, продукцію токсинів і біогенних амінів мікроорганізмами. Аміни, вироблені мікроорганізмами, зокрема біогенні аміни, є низькомолекулярними органічними сполуками, які утворюються в результаті ферментаційної активності мікроорганізмів. Вони виникають під час розщеплення амінокислот бактеріями в процесі біохімічних перетворень. Деякі штами культур виробляють біогенні аміни у сиров'ялених ковбасах, тому актуальним є розробка заквасок, які не виробляють біогенних амінів. Такі методи обробки, як пакування, добавки, гідростатичний тиск і копчення також можуть зменшити біогенні аміни (10).

Під час дозрівання ферментованих ковбас активність ферментів, отриманих із закваски, може позитивно впливати на чуттєві елементи ферментованих ковбас. Таким чином, мікроорганізми культур слід оцінювати на розщеплення вуглеводів, білків, пептидів і ліпідів для створення приємного аромату і смаку сиров'яленої ковбаси.

Стартові культури відіграє важливу роль у збереженні кольору ферментованих ковбас, виробляючи нітратредуктазу та нітритредуктазу, які зменшують вміст нітратів та нітритів відповідно. Наприклад, *S. carnosus* використовувався для підтримки кольору ферментованої ковбаси шляхом утворення червоного нітрозоміоглобіну, який виробляється нітратредуктазою (23).

Вміст води та рН у сиров'ялених ковбасах зменшуються під час бродіння і відбуваються деякі біохімічні реакції, включаючи ліполіз. Ліпіди у ферментованих ковбасах можуть окислюватися до вільних жирних кислот, покращуючи смак ферментованих ковбас та збільшують вміст вільних жирних кислот. Згодом вільні жирні кислоти піддаються ферментативному та неферментативному окисленню, утворюючи спирт, альдегіди, карбонові кислоти та інші смакові сполуки. Таким чином, застосування штамів мікроорганізмів з високою ліполітичною активністю у процесі виробництва може покращити сенсорну якість ферментованих ковбас.

На даний час досліджено вміст вільних жирних кислот і ліполітичні зміни у ферментованих ковбасах, інокульованих комерційними заквасками, включаючи *Lactobacillus sake*, *S. carnosus*, *S. xylophilus* і *P. pentosaceus*. Олейнова кислота, лінолева кислота, ліноленова кислота та пальмітинова кислота були переважаючими жирними кислотами у ферментованій ковбасі, що зберігалася



протягом 120 днів. Вміст олеїнової кислоти збільшився з 1,77%–1,99% до 6,56%–13,01% (26). Досліджувалися зміни в рівнях насичених жирних кислот (НЖК), мононенасичених жирних кислот (МНЖК) і поліненасичених жирних кислот (ПНЖК) у ферментованих ковбасах. Коли сиров'ялені ковбаси інокулювали *L. sakei* та *S. xylosus*, кінцевий вміст НЖК та ПНЖК збільшився, тоді як вміст МНЖК був нижчим, ніж у ковбасах без закваски (8).

Таблиця 1

Зміни вмісту летких сполук у ковбасах, інокульованих заквасками, порівняно з неінокульованими ковбасами (6)

Закваска	Основні леткі сполуки	Незначні леткі сполуки
<i>Debaryomyces hansenii</i>	Декан, 1-пропанол, 1-бутанол, 2-пропанон, 2-пентанон, 2-гептанон, пентанал, гептанал, октанал, нонанал, пропанова кислота, гексанова кислота, гексадеценова кислота. Пропаналь, 1-пропанол, 2-метилфуран, 2-пентилфуран, гексанова кислота, 2-етил-1-гексанол, деканова кислота	Гексан, 2-метилпентан, 3-метилпентан. Тетрагідрофуран, 2,5-диметилфуран, гептанова кислота
<i>Lactobacillus Sakei</i> <i>Staphylococcus equorum</i>	Гексан, нонанова кислота	Октан, гексанал, триетилгептан, нонан, 3-етил-4-метил-гексан, 3-метин-нонан, 2,2,6-триметиллоктан, декан, 3,7-диметил-нонан, 3,7-диметил-декан, ундекан, 3,3-диметил-гексан, 2,2,5-триметил-декан, 5-етил-5-метилгексан, додекан, тридекан



Продовження таблиці 1

<i>L. Sakei</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i>	Гексан, 2,2,6-триметилектан, 5-етил-5-метилдекан, нонанова кислота.		Октан, гексанал, триетилгептан, нонан, 3-етил-4-метил-гексан, 3-метин-нонан, декан, 3,7-диметил-декан, ундекан, 3,3-диметил-гексан, 2,2,5-триметилгексан, 2,2,5-триметилдекан, додекан, тридекан
<i>Penicillium aurantiogriseum</i> (внутрішньоклітинний безклітинний екстракт)	2-Бутанон, метилфуран, етилфуран	2- 2-	1-пентен-3-ол, 2-пентанон,
<i>P. aurantiogriseum</i> (спорова суспензія)	-		1-пентен-3-ол, 2-бутеналь, пентанал, гексенал, 2-гексанал, гептанал, нонанал, деканаль, 2-бутанон, 2-пентанон, 2-гептанон, 2-метилфуран
<i>P. aurantiogriseum</i> (внутрішньоклітинний екстракт клітинного збору, суспензія спор)	-		1-пентен-3-ол, 2-бутеналь, пентанал, гексенал, 2-гексанал, гептанал, нонанал, деканаль, 2-бутанон, 2-пентанон, 2-гептанон, 2-метилфуран

Усі ці результати вказують на те, що використання закваски сприяє деградації ліпідів у ферментованих ковбасах. При використанні закваски у ферментованих ковбасах леткі сполуки можуть утворюватися внаслідок розкладання ліпідів (таблиця 1).

У наукових дослідженнях проаналізовано леткі сполуки у сиров'ялених ковбасах, інокульованих пліснявою. Леткі сполуки, такі як 1-пентен-3-ол і 2-пентанон, які мають неприємний смак, значно нижчі в інокульованих зразках, ніж у неінокульованих зразках, незалежно від типу інокулянта. З іншого боку, не спостерігається істотних відмінностей у профілі вільних жирних кислот між



ферментованими ковбасами, інокульованими стартовими культурами, і не інокульованими (11). Ці результати свідчать про те, що використання штамів культур підвищує вміст вільних жирних кислот і позитивно впливає на виробництво летких сполук у ферментованих ковбасах, що покращує їх смак.

Інокуляція *D. Hansenii* у *Salchichón* змінила профіль летких сполук і інокульовані ковбаси мали більший вміст летких сполук (58 летких сполук), ніж ті (41 летка сполука) у неінокульованих ковбасах. Крім того, гептанал, октанал і нонанал, відомі як ароматичні сполуки, схожі на в'ялену шинку, були виявлені лише в інокульованих партіях ферментованих ковбас з низьким вмістом жиру та солі. Порівняно з неінокульованими ферментованими ковбасами, ковбаси з *D. Hansenii* показали більший вміст 2-пентилфурану, який має металевий запах. Коли ферментовані ковбаси інокулювали *L. sakei* та комбінаціями різних видів *Staphylococcus*, зміни летких сполук відрізнялися для кожного штаму *Staphylococcus*. Крім того, лише гексаналь суттєво зменшився з додаванням культур, що відображає зниження прогірклого смаку сиров'ялених ковбас (14).

Фізико-хімічні показники сиров'ялених ковбас можна оцінити під час дозрівання або зберігання. Однією з характеристик є профіль текстури, який включає когезійність, твердість або розжовування. Білкова структура ферментованої ковбаси відповідає за формування правильної текстури після соління, подрібнення та ферментації.

Утворення текстури тісно пов'язане зі зниженням рН у ферментованих ковбасах. Під час дозрівання білкова структура ферментованої ковбаси денатурується органічними кислотами, такими як молочна, і вміст вологи поступово зменшується (3). Крім того, нестійкі коагуляційні зв'язки в структурі білка замінюються конденсованими зв'язками, що призводить до переходу із стану золи в стан гелю. Таким чином, зниження рН негативно корелює з твердістю та жуванням. Коли рН і вологість знижуються, відбувається накопичення білків м'язових волокон, що індукуює структуру гелю. Ця структура гелю підвищує твердість і еластичність ковбас (таблиця 2).

Таблиця 2

Кореляція між фізико-хімічними властивостями та текстурою сиров'ялених ковбас (16)

Фізико-хімічні властивості	Зміни текстури
Зниження рН і вмісту води	Негативно корелює з твердістю та жуванням
Протеоліз	Формування смаку та кінцева технологія ферментованих ковбас

Протеоліз є одним із основних явищ, що відбувається під час дозрівання ферментованих ковбас, і для цього потрібні ендогенні ферменти в м'ясі та мікробні ферменти. Білки розкладаються на невеликі молекули, такі як пептиди, аміни, альдегіди або амінокислоти шляхом протеолізу, сприяючи кінцевим властивостям текстури та смаку ферментованих ковбас.

Як видно з таблиці 2, твердість ферментованих ковбас зменшилася через протеоліз грибовою протеазою в стартових культурах. Мікроорганізми в стартових культурах розщеплюють міофібрилярні та саркоплазматичні білки на короткі пептиди та інші невеликі молекули (7). Сила зсуву сухих ферментованих ковбас значно зросла у зразках, інокульованих *L. plantarum*, порівняно з тими, які інокульовані *L. sakei*, *L. culvatus* і *Weissella hellenica* (18). Вміст амінокислот вищий у ковбасах, інокульованих змішаними культурами, ніж у ковбасах, інокульованих одним штамом (26). Ці результати вказують на те, що активність протеолізу у сиров'ялених ковбасах може залежати від стартових культур, а змішані стартові культури можуть викликати вищу активність, ніж один штам. Крім того, активність протеолізу може залежати від типу м'яса, яке використовується у сиров'ялених ковбасах.

Висновки. Таким чином, результати дослідження демонструють вплив актуальних стартових культур на фізико-хімічні показники якості сиров'ялених ковбас. Стартові культури у сиров'ялених ковбасах повинні бути здатні пригнічувати ріст шкідливих мікроорганізмів, і повинні бути безпечними для людини. Підібрані штами культур відіграють важливу роль у збереженні кольору, розщепленні ліпідів на вільні жирні кислоти та утворенні летких сполук, які покращують смак ковбас. Крім того, на профіль текстури сиров'ялених ковбас впливає протеолітична активність стартових культур. Активність протеолізу у ферментованих ковбасах може залежати від підібраних штамів, а змішані штами культур можуть викликати вищу активність, ніж один штам. У перспективі планується дослідження параметрів технологічних режимів виробництва сиров'ялених ковбас на активність стартових культур та їх ефективність.

Список використаних джерел

1. ДСТУ 4427:2005 Ковбаси сирокочені та сиров'ялені. Загальні технічні умови. Зі зміною № 1 та поправками. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77100 (дата звернення 09.09.2024).
2. Крижак Л. М., Семко Т. В., Іваніщева О. А. Дослідження особливостей використання штамів пробіотиків у технології

виробництва ферментованих м'ясних продуктів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2023. Вип. 13, т. 1. С. 242-251.

3. Семко Т. В., Іваніщева О. А. Дослідження шляхів забезпечення якості сиров'ялених ковбас у процесі зберігання. *Актуальні проблеми товарознавства, біотехнології, експертизи та митної справи* : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Полтава, 20 лютого 2024 року). Полтава: ПУЕТ, 2024. С. 112-115.

4. Крижак Л. Ковбаси крафтові сиров'ялені з додаванням червоного сухого вина. *Міжнародний науково-практичний журнал товари та ринки*. 2024. Вип. 50, т. 2. С. 110–120. [https://doi.org/10.31617/2.2024\(50\)08](https://doi.org/10.31617/2.2024(50)08).

5. Крижак Л. М., Калініна Г. П., Фіалковська Л. В. Перспективи використання горіху фісташка (*Pistacia vera* l.) у технології ковбасних виробів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. 2024. Вип. 24, т. 3. С. 199-206. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-3-17>.

6. Andrade M. J., Córdoba J. J., Casado E. M., Córdoba M. G., Rodríguez M. Effect of selected strains of *Debaryomyces hansenii* on the volatile compound production of dry fermented sausage “salchichón”. *Meat Sci*. 2010. Vol. 85. P. 256–264. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.01.009>.

7. Aro J. M. A., Nyam-Osor P., Tsuji K., Shimada K., Fukushima M., Sekikawa M. The effect of starter cultures on proteolytic changes and amino acid content in fermented sausages. *Food Chem*. 2010. Vol. 119. P. 279–285. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.025>.

8. Ayyash M., Olaimat A., Al-Nabulsi A., Liu S. Q. Bioactive properties of novel probiotic *Lactococcus lactis* fermented camel sausages: Cytotoxicity, angiotensin converting enzyme inhibition, antioxidant capacity, and antidiabetic activity. *Food Sci Anim Resour*. 2020. Vol. 40. P. 155–171. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2020.e1>.

9. Bernáldez V., Córdoba J. J., Rodríguez M., Cordero M., Polo L., Rodríguez A. Effect of *Penicillium nalgiovense* as protective culture in processing of dry-fermented sausage “salchichón”. *Food Control*. 2013. Vol. 32. P. 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.11.018>.

10. Chen Q., Kong B., Han Q., Xia X., Xu L. The role of bacterial fermentation in lipolysis and lipid oxidation in Harbin dry sausages and its flavour development. *LWT-Food Sci. Technol*. 2017. Vol. 77. P. 389–396. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.075>.

11. Corral S., Salvador A., Belloch C., Flores M. Improvement the aroma of reduced fat and salt fermented sausages by *Debaryomyces*

hansenii inoculation. *Food Control*. 2015. Vol. 47. P. 526–535. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.08.001>.

12. Doeun D., Davaatseren M., Chung M. S. Biogenic amines in foods. *Food Sci Biotechnol*. 2017. Vol. 26. P. 1463–1474. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0239-3>.

13. Essid I., Hassouna M. Effect of inoculation of selected *Staphylococcus xylosus* and *Lactobacillus plantarum* strains on biochemical, microbiological and textural characteristics of a Tunisian dry fermented sausage. *Food Control*. 2013. Vol. 32. P. 707–714. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.02.003>.

14. Flores M, Toldrá F. Microbial enzymatic activities for improved fermented meats. *Trends Food Sci Technol*. 2011. Vol. 22. P. 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.09.007>.

15. Fonseca S., Cachaldora A., Gómez M., Franco I. Effect of different autochthonous starter cultures on the volatile compounds profile and sensory properties of Galician chorizo, a traditional Spanish dry fermented sausage. *Food Control*. 2013. Vol. 33. P. 6–14. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.01.040>.

16. Jungeun Hwang, Yujin Kim, Yeongeun Seo, Miseon Sung, Jei Oh, Yohan Yoon. Effect of Starter Cultures on Quality of Fermented Sausages. *Food Science of Animal Resources*. 2023. Vol. 43(1). P. 1–9. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2022.e75>.

17. Holck A., Heir E., Johannessen T. C., Axelsson L. Northern European products. In: Toldrá F, Hui YH, Astiasarán I, Sebranek JG, Talon R, editors. *Handbook of fermented meat and poultry*. John Wiley & Sons; Hoboken, NJ, USA: 2014. P. 313–320.

18. Hu Y., Li Y., Li X., Zhang H., Chen Q., Kong B. Application of lactic acid bacteria for improving the quality of reduced-salt dry fermented sausage: Texture, color, and flavor profiles. *LWT-Food Sci Technol*. 2022. Vol. 154. P. 112723. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112723>.

19. Jeong D. W., Lee J. H. Antibiotic resistance, hemolysis and biogenic amine production assessments of *Leuconostoc* and *Weissella* isolates for kimchi starter development. *LWT-Food Sci Technol*. 2015. Vol. 64. P1078–1084. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.031>.

20. Jung Y. S., Yoon H. H. Quantitative descriptive analysis and consumer acceptance of commercial dry fermented sausages. *J East Asian Soc Diet Life*. 2020. Vol. 30. P. 306–315. <https://doi.org/10.17495/easdl.2020.8.30.4.306>.

21. Karsloğlu B., Çiçek Ü. E., Kolsarici N., Candoğan K. Lipolytic changes in fermented sausages produced with turkey meat: Effects of starter culture and heat treatment. *Korean J Food Sci Anim Resour*. 2014. Vol. 34. P. 40–48. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2014.34.1.40>.



22. Laranjo M., Potes M. E., Elias M. Role of starter cultures on the safety of fermented meat products. *Front Microbiol.* 2019. Vol. 10. P. 853. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00853>.

23. Löfblom J., Rosenstein R., Nguyen M. T., Ståhl S., Götz F. *Staphylococcus carnosus*: From starter culture to protein engineering platform. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2017. Vol. 101. P. 8293–8307. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8528-6>.

24. Lorenzo J. M., Gómez M., Fonseca S. Effect of commercial starter cultures on physicochemical characteristics, microbial counts and free fatty acid composition of dry-cured foal sausage. *Food Control.* 2014. Vol. 46. P. 382–389. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.025>.

25. Nie X., Lin S., Zhang Q. Proteolytic characterisation in grass carp sausage inoculated with *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus pentosaceus*. *Food Chem.* 2014. Vol. 145. P. 840–844. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.096>.

26. Özogul F., Hamed I. The importance of lactic acid bacteria for the prevention of bacterial growth and their biogenic amines formation: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2018. Vol. 58. P. 1660–1670. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1277972>.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024 р.

L. Kryzhak, O. Ivanishcheva
Vinnitsia Trade and Economic Institute of DTEU

THE ROLE OF STARTER CULTURES IN THE PRODUCTION OF RAW SAUSAGE

Summary

The article investigates the requirements for microorganisms used in starter cultures for the production of fermented sausages. In particular, scientific studies on the safety of starter cultures, enzyme activity, their effect on colour and the creation of flavour compounds from lipids are summarised and systematised. In addition, the peculiarities of choosing starter cultures, changes in quality (hardness and chewiness) due to changes in texture after the use of starter cultures during the production process are discussed. The role of starter cultures in the microbiological and chemical safety of fermented meat products is investigated, the requirements for starter cultures in fermented sausages and the conditions for improving the food safety of the product are summarised. The activity of enzymes derived from the starter and changes in the sensory properties of sausages are traced. Changes in free fatty and volatile compounds of starter cultures and in the texture profiles of fermented sausages are illustrated. The influence of the proteolytic activity of the starter on the texture profile of fermented sausages is shown. The dependence of the proteolysis activity in fermented sausages on the starter was proved. The results of the study demonstrate the influence of current starter cultures on the physicochemical quality parameters of fermented sausages. The starter in fermented sausages must be able to inhibit the growth of harmful microorganisms, and the starter must be safe for humans. The starter plays an important



role in preserving the red colour, breaking down lipids into free fatty acids and producing volatile compounds that enhance the flavour of fermented sausages. In addition, the proteolytic activity of the starter strain affects the texture profile of fermented sausages. The proteolysis activity in fermented sausages may depend on the starter, and a mixed starter may cause higher activity than a single strain. In the future, it is planned to study the effect of technological modes of production of fermented sausages on the activity of starter cultures and their efficiency.

Key words: quality, safety, technology, starter cultures, raw sausages, microorganisms, inoculation, properties.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-22

УДК 664.68

Т. П. Синенко, д.ф.

ORCID: 0000-0002-5300-5142

В. Ю. Юрченко, магістр

ORCID: 0009-0003-8902-4913

Сумський національний аграрний університет

e-mail: tetiana.synenko@snaeu.edu.ua, тел.: +380684870521

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ КЕКСІВ З ПІДВИЩЕНОЮ БІОЛОГІЧНОЮ ТА ХАРЧОВОЮ ЦІННІСТЮ

Анотація. Популярність борошняних кондитерських виробів, тенденція до здорового харчування та розвиток інноваційних технологій до комплексного використання сировини визначають актуальність удосконалення технології кексів з використанням нетрадиційних інгредієнтів. Метою роботи є розробка технології кексів з підвищеною харчовою та біологічною цінністю. Для досягнення поставленої мети було обґрунтовано технологічну доцільність використання пивної дробини у технології кексів. Визначено технологічні властивості сировини з метою прогнозування раціонального співвідношення у складі борошняної суміші, впливу на реологічні показники тіста та якість готових виробів. На підставі серії експериментів розроблено технологію кексів «Світанок» з порошком пивної дробини в кількості 40% від маси борошняних компонентів (співвідношення борошна пшеничного до порошку пивної дробини 60:40). Встановлено, що використання порошку пивної дробини в технології кексів сприяє зменшенню калорійності виробів і підвищенню харчової цінності за рахунок збільшенню вмісту харчових волокон.

Ключові слова: пивна дробина, борошняні кондитерські вироби, інноваційні технології, наукові основи.

Постановка проблеми. В останні роки погіршення екологічної та соціально-економічної ситуації, військові дії в Україні загострили проблему захисту здоров'я людей, створивши необхідність використання цінної сировини для розробки нових видів харчових продуктів з поліпшеними споживчими характеристиками.

Сьогодні люди все частіше стикаються з проблемою харчового дисбалансу через споживання рафінованих та очищених продуктів. Для здорового харчування необхідні незамінні амінокислоти, харчові волокна, вітаміни, мікроелементи та ненасичені жирні кислоти.

Дефіцит макро- та мікроелементів заважає захисній системі організму адекватно реагувати на несприятливі впливи навколишнього середовища. За даними американських вчених [1], 90% населення постійно перебувають у стані сильного стресу. Правильне харчування має значний позитивний вплив на стрес. Оскільки метаболізм різко підвищується, що вимагає підвищеного споживання вітамінів і



мінералів, а також продуктів з високим вмістом білків рослинного походження.

Проблема формування споживчих властивостей нового покоління інноваційних продуктів базується на використанні натуральних інгредієнтів, які покращують харчову та біологічну цінність продукту. Особливого значення набуває вплив комплексів інгредієнтів на споживчі характеристики продуктів. Вибір натуральної сировини для нових продуктів базується на її хімічному складі. Хімічний склад харчових продуктів, у тому числі борошняних кондитерських виробів, можна регулювати за рахунок вмісту в такій сировині біологічно цінних сполук.

Хлібобулочні та борошняні кондитерські вироби (печиво, кекси, торти, пряники тощо) відіграють важливу роль у раціоні українців. Однак важливим недоліком цієї групи продуктів є їхня низька фізіологічна цінність. Вона характеризується високим вмістом вуглеводів та жирів, що при надмірному споживанні є шкідливим для організму. Тому важливо коригувати хімічний склад борошняних кондитерських виробів, які є продуктом масового споживання, оскільки вони мають відносно низький вміст харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин та поліненасичених жирних кислот.

Кекси – традиційна борошняна випічка. Однак сировина, що використовується для виробництва кексів, містить мало мінералів і вітамінів, які руйнуються під час подальших технічних процесів, знижуючи біологічну цінність продукту. Проте рецептурні композиції кексів можна коригувати, збагачуючи їх рослинними та нетрадиційними натуральними інгредієнтами [2]. Це дозволяє створювати нові функціональні продукти з підвищеною харчовою цінністю.

Таким чином, популярність борошняних кондитерських виробів, тенденція до здорового харчування та розвиток інноваційних технологій і підходів до комплексного використання сировини та безвідходного виробництва визначають актуальність удосконалення технології кексів з використанням нетрадиційних інгредієнтів.

Аналіз останніх досліджень. У загальній структурі ринку борошняних кондитерських виробів на частку кексів припадає до 15% від загального обсягу виробництва. Кекси є висококалорійним борошняним кондитерським виробом і користуються стійким попитом серед населення, але низький вміст вітамінів, макро- і мікроелементів, харчових волокон і повноцінних білків робить їх дефіцит однією з основних проблем в країні.

Одним з варіантів збагачення кексів є використання борошна нутового, гречаного, кукурудзяного, рисового, ячмінного, зерна та насіння соняшника, кунжуту. Також популярними інгредієнтами є

плодово-ягідна та овочева сировина, їх порошки, пасти, пюре, кріопасті та сиропи. Їх фізіологічно функціональними інгредієнтами є харчові волокна, вітаміни, мінеральні речовини, амінокислоти. Також набирають популярності розробки виробів, збагачених біологічно-активними речовинами, які виготовляються із вторинної сировини – похідних продуктів переробки рослинної сировини, зокрема це плодово-ягідні вичавки, шроти, лушпиння цибулі, пивна дробина та ін. [3].

У роботі [4] розроблено технологію кексів з додаванням подрібненого насіння калини (*Viburnum opulus* L.) та подрібненого насіння гарбуза (*Cucurbita pepo* L.). Встановлено, що додавання до рецептурної суміші 10% пюре калини та насіння гарбуза звичайного призводить до покращення гістологічних властивостей кексів, зниження загальної калорійності та покращення мінерального складу.

У роботі [5] наведено рецептури кексів з борошна нішевих культур – конопляного, лляного, гарбузового та кунжутного. Авторами рекомендовано впровадити у виробництво зразок кексів з низькожирного конопляного борошна. Цей зразок мав вміст білка 8,85 г/100 г, вміст жиру 17,83 г/100 г, вміст вуглеводів 51,8 г/100 г та енергетичну цінність 396,85 ккал/100 г. Функціональні властивості конопляного борошна та отриманого на його основі продукту свідчать про те, що отриманий готовий продукт можна віднести до категорії оздоровчих продуктів харчування.

У роботі [6] розроблено кекс, що містить баклажанову клітковину. Було показано, що використання баклажанової клітковини в рецептах кексів знижує калорійність і підвищує поживну цінність.

У дослідженні [7] оцінювався вплив порошку зі шкірки граната на хімічний склад, фізичні властивості, колір, якість крохмалю та сенсорну оцінку кексів з високим вмістом клітковини. Результати показали, що гранатову шкірку можна використовувати у виробництві кексів для збільшення вмісту клітковини та мінеральних речовин при збереженні прийнятних сенсорних характеристик.

У роботі [8] представлено технологію кексів, збагачених клітковиною фінікової пальми. Результати показали, що додавання порошку насіння фінікової пальми до рецептури значно збільшило кількість жиру та клітковини, загальний вміст фенольних сполук та вміст вологи порівняно з контролем.

У роботі [9] звичайний гарбуз, природне джерело антиоксидантів, використовується як нетрадиційний інгредієнт для збагачення кексів.

У дослідженні [10] було вивчено можливість додавання гарбузового насіння до рецептур кексів у співвідношенні 20-35%. Результати показали, що додавання до рецептури до 30% гарбузового насіння покращувало сенсорні властивості кексів. Випечені кекси мали



невеликі тріщини та розриви, м'якуш був пористим, а добавки рівномірно розподіленими. При додаванні 35% гарбузового насіння стан м'якушки погіршився, добавка мала неприємний смак, а поверхня виробу характеризувалася екструзією олії. За результатами інших досліджень, найкращі результати були отримані при додаванні 50% гарбузового насіння [11].

При розробці збагачених борошняних кондитерських виробів науковці виявляють великий інтерес до економічно доступних харчових добавок. Практичний інтерес представляє використання пивної дробини, яка є перспективною сировиною для харчової промисловості, особливо хлібопекарської та кондитерської, з точки зору її необмеженої доступності, вмісту незамінних поживних речовин, біологічної цінності та технічних властивостей.

Пивна дробина є побічним продуктом пивоваріння і утворюється як залишок після відділення сусла в процесі фільтрації затору. Пивна дробина містить комплекс речовин з високою харчовою цінністю та біологічною активністю. Склад пивної дробини залежить від якості солоду, кількості несоложеної сировини і типу виробленого пива. Неперероблена пивна дробина – це зерновий продукт світло-коричневого кольору, грубого помелу, згущений, з солодким смаком і ароматом пивоварного солоду.

Наприкінці циклу пивоваріння вологість пивоварної дробини становить 70-80%, а середній вміст сухої речовини – 25-30%. Пивна дробина має високу засвоюваність: білкових речовин – на 71...76 %, жиру – на 80...82%, безазотистих екстрактних речовин – на 60...65% [12].

Однак швидке псування свіжої пивної дробини, труднощі з транспортуванням і потреба у великих кількостях дробини для задоволення потреб організму тварин обмежили її широке використання.

Для сушіння та подрібнення пивної дробини не потрібне спеціалізоване та дороге обладнання, яке серійно випускається для переробної промисловості. Запропоновано технологію переробки пивної дробини [13]. Згідно з цією технологією, пивоварне зерно пресують до вологості 65%, сушать до 8...10%, а потім подрібнюють у молотковому млині. Сушена пивна дробина (мелена) - це сипучий порошок світло-коричневого кольору зі слабким запахом або без нього. Ця технологія також може бути використана для виробництва немеленої сушеної пивної дробини та гранульованої сушеної пивної дробини.

Завдяки високому вмісту незамінних поживних речовин і високій засвоюваності, пивна дробина широко використовується як харчова добавка у виробництві кулінарних виробів. Відомо багато способів



використання пивної дробини у хлібобулочних, кондитерських, макаронних виробках, м'ясо-молочних продуктах і харчових добавках. Доведено можливість і зручність додавання пивної дробини у вигляді борошна, екстракту, дріжджового концентрату і ксиліту до рецептури цих продуктів [14, 15]. Найбільш поширеним є використання борошна із пивної дробини.

За даними одного з досліджень [16], борошно пивної дробини, на відміну від борошна вищого ґатунку, містить більше білка, жиру, клітковини та мінеральних речовин. На основі аналізу якісного складу білка були ідентифіковані та кількісно визначені всі незамінні амінокислоти в пивному борошні. Вміст лізину і треоніну в білку пивного борошна вищий, ніж у пшеничному. Вміст треоніну, фенілаланіну і тирозину також перевищує референтні значення ФАО/ВООЗ.

У роботі [17] досліджено покращення поживності хліба шляхом додавання пивної дробини до пшеничного борошна. Визначено, що хімічний склад пивної дробини складається з 6,19% вологи, 4,01% золи, 8,80% сирого жиру, 16,80% сирого клітковини, 21,86% сирого протеїну, 42,30% вуглеводів, 2,57 мг/г кальцію, 3,16 мг/г магнію та 7,34 мг/г калію. Показники, виміряні у дослідних зразках тіста, показали, що водопоглинання, стабільність, ступінь розм'якшення істотно збільшувалися. Зі збільшенням пивної дробини маса буханця збільшувалася і зменшувався об'єм батона. Враховуючи сенсорні, функціональні та поживні показники, вчені дійшли висновку, що заміна пшеничного борошна на пивну дробину до 10% є прийнятною для споживачів.

Вирішення проблеми підвищення харчової та біологічної цінності борошняних кондитерських виробів лежить у площині пошуку нових добавок, що містять більше фізіологічно функціональних інгредієнтів. Використання цих добавок для доповнення поживних речовин, яких часто не вистачає, відкриває можливість суттєво вирішити проблему дефіциту поживних речовин у раціоні харчування людини. Колективний досвід вчених свідчить, що промислові відходи, вторинні рослинні ресурси, можуть бути перспективним джерелом фізіологічно функціональних інгредієнтів.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою роботи є розробка технології кексів з підвищеною харчовою та біологічною цінністю.

Для досягнення поставленої мети було сформовано наступні завдання:

– обґрунтувати технологічну доцільність використання пивної дробини у технології кексів;

- визначити технологічні властивості сировини з метою прогнозування їх раціонального співвідношення у складі борошняної суміші, впливу на реологічні показники тіста та якість готових виробів;
- розробити технологію кексів, комплексно дослідити якість розробленої продукції.

Основна частина. На основі теоретичних досліджень сформульовано робочу гіпотезу наукової роботи – використання порошку пивної дробини в технології кексів підвищує їх харчову та біологічну цінність і розширює асортимент поживних борошняних кондитерських виробів.

Основним предметом дослідження в роботі є пивна дробина, яку отримували у свіжому вигляді із пивоварні ТОВ «Sumy Craft Brewery» (м. Суми, Україна) і миттєво висували в лабораторній інфрачервоній сушарці та подрібнювали до стану порошку.

На рис.1 представлено зовнішній вигляд пивної дробини свіжої та сухої.



Рис. 1. Зовнішній вигляд пивної дробини: *а* – сирої; *б* – сухої

Результати вивчення показників якості дослідних зразків свіжої та висушено пивної дробини представлено в табл.1.

Таблиця 1

Результати досліджень сировини

Найменування показника	Значення для	
	свіжої пивної дробини	висушеної подрібненої пивної дробини
Вологість, %	70,6±1,2	8,1±0,4
Вміст білка, %	6,8±0,5	21,2±0,5
Вміст ліпідів, %	1,5±0,3	8,3±0,2
Вміст вуглеводів, % в тому числі	16,3±1,5	50,2±1,3
- клітковини, %	4,0±0,2	17,5±0,8
Вміст золи, %	0,7±0,2	2,7±0,3

За встановленими показниками переважаючою речовиною хімічного складу зразків свіжої пивної дробини є вуглеводи, в тому числі клітковина. Відповідно, що дозволяє розглядати пивну дробину як джерело клітковини (харчових волокон). Позитивним в хімічному складі пивної дробини можна вважати наявність білків та ліпідів, що робить сировину також джерелом рослинного білка.

У зв'язку з тим, що в модельних рецептурних композиціях кексів суху пивну дробину вибрано для заміни частини пшеничного борошна, тому важливим було дослідити фракційний склад порошків дробини.

Важливою технологічною характеристикою порошків є їх фракційний склад. Це є важливим аспектом сенсорного сприйняття внесення нового інгредієнта до складу печива. Відомо, що дисперсність основної сировини борошняних виробів та рослинних збагачувальних добавок суттєво впливають на процес тістоутворення та структурно-механічні властивості тіста, розмір часточок більше 50 мкм може відчуватися споживачем. Тому доцільним є дослідити гранулометричний склад сухої подрібненої пивної дробини. З метою встановлення фракційного складу використовували лабораторні сита з діаметром отворів 450, 300, 250, 50, 30 мкм.

На рис. 2 представлено зовнішній вигляд сухої подрібненої пивної дробини за фракційним розміром.



Рис. 2. Зовнішній вигляд подрібненої сухої пивної дробини фракцій розміром: *a* – 50 мкм; *б* – 200 мкм; *в* – 300 мкм; *г* – 450 мкм

Фракційний склад подрібненої пивної дробини складає від 50 до 450 мкм. Бачимо, що частки фракцій зразків пивної дробини мають різну форму, об'єм поверхні. Слід відмітити, що розміри часток пивної дробини значно більші від пшеничного борошна, і є грубодисперсним порошкоподібним продуктом. Це зумовлює той факт, що органолептично, за умови недостатньої гідратації, буде відчуватися характерна волокниста структура і впливатиме на якість виробів.

Для визначення раціонального фракційного розміру пивної дробини з метою внесення як добавки для збагачення кексів харчовими волокнами, визначено хімічний склад пивної дробини різних фракцій (табл. 2).



Таблиця 2

Порівняльна характеристика фракцій пивної дробини

Найменування показника	Значення для фракції			
	50 мкм,	200 мкм	300 мкм	450 мкм
Вміст білка, %	30,21±0,47	15,63±0,27	17,93±0,30	17,68±0,30
Вміст сирови клітковини, %	1,64±0,40	3,17±0,40	8,06±0,40	9,73±0,40

Відповідно даним (табл. 2) із збільшенням розміру фракції пивної дробини збільшується кількість клітковини (від 1,64 до 9,73 %), а вміст білку відповідно зменшується (від 30,21 до 17,68 %).

Таким чином, визначено хімічний та гранулометричний склад пивної дробини. Так, вони мають високий вміст харчових волокон. Крім того, у порошках пивної дробини також містяться білкові сполуки. Це дозволяє спрогнозувати підвищення харчової та біологічної цінності готових виробів вразі використання досліджуваної пивної дробини як збагачувача.

З метою виробництва кексів збагачених харчовими волокнами і привабливими сенсорними показниками, для наступного етапу досліджень нами обрано розмір фракцій пивної дробини 300 мкм. Отриманий таким чином порошок з пивної дробини, має світло коричневий колір без сторонніх присмаків і легкий злаково-солодовий аромат з горіховими та карамельними нотками.

У ході розробки рецептурних композицій кексів із заміною борошна найбільш пильної уваги заслуговує проблема імітації структуроутворюючих властивостей сировини. Відсутність клейковини в рослинній сировині, зокрема пивній дробині, та необхідність створення пористої, пружно-еластичної структури тіста та готових борошняних кондитерських виробів потребує вирішення задачі з формування реологічних властивостей, що забезпечують текстуру адекватну традиційним виробам.

Таким чином, для моделювання способів поліпшення структури кексів вважаємо за необхідне обґрунтувати: склад суміші борошняної сировини та ефективність застосування молочної сироватки. Результати даного підрозділу стануть підґрунтям для обґрунтування фізико-хімічних взаємодій, рецептурного складу і окремих етапів технології кексів з підвищеною харчовою та біологічною цінністю.

З урахуванням відомостей, що містяться у науково-технічній літературі, розроблено модельні системи тіста для кексу з використанням порошку пивної дробини. Передбачено введення до складу тіста порошку пивної дробини у кількості 10,0...50,0 % від маси борошняних компонентів, із заміною пшеничного борошна. Як контроль обрано кекс «Столичний» за традиційною технологією [18].



З метою визначення раціональної кількості пивної дробини в модельних харчових композиціях кексів, проведено вивчення структурно-механічних та органолептичних показників напівфабрикатів та готових виробів.

Таблиця 3

Модельні харчові композиції кексів

Найменування інгредієнтів	Співвідношення сировини, мас. %					
	K1	K2	K4	K4	K5	K6
Борошно пшеничне	100,0	90,0	80,0	70,0	60,0	50,0
Порошок пивної дробини	-	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
Цукор білий кристалічний	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0
Масло вершкове	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0
Меланж	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Сіль кухонна	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Цукрова пудра рафінована	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Амоній бікарбонат	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Всього	314,1	314,1	314,1	314,1	314,1	314,1

Відомо, що структура кексів та їх властивості в процесі зберігання залежать, зокрема від здатності борошняної суміші зв'язувати та утримувати вологу. Відповідно, було досліджено вплив порошку пивної дробини на вологопоглинаючу здатність модельних композицій. Результати представлено на рис. 3.

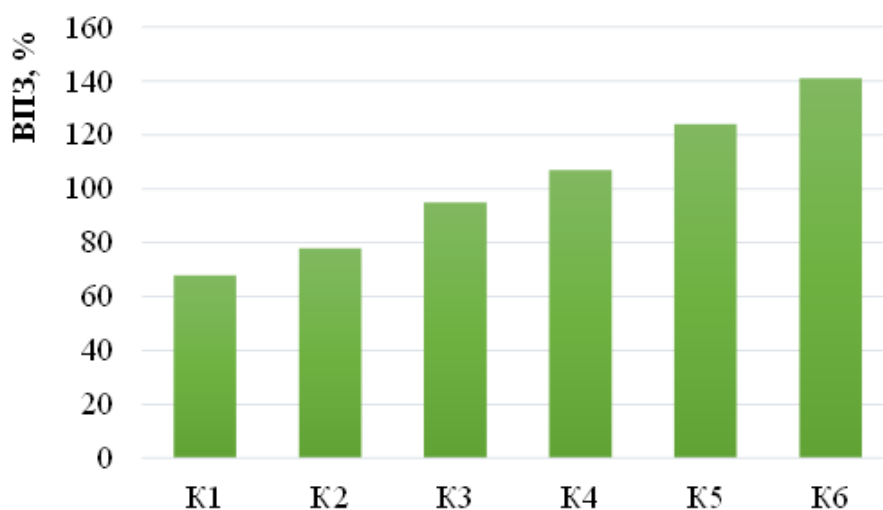


Рис. 3. Вологопоглинальна здатність тістових композицій кексів

Дані, наведені на рис. 3, показують, що вологопоглинальна здатність зростає зі збільшенням відсоткового вмісту пивної дробини у суміші. Таку тенденцію можна пояснити тим, що вологопоглинальна здатність порошку пивної дробини на 45% вища, ніж у пшеничного борошна.

У процесі виробництва кексів рідкі та сухі інгредієнти змішуються окремо, після чого відбувається короткий процес замішування та формування. В'язкість отриманого тіста визначає його якість і поведінку під час цих операцій.

Відповідно, доцільним є визначення впливу порошку пивної дробини на в'язкість тіста для кексів. Вимірювання в'язкості тіста для кексів проводили відразу після замісу при температурі (20 ± 2) °C на ротаційному віскозиметрі Rheotest-2. Результати досліджень наведено в рис. 4.

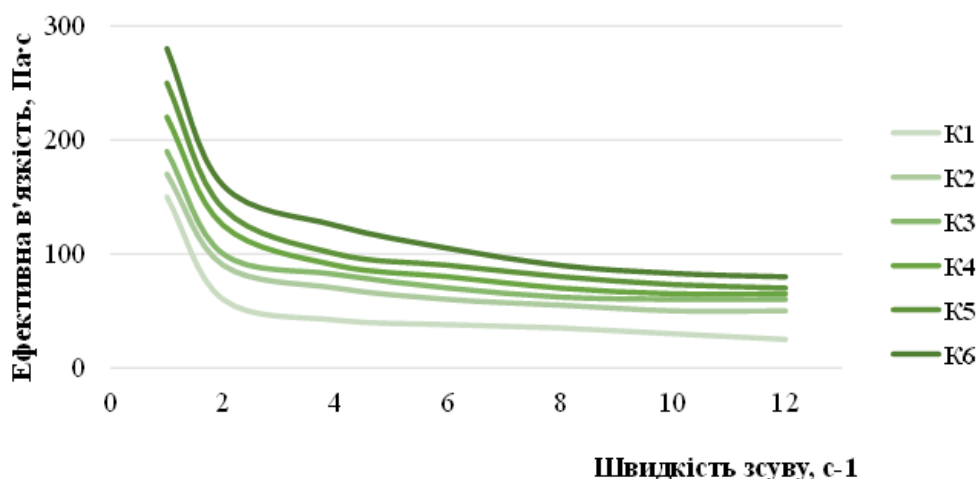


Рис. 4. Реологічні криві залежності ефективної в'язкості (Па·с) від швидкості зсуву (с^{-1}) у модельних композиціях тіста для кексів

Аналіз результатів (рис. 4) показує наступну закономірність. Криві течії для всіх зразків показують, що в'язкість зменшується зі збільшенням швидкості зсуву, як і для всіх неньютонівських рідин. Для всіх зразків ефективна в'язкість зменшується експоненціально при швидкості зсуву до 8 с^{-1} . Це свідчить про однакову динаміку реологічних властивостей тіста при інтенсивному перемішуванні і не потребує суттєвого коригування параметрів замішування тіста.

Збільшення у суміші вмісту пивної дробини від 10,0 до 30,0% не спричиняє суттєвого зростання ефективної в'язкості зразків, тоді як збільшення від 30,0 до 50,0% призводить до зростання ефективної в'язкості на 11...30% за малих швидкостей зсуву. Ефективна в'язкість тіста зі збільшенням швидкості зсуву зменшується як у контролі, так і у дослідних зразках, при цьому динаміка падіння цього показника має аналогічний характер.

Лабораторні дослідження показують, що збільшення кількості порошку пивної дробини у рецептурі суміші до 15% зменшує питомий об'єм кексів на 23% і формує щільний м'якуш з низькою пористістю завдяки високій вологоутримуючій здатності пивних дріжджів. Збільшення його кількості понад 15% не призводить до отримання продукту із задовільною консистенцією м'якушки.

За результатами серії технологічних відпрацювань і дегустацій здійснено узагальнення органолептичних та фізико-хімічних показників якості зразків кексів та оцінено їх відповідність вимогам стандарту ДСТУ 4505:2005 (рис. 5, рис. 6).

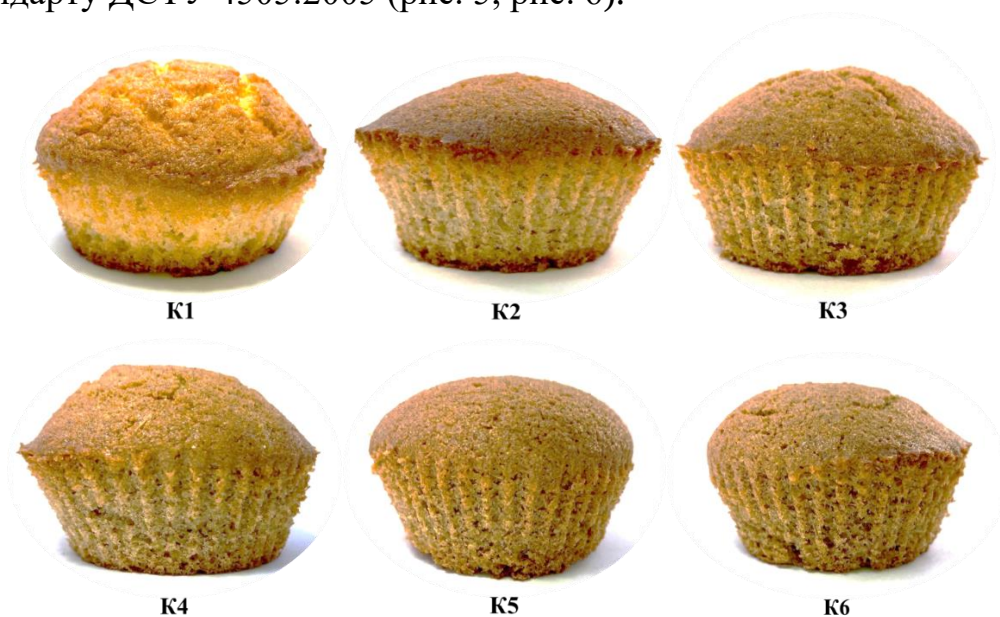


Рис. 5. Зовнішній вигляд зразків кексів

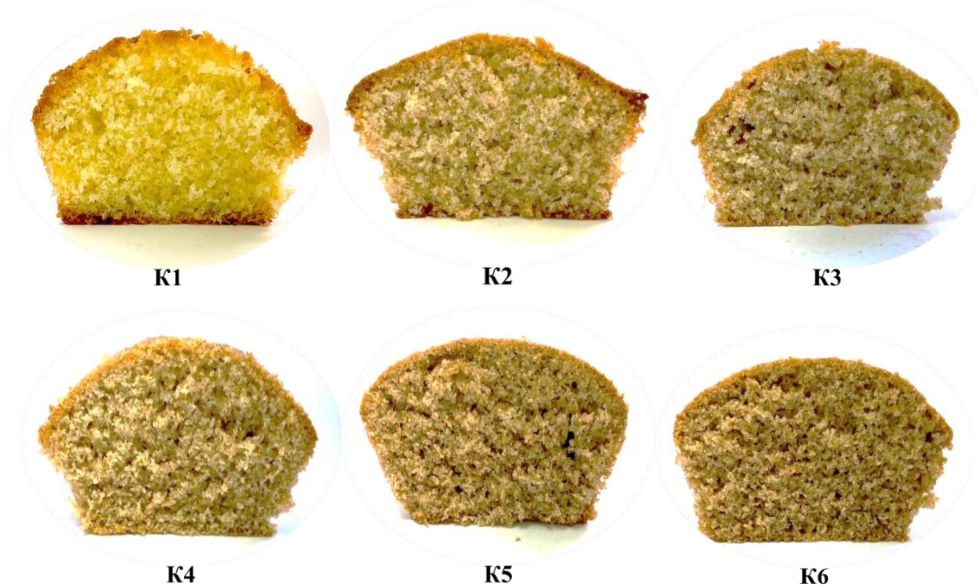


Рис. 6. Вигляд на зломі зразків кексів



Зовнішній вигляд виробів, до яких додають порошок пивної дробини у кількості 10,0-50,0% від маси борошняної суміші, характеризується правильною формою з тріщинами на поверхні, більш насиченим забарвленням скоринки та м'якушки.

Смак і аромат кексів із заміною 10,0-30,0% борошна порошком пивної дробини описується як приємний, насичений, солодкий, з вираженням горіхово-карамельним присмаком і ароматом, при збільшенні до 50,0% – солодовий присмак.

Фізико-хімічні показники якості зразків кексів із порошком пивної дробини наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Фізико-хімічні показники якості зразків кексів

Показник	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Вологість, %	28,05 ±0,05	28,15 ±0,05	29,06 ±0,05	29,65 ±0,05	30,01 ±0,05	31,09 ±0,05
Лужність, град	1,85 ±0,01	1,80 ±0,01	1,74 ±0,01	1,71 ±0,01	1,62 ±0,01	1,60 ±0,01
Питомий об'єм, см ³ /г	2,55 ±0,05	2,57 ±0,05	2,64 ±0,05	2,84 ±0,05	2,93 ±0,05	3,10 ±0,05
Пористість, %	16,67 ±0,01	17,25 ±0,01	18,09 ±0,01	19,01 ±0,01	19,85 ±0,01	19,57 ±0,01

Результати лабораторних пробних випікань показують, що збільшення кількості порошку пивної дробини у рецептурі понад 30% збільшує питомий об'єм готового виробу (до 3,1 см³/г) і надмірної крихкуватості м'якуша. Це може бути пов'язано з більшими частинками порошку пивної дробини, які роблять структуру продукту більш пухкою.

Важливо виділити, що у складі вуглеводів пивної дробини наявні харчові волокна, які є одним із найважливіших фізіологічно функціональних нутрієнтів. Відповідно, було досліджено вміст харчових волокон у зразках кексів.

Вміст харчових волокон коливається від 0,8 до 4,1 г на 100 г продукту, при добовій потребі людського організму від 25,0 до 30,0 г. Виходячи з цього, внесення 10,0-50,0% порошку пивної дробини може задовольнити добову потребу організму людини в харчових волокнах на 3,4-16,2% порівняно з контрольним зразком.

На підставі серії попередніх експериментів та з урахуванням відомостей, що містяться в науково-технічній літературі, розроблено технологію кексів «Світанок» з порошком пивної дробини в кількості 40% від маси борошняних компонентів (співвідношення борошна пшеничного до порошку пивної дробини 60:40).

Розраховані значення харчової та енергетичної цінності розроблених кексів «Світанок» представлено табл. 5.



Таблиця 5

Харчова та енергетична цінність кексів

Показника	Добова норма*	Значення, г в 100 г кексу «Світанок»
<i>Харчова цінність:</i>		
- білки	80/61	10,8
- жири	81/62	15,5
- вуглеводи, в тому числі	350/300	54,6
- харчові волокна	25...30	3,3
<i>Енергетична цінність, ккал</i>	2450/2000	412,5

*Примітка. Дані взяті для I групи населення, значення для чоловіків/жінок віком 18-29 років

Згідно з отриманими даними визначено, що використання порошку пивної дробини в технології кексів сприяє зменшенню калорійності виробів і підвищенню харчової цінності за рахунок збільшенню кількості харчових волокон.

Висновки. В роботі визначено технологічні властивості та якісні показники порошку пивної дробини і обґрунтовано доцільність їх використання у технології кексів. Обґрунтовано доцільність використання у технології кексів порошку пивної дробини (розміром фракцій 300 мкм) у кількості 40% від загальної кількості борошняної суміші за рецептурою.

Визначено, що розроблені кекси «Світанок» характеризується високим вмістом харчових волокон. Відповідно, на основі проведеного дослідження встановлено, що порошок пивної дробини доданих до рецептурних компонентів кексів, підвищує харчову та біологічну цінність продукту.

Отримані результати демонструють перспективу для подальших досліджень функціональних та оздоровчих властивостей збагачених кексів.

Список використаних джерел

1. Глобальні проблеми людства: веб-сайт. URL: <http://ukrmap.su/uk-gl1/1371.html> (дата звернення: 10.06.2024).
2. Лозова Т. М. Поліпшення білкового та амінокислотного складу кондитерських виробів. *Вісник ЛТЕУ. Технічні науки*. 2020. № 23. С. 102–109.
3. Самохвалова О.В. Технологія маффінів оздоровчого призначення: монографія. Харків: Видавництво «Технологічний Центр», 2015. 120 с.



4. Ющенко Н., Буяльська Н., Челябієва В., Березкина, Н. Технологія кексів з додаванням калини звичайної (*Viburnum opulus* L.) та гарбуза звичайного (*Cucurbita pepo* L.). *Технічні науки та технології*. 2023. №3 (33). С. 162–169.
5. Сова Н., Худайбердієва К., Коваленко Н., Михненко І. Використання борошна із насіння нішевих культур у технології виробництва кексів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях*. 2021. № 4 (10). С. 94–100.
6. Mirani A., Goli M. Optimization of cupcake formulation by replacement of wheat flour with different levels of eggplant fibre using response surface methodology. *Food Science and Technology*. 2021. № 42. e52120.
7. Gadallah M., Shabib Z., El-Hazmi T. Research Article Development of High Dietary Fibre-Enriched Cupcake Using Pomegranate Peel Powder. *International Journal of Food Science*. 2022. Vol. 2022, 6461949.
8. Ayoubi A., et al. Pre-Proof File Response Surface Optimization of Cupcake Formula Fortified with Date Seed Powder. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.* 2023. Vol, 42(2). P. 638–651.
9. Sello A., Mostafa M. Enhancing antioxidant activities of cupcakes by using pumpkin powder during storage. *Journal of Food and Dairy Sciences*. 2017. Iss. 8. P. 103–110.
10. Капліна Т. В., Столярчук В. М., Дудник С. О. Зміни якісних показників кексів залежно від частки внесеного до рецептури гарбузового насіння. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*. 2018. Т 20. № 85. С. 114–118.
11. Batista J. E. R. Partial replacement of wheat flour with pumpkin seed flour in the production of cupcakes filled with carob. *Food Science and Technology*. 2018. Vol. 38. Iss. 2. P. 250–254.
12. Coronado M. A., et al. Physicochemical characterisation and SEM-EDX analysis of brewer's spent grain from the craft brewery industry. *Sustainability*. 2020. №12(18). P. 7744.
13. Castro L. E. N., Matheus L. R., Colpini L. M. S. Optimization of brewers' spent grain drying process/Otimização do processo de secagem do bagaço de malte. *Brazilian Journal of Development*. 2022. №8(2). P. 14481–14488.
14. Назаренко І. А., Сімакова О. О., Світлична О. О. Технологія хлібобулочних виробів із використанням борошна з пивної дробини. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2019. Вип. 1(38). С. 46–52.
15. Jackowski M., et al. Brewer's spent grains-valuable beer industry by-product. *Biomolecules*. 2020. № 10(12). 1669.



16. Назаренко І. А., та ін. Дослідження якості бубликів ванільних із використанням борошна з пивної дробини. *Наукове фахове видання. Технічні науки*. 2020. № 2. С. 175–185.
17. Yitayew T., Moges D., Satheesh N. Effect of brewery spent grain level and fermentation time on bread quality. *International Journal of Food Science*. 2022. №1. 8704684.
18. Павлов О. В. Збірник рецептур борошняних кондитерських і здобних булочних виробів: Навчально-практичний посібник. Видання перероблене і доповнене. Київ: ПрофКнига, 2018. 336 с.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024 р.

T. Synenko, V. Yurchenko
Sumy National Agrarian University

DEVELOPMENT OF CUPCAKE TECHNOLOGY WITH INCREASED BIOLOGICAL AND NUTRITIONAL VALUE

Summary

The popularity of flour confectionery products, the trend towards healthy eating and the development of innovative technologies for the integrated use of raw materials determine the relevance of improving the technology of cupcakes using non-traditional ingredients. The solution to the problem of increasing the nutritional and biological value of flour confectionery lies in the search for new additives containing more physiologically functional ingredients. Using these additives to supplement nutrients that are often lacking opens up the possibility of significantly addressing the problem of nutrient deficiencies in the human diet. The work aims to develop a technology for cupcakes with increased nutritional and biological value. To achieve this goal, the technological feasibility of using brewer's grains in the technology of cupcakes was substantiated. The raw materials' technological properties were determined to predict the rational ratio in the flour mixture, the impact on the rheological parameters of the dough and the quality of the finished products. The expediency of using brewer's grains powder (300 µm fraction size) in 40% of the total flour mixture according to the recipe has been substantiated. It was noted that the carbohydrates of brewer's grains contain dietary fibre, one of the most critical physiological and functional nutrients. Accordingly, the dietary fibre content in cupcake samples at different dosages of brewer's grains ranges from 0.8 to 4.1 g per 100 g of product, and the daily requirement of the human body is 25.0...30.0 g. On this basis, introducing brewer's grain powder in the amount of 10.0...50.0% allows the body to satisfy the daily requirement for dietary fibre by 3.4...16.2%, compared to the control sample. Based on a series of experiments, the technology of 'Svitanok' cupcakes with brewer's grains powder in 40% by weight of flour components (the ratio of wheat flour to brewer's grains powder is 60:40) was developed. It has been established that using brewer's grains powder in cupcakes technology helps reduce the calorie content of products and increase the nutritional value by improving dietary fibre content.

Key words: brewer's grains, flour confectionery, innovative technologies, scientific foundations.



ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-23

УДК 621.311

О. О. Мірошник¹, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-6144-7573

О. М. Мороз¹, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-8520-9211

В. Г. Пазій¹, ст. викл.

ORCID: 0000-0002-7336-0854

Д. Г. Миргород¹, аспірант

ORCID: 0000-0002-5494-6227

Р. О. Ганус², аспірант

ORCID: 0009-0001-2442-6087

С. В. Галько³, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-7991-0311

¹Державний біотехнологічний університет,

²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,

³Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: omiroshnyk@btu.kharkiv.ua, тел.: +380979506033

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МЕРЕЖ АТ «ХАРКІВОБЛЕНЕРГО» ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ УСТАНОВОК КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Анотація. В статті розглянуті питання компенсації реактивної потужності в мережах АТ «Харківобленерго». Детально описані функціональні можливості пристроїв компенсації реактивної потужності. Проаналізовано дані режимів зимового та літнього максимального навантаження в мережах АТ «Харківобленерго». Побудовано графік падіння напруги в мережі 35 кВ та визначено дефіцит реактивної потужності. З метою підвищення якості електропостачання виконано техніко-економічний аналіз доцільності встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності в мережах АТ «Харківобленерго».

Ключові слова: електричні мережі, реактивна потужність, падіння напруги, пристрій компенсації реактивної потужності.

Постановка проблеми. Підвищення ефективності роботи електричних мереж є нагальною проблемою енергетичної галузі України. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є компенсація реактивної потужності. Довгий час завдання компенсації реактивної потужності було другорядним, основні інвестиції підприємств були спрямовані на зниження активного енергоспоживання. За допомогою новітнього обладнання по компенсації реактивної потужності в



мережах АТ «Харківобленерго» можна підвищити ефективність транспортування електричної енергії.

Класичним методом компенсації реактивної потужності є використання конденсаторних установок в мережах низької і середньої напруги, цей метод є найбільш поширеним [1, 2]. За останнє десятиліття характер навантаження електромереж значно змінився, це пов'язано з бурхливим розвитком напівпровідникової техніки (зокрема, перетворювачів частоти), зміною технології підприємств, збільшенням динамічних навантажень тощо.

Класичні способи компенсації реактивної потужності не відповідають сучасним вимогам по динамічним характеристикам, точності і глибині регулювання, надійності, ваговим та габаритним показникам [3, 4].

Сучасні прилади для компенсації реактивної потужності мають широкі функціональні можливості та дозволяють окрім компенсації реактивної потужності, покращувати якість напруги живлення, усувати несинусоїдальність напруги, фільтрувати вищі гармоніки та компенсувати перепади напруги під час пікових навантажень [5].

В кінцевому підсумку впровадження сучасного обладнання підвищує енергоефективність підприємства за рахунок зниження витрат на енергоносії до 30% (в залежності від об'єкта) [6, 7].

Для прикладу низьковольтні агрегати серії АнтикВАр виготовляються з силових конденсаторних модулів, конструкція яких забезпечує взаємозамінність ідентичних елементів блоку. Висока технологічність і універсальність конструкції дозволяє нам забезпечити швидке і якісне виготовлення виробу, що відповідає вашому замовленню за технічними, розмірними та іншими параметрами [8]. Можливість вибору практично будь-якого необхідного номіналу потужності спростить підбір установки під конкретну ділянку і мінімізує витрати часу на проект.

Блоки компенсації реактивної потужності збираються і комплектуються на майданчику виробника. Корпус агрегатів виконаний з листового металу і захищає внутрішні компоненти від впливу зовнішніх факторів. Якісне зовнішнє покриття забезпечує довговічність, стійкість до корозії та високий естетичний рівень виробу. Дверцята корпусу замкнені. Між дверима, корпусом і рамою є захисне заземлення. Ступінь захисту IP 41, IP 43, IP 54.

На дверцятах блоку компенсації реактивної потужності встановлюються амперметр, контролер та інші прилади для контролю і повного контролю роботи агрегату. Експлуатаційні написи до приладів робляться на табличках, відповідно до їх функціональним призначенням.



Низьковольтні блоки компенсації реактивної потужності виготовляються в навісному виконанні від 25 до 100 кВАр і в підлоговому виконанні від 100 до 650 кВАр. Установки з більш високими фільтрами гармонік виконані в підлоговому варіанті.

Формулювання мети статті. Провести техніко-економічний аналіз доцільності встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності в мережах АТ «Харківобленерго» для підвищення якості електропостачання.

Аналіз останніх досліджень. Забезпечення надійної ефективної роботи електричних мереж пов'язане з впровадженням комплексної автоматизації керування нормальними режимами роботи, що зумовлено безперервністю процесів виробництва, розподіл і споживання електроенергії [9-11], а також використанням альтернативних джерел енергії [12-14].

При виборі типу компенсуючого пристрою, а також його місця розташування необхідно керуватися кількома основоположними принципами:

- основне живлення компенсуючих пристроїв повинно забезпечуватися безпосередньо на електроприймачах, а також на електроприймачах, розташованих найбільш віддалено від основної підстанції;

- найбільш доцільно використовувати компенсуючі пристрої для електроприймачів з великою кількістю годин роботи на рік;

- вартість компенсуючих пристроїв різна для різних видів навантаження, якщо має місце змішане навантаження, доцільно розділити компенсуючі пристрої в залежності від типу;

Відповідно до вимог енергопостачальної організації необхідно забезпечити задану споживану реактивну потужність при максимальному активному навантаженні, а й підтримувати зазначене споживання при мінімальному активному навантаженні. З цієї вимоги визначається рівень регулювання [15, 16].

Якщо сумарна потужність навантаження випрямляча (перетворювачі частоти, випрямлячі і т.д.) становить більше 20% від сумарної потужності робочого навантаження для даної підстанції, необхідно застосовувати фільтрокомпенсуючі вузли. При виборі типу компенсуючого пристрою необхідно враховувати швидкість зміни навантаження, а також періодичність періодів зміни [17, 18]. Надійна робота компенсуючих пристроїв з електромагнітними пускачами забезпечується при середній частоті перемикання не частіше 1 разу на 10 хвилин.

При модернізації існуючих енергосистем враховують необхідність установки трансформатора струму в загальну схему навантаження або передбачають можливість використання існуючих



на об'єкті [19, 20]. При установці нового трансформатора струму можливе застосування не тільки послідовних трансформаторів з нерухомим сердечником, але і трансформаторів з розщепленим сердечником. Трансформатори струму з розщепленим сердечником спрощують монтаж і монтаж. Вимоги до трансформатора струму повинні бути відображені в наказі.

При установці компенсуючих пристроїв, підключених до силового трансформатора, можна передбачити нерегульований каскад для компенсації реактивного струму намагніченості трансформатора [21, 22].

Сучасні конденсаторні установки компенсації реактивної потужності забезпечують підвищення і підтримку на заданому рівні значення коефіцієнта потужності в електричних розподільних трифазних мережах промислових підприємств та інших об'єктів і дозволяють:

- знизити споживаний струм на 30-50%;
- зменшити навантаження елементів розподільної мережі, продовжуючи термін їх служби;
- збільшити пропускну здатність розподільчої мережі і її надійність;
- знизити теплові втрати струму;
- знизити вплив вищих гармонік;
- знизити несиметрію фаз, придушити мережеві перешкоди;
- мінімізувати оплату за реактивну енергію.

Кожна високовольтна конденсаторна установка складається з:

- ввідної комірки;
- конденсаторних комірок з мідною ошиновкою, кількість якої визначає потужність установки;
- комірки можуть бути регульованими або фіксованими в залежності від характеру навантаження в мережі;
- конденсаторних батарей (високовольтних конденсаторів) різних ємностей;
- приладів автоматики, контролю і сигналізації.

Установка пристроїв компенсації реактивної потужності (ПКРП) на 6 – 10 кВ може бути здійснена комплектно всередині спеціального утепленого контейнера, який гарантує надійну роботу пристрою під відкритим небом при температурах до -60°C , а також забезпечує найбільш зручне обслуговування в таких кліматичних умовах [23].

Основні типи установок ПКРП 6 – 10 кВ:

1. Нерегульовані. Складаються тільки з фіксованих ступенів. Принцип дії: включення і відключення роз'єднувача проводиться в ручному режимі (при відсутності навантажувального струму).

2. Регульовані. Складаються тільки з регульованих ступенів. Принцип дії: комутація здійснюється автоматично, включенням і



відключенням ступенів. При цьому потужність і момент включення автоматично визначаються електронним блоком. Регулюючи, підвищуючи значення коефіцієнта $\cos\varphi$, високовольтні конденсаторні установки автоматично компенсують реактивну потужність навантаження в електричних мережах трифазного змінного струму напругою 6–10 кВ.

3. Напівавтоматичні. Для того, щоб здешевити установки компенсації реактивної потужності ПКРП 10 кВ і 6 кВ, зберігши при цьому високий рівень їх якості, розроблені напівавтоматичні компенсатори реактивної потужності – гібрид неавтоматичних і автоматичних установок ПКРП. У їх складі є як регульовані ступені, так і фіксовані. Такі пристрої набули широкого поширення з огляду на те, що практично завжди деяка частина навантаження в високовольтній мережі присутня постійно, в цілодобовому режимі. Для цієї "фіксованою" частини навантаження і підбираються відповідні ємності конденсаторних батарей, що розміщуються в нерегульованих комірках конденсаторних установок. Такі щаблі в 2–3 рази дешевше в порівнянні з автоматичними ступенями аналогічної потужності, що в свою чергу сприятливо позначається на вартості пристрою компенсації реактивної потужності ПКРП в цілому.

4. Фільтрові. Будь-які перераховані вище високовольтні установки (нерегульовані, регульовані, напівавтоматичні) при необхідності виконуються із захисними дроселями від гармонійних спотворень.

Розглянемо приклад використання ПКРП у мережі АТ «Харківобленерго». Розглянемо електричні мережі 35 кВ «Балаклія – Місто – Гусарівка – Чепіль – Петрівська – Ставкова Балка – Язикове», що розташовані на південному сході Харківської області і знаходиться в зоні дії електричних мереж 35–150 кВ АК «Харківобленерго».

Аналіз результату електричного розрахунку зимового максимуму навантаження показує, що:

- перетоки потужності на головних ділянках мережі 35 кВ складають: «Балаклія» – Місто» – $3,9+j1,5 / 66,3$ А; «Язикове» – Ставкова Балка» – $1,4+j0,4 / 22,9$ А;

- на ПС 110 кВ «Балаклія» завантаження силових трансформаторів 110/35/10 кВ потужністю 40 МВА кожний становить Т1 – 8,8 МВА, Т2 – 8,2 МВА;

- на ПС 110 кВ «Язикове» завантаження силового трансформатору Т1 110/35/10 кВ потужністю 25 МВА становить 2,2 МВА, силовий трансформатор Т2 – вимкнено;

- сумарне навантаження підстанцій 35 кВ транзиту «Балаклія – Місто – Гусарівка – Чепіль – Петрівська – Ставкова Балка – Язикове» складає 5,3 МВт;



– рівні напруги в мережі 35 кВ знаходяться в межах 35,7 – 37,2 кВ, в мережі 110 кВ – 116 – 118 кВ.

Аналіз результату електричного розрахунку літнього максимуму навантаження показує, що:

– перетоки потужності на головних ділянках мережі 35 кВ складають: «Балаклія» – Місто» – $2,7+j1,0$ / 46,9 А; «Язикове» – Ставкова Балка» – $0,9+j0,2$ / 14,4 А;

– на ПС 110 кВ «Балаклія» завантаження силових трансформаторів 110/35/10 кВ потужністю 40 МВА кожний становить Т1 – 6,1 МВА, Т2 – 5,6 МВА;

– на ПС 110 кВ «Язикове» завантаження силового трансформатору Т2 110/35/10 кВ потужністю 25 МВА становить 1,7 МВА, силовий трансформатор Т1 – вимкнено;

– сумарне навантаження підстанцій 35 кВ транзиту «Балаклія – Місто – Гусарівка – Чепіль – Петрівська – Ставкова Балка – Язикове» складає 3,6 МВт;

– рівні напруги в мережі 35 кВ знаходяться в межах 35,7 – 37,2 кВ, в мережі 110 кВ – 116 – 118 кВ.

Згідно даних режимів зимового та літнього максимального навантаження визначені $\cos\varphi$ та $\operatorname{tg}\varphi$ на шинах 10 кВ підстанцій транзиту 35 кВ «Балаклія – Місто – Гусарівка – Чепіль – Петрівська – Ставкова Балка – Язикове» (табл. 1).

Таблиця 1

Дані режимів зимового та літнього максимального навантаження

№ п/п	Найменування	S, МВА	P, МВт	Q, МВАр	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
	Зима. Максимум					
1	ПС 35 кВ «Місто»	2,06	1,9	0,8	0,92	0,42
2	ПС 35 кВ «Гусарівка»	0,63	0,6	0,2	0,95	0,33
3	ПС 35 кВ «Чепіль»	0,45	0,4	0,2	0,89	0,5
4	ПС 35 кВ «Протопоповка»	0,32	0,3	0,1	0,95	0,33
5	ПС 35 кВ «Петрівська»	0,76	0,7	0,3	0,92	0,43
6	ПС 35 кВ «Ставкова Балка»	0,32	0,3	0,1	0,95	0,33
7	ПС 35 кВ «Степок»	0,45	0,4	0,2	0,89	0,5
8	ПС 35 кВ «Федорівка»	0,76	0,7	0,3	0,92	0,43
	Літо. Максимум					
5	ПС 35 кВ «Місто»	1,08	1,0	0,4	0,93	0,4
6	ПС 35 кВ «Гусарівка»	0,54	0,5	0,2	0,93	0,4
7	ПС 35 кВ «Чепіль»	0,45	0,4	0,2	0,89	0,5
8	ПС 35 кВ «Протопоповка»	0,22	0,2	0,1	0,89	0,5
9	ПС 35 кВ «Петрівська»	0,63	0,6	0,2	0,95	0,33
10	ПС 35 кВ «Ставкова Балка»	0,22	0,2	0,1	0,89	0,5
11	ПС 35 кВ «Степок»	0,13	0,12	0,06	0,89	0,5
12	ПС 35 кВ «Федорівка»	0,63	0,6	0,2	0,95	0,33

Дефіцит реактивної потужності в мережі 35 кВ зазначеного транзиту становить 3 МВАр.

Для виявлення «вузьких» місць транзиту 35 кВ «Балаклія – Місто – Гусарівка – Чепіль – Петрівська – Ставкова Балка – Язикове» в роботу необхідно розглянути ремонтні (аварійні) схеми мережі на розрахунковий 2024 рік та подальшу 5-ти річну перспективу – 2029 рік. На базі цих розрахунків буде прийнято рішення про доцільність встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності в зазначеній мережі 35 кВ [24, 25].

Встановлення ПКРП 10 кВ на ПС 35 кВ «Місто» дозволяє підтримувати в ремонтному (аварійному) режимі рівні напруги в мережі 35 кВ в межах допустимих при застосуванні РПН силового трансформатору 110/35/10 кВ ПС 110 кВ «Язикове» на менших ступенях.

На рис. 1 наведено графік падіння напруги в мережі 35 кВ транзиту «Язикове – Ставкова Балка – Петрівська – Чепіль – Гусарівка – Місто» в ремонтній (аварійній) схемі при відключенні ПЛ 35 кВ «Балаклія – Місто» з живленням мережі 35 кВ від ПС 110 кВ «Язикове».

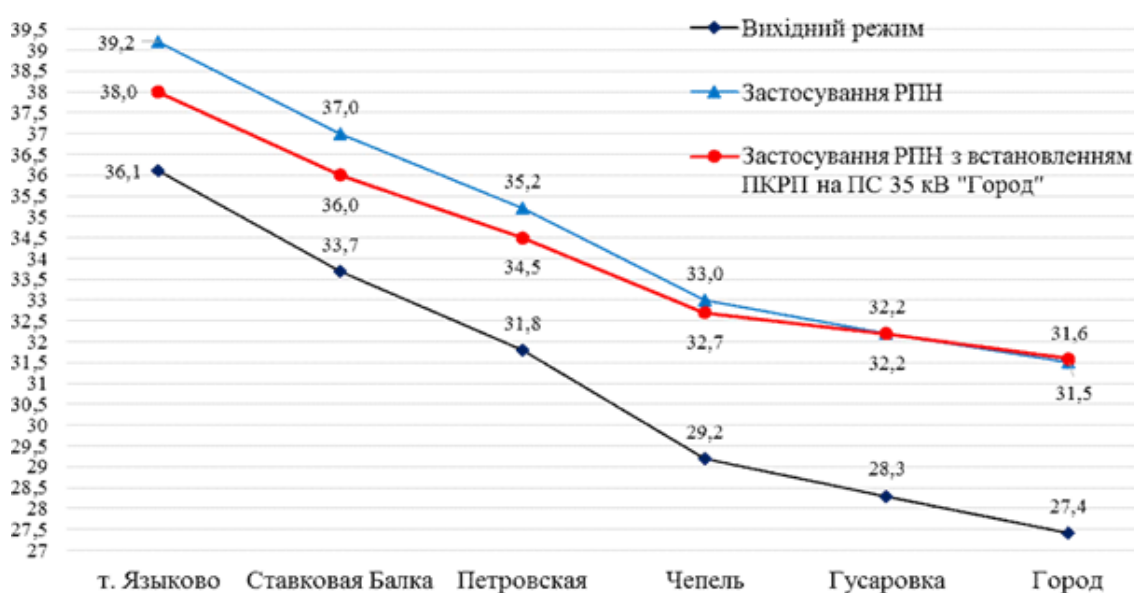


Рис. 1. Графік падіння напруги в мережі 35 кВ

Як видно з графіку (рис. 1) падіння напруги в мережі транзиту 35 кВ встановлення ПКРП на шинах 10 кВ ПС 35 кВ «Місто» зменшує рівень падіння напруги на кінцевій підстанції до 16,8%.

В таблиці 2 наведені укрупнені показники вартості реалізації варіанту з підвищення рівнів напруги в мережах 35 кВ транзиту «Балаклія – Місто – Гусарівка – Чепіль – Петрівська – Ставкова Балка – Язикове».



Таблиця 2

Укрупнені показники вартості встановлення ПКРП на напрузі 10 кВ на ПС 35 кВ «Місто»

Найменування	Вартість одиниці, тис. грн.	Кількість одиниць, од., км	Вартість всього, тис. грн.
ПКРП – 10 кВ (з автоматикою)	500	2	1000,0
Камера з вимикачем 10 кВ	404,4	2	808,8
<i>Всього за варіантом</i>			<i>1808,8</i>

Висновки. Найбільшим навантаженням мережі 35 кВ характеризується ПС 35 кВ «Місто», тому рекомендовано на перспективний період при умові росту навантаження на цій підстанції встановлювати на шинах 10 кВ пристрої компенсації реактивної потужності (ПКРП).

Укрупнені показники вартості в реалізацію варіанту з поліпшення якості переданої електроенергії та зменшенню втрат активної потужності – встановлення ПКРП 10 кВ на ПС 35 кВ «Місто» становить порядку 2 млн. грн., та в залежності від режиму мережі та навантажень період окупності становитиме не більше 6 місяців з подальшою економією за рахунок зменшення втрат, зниження струмів навантаження та компенсацією реактивної потужності.

Список використаних джерел.

1. Al Issa H. A., Pazyi V., Miroshnyk O., Moroz O., Savchenko O. Halko S. Determination of a Line with a Single-Phase Short Circuit in the Distribution Network Using the Method of Signal Input. *IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, 2023. P. 1–6. <https://10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312925>.
2. Pazyi V., Miroshnyk O., Shchur T., Halko S., Nikolov M., Idzikowski A. Development of Simulation Model of Single-Phase Circuit Lock in the DigSILENT POWERFACTORY Program. *System Safety: Human - Technical Facility – Environment*. 2023. Vol. 5(1). P. 350–358.
3. Miroshnyk O., Moroz O., Shchur T., Chepizhnyi A., Qawaqzeh M., Kocira S. Investigation of Smart Grid Operation Modes with Electrical Energy Storage System. *Energies*. 2023. Vol. 16(6). P. 2638. <https://doi.org/10.3390/en16062638>.
4. Xiong C., Su Y., Zhang D., Chen L., Zhang H., Li Q. A New Distributed Robust Power Control for Two-Layer Cooperative



Communication Networks in Smart Grids with Reduced Utility Costs. *Energies*. 2023. Vol. 16(6). P. 2911. <https://doi.org/10.3390/en16062911>.

5. Chen Y., Zhao X., Yang Y., Shi Y. Online Diagnosis of Inter-turn Short Circuit for Dual-Redundancy Permanent Magnet Synchronous Motor Based on Reactive Power Difference. *Energies*. 2019. Vol. 12. P. 510. <https://doi.org/10.3390/en12030510>.

6. Bujal N. R., Hasan A. E., Sulaiman M. Analysis of the voltage stability problems in power system. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Engineering, Technology and Technopreneurship*, Kuala Lumpur, Malaysia, 27–29 August 2014. 2014. P. 278–283.

7. Nannestad M. Ø., Zhang Z., Jia J., Jensen E. K., Randewijk P. J. Mapping and Analysis of the Reactive Power Balance in the Danish Transmission Network. *Energies*. 2019. Vol. 12. Vol. 419. <https://doi.org/10.3390/en12030419>.

8. Guimaraes P., Fernandez U., Ocariz T., Mohn F. W., de Souza A. C. Z. QV and PV curves as a planning tool of analysis. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Electrical Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*, Weihai, China, 6–9 July 2011.

9. 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. *Appl. Sci.* 2022. Vol. 2. P. 1418. <https://doi.org/10.3390/app12031418>.

10. 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>.

11. Adabayo I. G., Jimoh A. A., Yusuff A. A. Identification of suitable nodes for the placement of reactive power compensators. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, Birmingham, UK, 20–23 November 2016.

12. 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>.

13. 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>.

14. 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>.

15. M. Qawaqzeh, H. Al_Issa, R. Buinyi, V. Bezruchko, I. Dikhtyaruk, O. Miroshnyk, V. Nitsenko, "The assess reduction of the expected energy not-supplied to consumers in medium voltage distribution systems after installing a sectionalizer in optimal place, " *Sustain. Energy, Grids and Networks*. 2023. Vol. 34. P. 101035. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2023.101035>.

16. Mahmood F. B., Ahmad S., Mukit G., Shuvo M. T., Razwan S., Maruf M. N., Albatsh F. M. Weakest location exploration in IEEE-14 bus system for voltage stability improvement using STATCOM, synchronous condenser and static capacitor. *In Proceedings of the 2017 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, Cox's Bazar, Bangladesh, 16–18 February 2017. 2017. P. 623–629.

17. Moger T., Dhadbanjan T. A novel index for identification of weak nodes for reactive compensation to improve voltage stability. *IET Gener. Transm. Distrib.* 2015. Vol. 9. P. 1826–1834.

18. Zhao J., Ju L., Luo W., Zhao J. Reactive power optimization considering dynamic reactive power reserves. *In Proceedings of the 2014 International Conference on Power System Technology*, Chengdu, China, 20–22 October 2014. 2014. P. 97–102

19. Ting D., Xun S. Network Static Voltage Stability Analysis Based on Sensitivity Analysis. *In Proceedings of the 2011 7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, Wuhan, China, 23–25 September 2011. 2011. P. 1–5.

20. Nandini Raj Sinha, Biplab Bhattacharyya "Reactive Power Minimization of Transmission Line by Optimally using var Sources". *International Conference on Emerging Systems and Intelligent Computing (ESIC)*. 2024. P. 697–702.

21. Zhiwen Hou, Yize Zhang, "Research on Grid Reactive Power and Voltage Partition Control Method Based on Regional Boundary Decoupling". *International Conference on Electronics and Devices, Computational Science (ICEDCS)*. 2022. P. 464–468.

22. Tabor S., Lezhenkin A., Halko S., Miroshnik A., Kovalyshyn S., Vershkov A., Hryhorenko O. Mathematical simulation of separating work tool technological process. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 132. e01025. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913201025>.



23. Nitin Kumar Saxena, Saad Mekhilef, Ashwani Kumar, David Wenzhong Gao. Marginal Cost-Based Reactive Power Reinforcement Using Dynamic and Static Compensators. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*. 2022. Vol.10, no.4, P. 4001–4013,
24. Yinhong Lin, Hui Liu, Huaichang Ge, Bin Wang, Licheng Sha, Qinglai Guo. Dimension Reduction Based Short-Term Voltage Security Preventive Control. *IEEE 4th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*. 2020. P. 828–833.
25. Hugang Xiong, Haozhong Cheng and Jingyou Xv. Optimal Dispatch of Reactive Power Considering Increase of System Reactive Power Reserve. *Power System Technology*. 2006. Vol. 2006, no. 23. P. 36–40.

Стаття надійшла до редакції 26.07.2024 р.

O. Miroshnyk¹, O. Moroz¹, V. Pazyi¹, D. Myrgorod¹, R. Hanus², S. Halko³

¹State Biotechnological University,

²National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",

³Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE NETWORKS OF JSC "KHARKIVOBLENERGO" THROUGH THE USE OF REACTIVE POWER COMPENSATION INSTALLATIONS

Summary

The article discusses the issue of reactive power compensation in the networks of JSC "Kharkivoblenergo". Functional capabilities of reactive power compensation devices are described in detail. The data of the winter and summer maximum load regimes in the networks of JSC "Kharkivoblenergo" were analyzed. A graph of the voltage drop in the 35 kV network is plotted and the reactive power deficit is determined. In order to improve the quality of electricity supply, a technical and economic analysis of the feasibility of installing reactive power compensation devices in the networks of JSC "Kharkivoblenergo" was performed.

Installation of 6 – 10 kV reactive power compensation devices can be carried out as a set inside a special insulated container, which guarantees reliable operation of the device in the open air at temperatures down to -60°C, and also provides the most convenient service in such climatic conditions.

Installation of 10 kV reactive power compensation devices at the 35 kV SS "Misto" makes it possible to maintain voltage levels in the 35 kV network in the repair (emergency) mode within the permissible limits when using the 110/35/10 kV power tap-changer of the 110 kV "Yazykove" substation at lower stages.

The highest load of the 35 kV network is characterized by the 35 kV SS "Misto", therefore, it is recommended to install reactive power compensation devices on 10 kV buses for the prospective period, subject to an increase in the load at this substation. Enlarged cost indicators for the implementation of the option to improve the quality of transmitted electricity and reduce active power losses - the installation of 10 kV reactive power compensation devices at the 35 kV Misto substation is about 2 million grn.



Depending on the network mode and loads, the payback period will be no more than 6 months with further savings due to loss reduction, load current reduction and reactive power compensation.

Key words: electrical networks, reactive power, voltage drop, reactive power compensation device.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-24

УДК 621.313.33

І. О. Попова, к.т.н., доц.,

ORCID: 0000-0001-5429-8269

С. В. Чаусов, к.т.н., доц.,

ORCID: 0000-0003-3811-9077

О. Ю. Вовк, доц.

ORCID: 0000-0003-0154-6972

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного**e-mail: iryna.popova@tsatu.edu.ua, тел.: +380983765519*

ОБГРУНТУВАННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОГО РЕЖИМУ ТРИФАЗНОГО СИМЕТРИЧНОГО ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ ОБРИВІ ОДНІЄЇ ФАЗИ

Анотація. Розроблено метод і алгоритм розрахунку усталеного несиметричного режиму роботи при глибокій несиметрії напруг трифазного симетричного динамічного навантаження, як електромеханічного перетворювача, яким є трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Наведено методику визначення фазних струмів та фазних напруг та швидкості зносу фазної ізоляції трифазного симетричного динамічного навантаження, який використано як об'єктивний параметр, що характеризує роботу асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором при несиметрії напруги (обриві однієї фази) в усталеному режимі, оскільки експлуатаційну надійність СДН в значній мірі визначає стан фазної ізоляції СДН, яка в процесі експлуатації СДН зазнає експлуатаційних впливів режимного та кліматичного характеру, тому що аварійність СДН, що пов'язана з роботою при обриві фази, досягає 45 % від загальної кількості тих, що виходять з ладу. Для аналізу явищ в асинхронному двигуні при несиметричних режимах використано метод симетричних складових, символічний метод аналізу електричних кіл і методи дослідження лінійних електричних кіл. При визначенні залежності фазних струмів досліджуваної СДН при обриві фази і з'єднанні нейтралей джерела живлення і обмоток статора проаналізовано електричне коло, яке складається з несиметричного джерела трифазної електрорушійної сили, несиметричної лінії електропередачі (ЛЕП), нейтральним проводом Z_N та симетричними опорами фаз трифазного СДН. Обґрунтовано можливість полегшення режиму роботи аварійного двигуна технологічної лінії при з'єднанні нейтралей джерела живлення і обмоток статора двигуна на час завершення технологічного процесу.

Ключові слова: трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, глибока несиметрія напруг, фазний струм, симетричні складові.

Постановка проблеми. Трифазне симетричне динамічне навантаження (СДН) – це електромеханічний перетворювач, в якому спостерігається утворення обертового магнітного поля за допомогою трифазної системи напруг (струмів) в фазах статора та створення обертового моменту на валу ротора, яким є трифазний асинхронний



двигун з короткозамкненим ротором (АД). Строк служби АД з короткозамкненим ротором 15-20 років без капітального ремонту за умови їхньої належної експлуатації [1-3].

Експлуатаційна надійність СДН в значній мірі визначається надійністю його обмоток, яка, в свою чергу, залежить від стану ізоляції. Не зважаючи на те, що при проектуванні розрахунок виконується для роботи в симетричному режимі, на практиці їхньої експлуатації доволі часто виникають несиметричні режими. Відмітимо, що трифазна система вважається симетричною, коли напруги і струми кожної з фаз мають однакову амплітуду, а зсув амплітуд по фазі дорівнює 120° . Якщо не виконується хоча б одна з умов, то система вважається несиметричною. Електростанції звичайно не є джерелом дисбалансу, а напруги синхронних генераторів, за звичай, симетричні, однак у мережах низької напруги, в наслідок присутності різних однофазних споживачів, забезпечити симетричність та синусоїдність складно [4-7].

В процесі експлуатації СДН зазнають експлуатаційні впливи режимного та кліматичного характеру. До експлуатаційних впливів режимного характеру слід віднести: перевантаження збоку робочої машини (РМ); зниження, підвищення та несиметрії напруги мережі; неповнофазний режим (обрив однієї фази статора або глибока несиметрія); пуски і «перекидання» АД під напругою тощо. Аварійність СДН, яка пов'язана з роботою при обриві фази, досягає 45 % від загальної кількості тих, що виходять з ладу. Причиною аварійності асинхронних двигунів при цьому режимі є значне збільшення швидкості теплового зносу їх ізоляції, що обумовлено підвищенням фазних струмів [2, 6]. Під втратою фази розуміють однофазний режим роботи СДН в результаті відключення живлення по одному з проводів трифазної системи. Причинами втрати фази СДН є обрив одного з проводів лінії електропередачі, перегорання одного з запобіжників, порушення контакту в одній з фаз. Залежно від обставин, при яких сталася втрата фази, можуть бути різні режими роботи АД та наслідки, супутні цим режимам. При цьому важливо взяти до уваги: схему з'єднання обмоток статора АД (зірка чи трикутник), робочий стан трифазного динамічного навантаження в момент втрати фази (втрата фази до або після включення АД, під час роботи під навантаженням) ступінь його завантаження і механічну характеристику робочої машини, кількість електродвигунів, працюючих при втраті фази та їхній взаємний вплив [8-11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У трифазному режимі по кожній з фаз СДН тече фазний струм, які зсунуті в часі на одну третину періоду (120°). При втраті фази (напруги) на затискачах, дві обмотки динамічного навантаження мають однаковий струм, у третій

фазі струм відсутній. Незважаючи на те, що кінці обмоток приєднані до двох лінійних проводів трифазної системи (включені на лінійну напругу), струми в обох обмотках співпадають в часі (однофазний режим). Магнітне поле, створене однофазним струмом, на відміну від обертового поля, є пульсуюче. Пульсуюче поле можна представити як поле, що складається з двох обертових назустріч один одному рівних за величиною полів. Кожне поле взаємодіє з обмоткою ротора і утворює обертальний момент. Їх сумарна дія створює обертальний момент на валу двигуна [11].

Основою більшості методів дослідження процесів в СДН є класичними і адаптованими до розв'язання конкретних задач [2, 6, 9] Особливий інтерес при експлуатації асинхронних двигунів викликає робота їх при обриві однієї фази обмотки статора, в яких в математичній моделі двигуна враховується насичення магнітопроводу і витіснення струму в стрижнях коротко замкнутого ротору, а для врахування насичення використовують враховані на основі геометричних даних АД характеристики намагнічування основним магнітним потоком та шляхи потоків розсіювання обмоток статора та ротора. Недоліком методу є необхідність враховувати конфігурацію шляхів потоків розсіювання обмоток конкретного АД, індуктивних параметрів в наслідок насичення та зміни активних опорів роторних контурів [2, 6]. В інших роботах розглядаються математичні моделі несиметричних режимів СДН, розроблених з позиції використання теорії електромагнітного поля, рівнянь Максвелла електромагнітного поля, однак ці методи доволі складні, є доволі специфічними у використанні, тому їх використовують для перевірки спрощених методик [13, 14].

Відомо багато чисельні методи адаптації схем заміщення АД до розрахунку різних режимів, але вони потребують експериментальної перевірки на достовірність отриманих результатів в кожному конкретному випадку. Інші математичні моделі потребують значних розрахункових ресурсів і, крім того, час розрахунку з їх використанням значний [9, 13, 15].

Існуючі методи та пристрої діагностування режимів роботи АД дозволяють контролювати, діагностувати, сигналізувати та відключати СДН при глибокій несиметрії напруг мережі відключають їх під час виконання технологічного процесу при досягненні граничного значення контрольованого параметру, не передбачаючи покращення умов їхньої роботи, що призводить до збільшення експлуатаційних витрат на ліквідацію наслідків аварійного відключення [16-19]. Але за даними [19] економічні збитки внаслідок аварійних відключень трифазних навантажень через обрив проводу

живлення в залежності від їх потужностей коливаються у середньому від 3 000 до 30 000 доларів на один обрив.

Методи дослідження режимів роботи асинхронних двигунів, як правило, не враховують залежності їх від несиметрії напруги, завантаження робочих машин та особливостей їх механічних характеристик. За критерії оцінки режимів роботи асинхронних двигунів беруться, як правило, сила струму та температура обмотки, не використовується такий показник, як швидкість витрати ресурсу ізоляції обмоток двигунів [20-23].

Формулювання мети статті (постанова завдання). дослідити режим роботи асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором при обриві однієї фази статора і з'єднанні нейтралей джерела живлення і обмоток статора і обґрунтувати полегшення режиму роботи та ресурсозбереження аварійних двигунів технологічних ліній, на час завершення технологічного процесу.

Основна частина. Для аналізу явищ в асинхронному двигуні при несиметричних режимах використано метод симетричних складових, символічний метод аналізу електричних кіл і методи дослідження лінійних електричних кіл [24, 25]. При визначенні залежності фазних струмів досліджуваного асинхронного двигуна при обриві фази і з'єднанні нейтралей джерела живлення і обмоток статора проаналізовано електричне коло (рис.1), яке складається з джерела трифазної електрорушійної сили, лінії електропередачі (ЛЕП) з повними опорами $Z_{лA}$, $Z_{лB}$, $Z_{лC}$, комплексом повного опору нейтрального проводу Z_N та комплексами повних опорів фаз трифазного СДН Z_a , Z_b , Z_c .

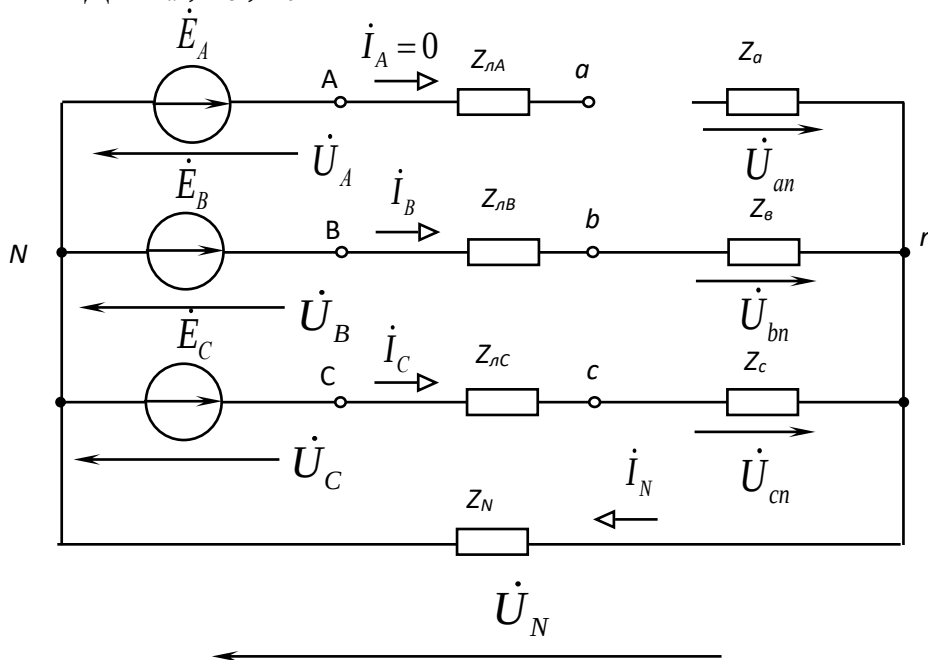


Рис. 1. Розрахункова схема чотирипровідної мережі при глибокій несиметрії фази А.

При обриві фази А двигуна і з'єднанні нульових точок джерела живлення і обмотки статора в обмотках СДН (рис. 2), одночасно із симетричними складовими струмів прямої і зворотної послідовностей є складова струму нульової послідовності.

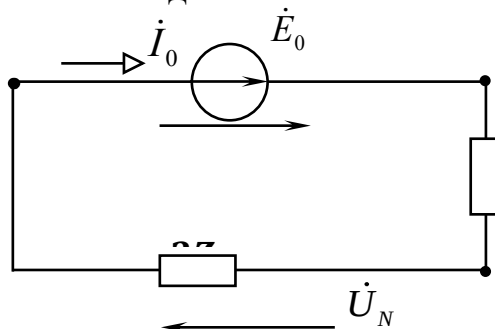


Рис. 2. Розрахункова схема кола нульової послідовності при з'єднанні нейтралей джерела живлення та СДН

Це викликає появу пульсуючого магнітного поля. Враховуючи взаємну індуктивність обмоток статора комплекс повного опору нульової послідовності СДН визначено за таким рівнянням

$$Z_0 = r_1' + k(jx_1' + jx_2''), \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, що враховує взаємний індуктивний зв'язок обмоток статора СДН.

r_1' , jx_1' , jx_2'' – параметри Г-образної схеми заміщення СДН: r_1' – приведений активний опір обмотки статора СДН, Ом; jx_1' , jx_2'' – приведені реактивні індуктивні опори обмотки статора та ротора СДН, Ом [25].

Ковзання при даному режимі роботи, використавши метод ітерацій, знайдено за рівнянням

$$s = \frac{s_k}{1,6 \left[\frac{m_k}{1,6(m_0 + (\kappa_z - m_0) \left(\frac{1-s}{1-s_n} \right)^x} + \sqrt{\left(\frac{m_k}{1,6(m_0 + (\kappa_z - m_0) \left(\frac{1-s}{1-s_n} \right)^x} \right)^2 - 1} \right]}. \quad (2)$$

$$\text{де } m_0 = \frac{M_0}{M_n}; \quad m_k = \frac{M_k}{M_n}; \quad \kappa_z = \frac{M_c}{M_{c,n}};$$

M_0 – момент опору тертя частин робочої машини, Н·м;

$M_{c,n}$ – номінальний момент опору робочої машини, Н·м;

M_c – момент опору робочої машини для ковзання s , Н·м;



s_H – номінальне ковзання;

k_3 – коефіцієнт завантаження РМ;

x – коефіцієнт, що характеризує механічну характеристику РМ.

Для визначення симетричних складових фазних струмів складено систему рівнянь

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_0 &= Z_1 \dot{I}_1 + \dot{U}_1; \\ 0 &= Z_2 \dot{I}_2 + \dot{U}_2; \\ \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0 &= 0; \\ a^2 \dot{U}_1 + a \dot{U}_2 + \dot{U}_0 &= Z_{\text{лВ}} (a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 + \dot{I}_0); \\ a \dot{U}_1 + a^2 \dot{U}_2 + \dot{U}_0 &= Z_{\text{лС}} (a \dot{I}_1 + a^2 \dot{I}_2 + \dot{I}_0); \\ 0 &= (Z_0 + 3Z_N) \dot{I}_0 + \dot{U}_0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Вирішив систему рівнянь (3) відносно $\dot{I}_1$, $\dot{I}_2$, $\dot{I}_0$ маємо

$$\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}_2}{Z_2} - \frac{\dot{E}_1 - \dot{U}_1}{Z_1}; \quad (4)$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1 - \dot{U}_1}{Z_1}; \quad (5)$$

$$\dot{I}_2 = -\frac{\dot{U}_2}{Z_2}. \quad (6)$$

Комплекси фазних струмів $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$ і $\dot{I}_C$ за допомогою рівнянь (7):

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0 = 0; \\ \dot{I}_B &= a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 + \dot{I}_0; \\ \dot{I}_C &= a \dot{I}_1 + a^2 \dot{I}_2 + \dot{I}_0. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Струм у нейтральному проводі:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 3\dot{I}_0. \quad (8)$$

Швидкість зносу ізоляції залежить від технічних даних СДН: класу ізоляції обмоток, номінального перевищення температури обмоток статора τ_H , абсолютної номінальної температури ізоляції Θ_H , абсолютної сталої температури Θ_C , обумовленої режимом роботи СДН. Швидкість теплового зносу ізоляції СДН визначається [26].



$$\varepsilon = \varepsilon_n e^{B\left(\frac{1}{\Theta_n} - \frac{1}{\Theta_y}\right)}, \quad (9)$$

де ε_n – номінальна швидкість теплового зносу ізоляції СДН, бгод/год.;

B – параметр, що характеризує клас ізоляції СДН для різних ізоляційних матеріалів. Для класу ізоляції В СДН параметр $B=10200$.

Θ_n – абсолютна температура фазної обмотки СДН при симетричній напрузі, номінальному навантаженні на валу для даного класу ізоляції та номінальній температурі оточуючого середовища, К.

$\Theta_n = 403$ К.

Θ_y – усталена абсолютна температура ізоляції обмотки СДН, К.

На швидкість теплового зносу ізоляції обмотки СДН впливає температура оточуючого середовища $\vartheta_{\text{сеп}}$. Абсолютна усталена температура ізоляції обмотки СДН та усталене перевищення температури обмотки СДН

$$\Theta_y = \tau_y + \vartheta_{\text{сеп}} + 273. \quad (10)$$

$$\tau_y = \tau_n \frac{a + k_i^2}{a + 1 - \alpha \tau_n (k_i^2 - 1)}, \quad (11)$$

Усталене перевищення температури обмотки СДН залежить від технічних даних СДН (АД): опорів обмоток r_1' , r_1'' , x_1' , x_2'' , x_μ ; коефіцієнту втрат a ; матеріалу провідника, якому відповідає температурний коефіцієнт α , номінальне ковзання S_n ; критичне ковзання S_k ; режим завантаження двигуна:

$$\tau_y = \tau_n \frac{a + k_i^2}{a + 1 - \alpha \tau_n (k_i^2 - 1)}, \quad (12)$$

де k_i – кратність струму в фазі СДН по відношенню до номінального значення, в.о.;

τ_n – номінальне перевищення температури обмотки СДН, що визначається класом ізоляції СДН, °С;

a – коефіцієнт втрат СДН, в.о.

Кратність струму в обмотці СДН дорівнює:

$$k_i = \frac{I}{I_n}, \quad (13)$$

де I – сила струму в фазі СДН, А;

I_n – сила номінального струму СДН, А.

Коефіцієнт втрат a СДН визначимо:

$$a = \frac{\Delta P_{\text{const.н.}}}{\Delta P_{\text{var.н.}}}. \quad (14)$$

Змінні втрати при номінальному режимі роботи СДН, згідно параметрів Г-образної схеми заміщення СДН:

$$\Delta P_{\text{var.н}} = 3(r_1' + r_2'')(I_n')^2; \quad (15)$$

$$(I_n')^2 = \frac{U_n^2}{(r_1' + \frac{r_2''}{s_n})^2 + (x_1' + x_2'')^2}. \quad (16)$$

Постійні втрати у магнітопроводі СДН при номінальному режимі роботи визначаємо за рівнянням

$$\Delta P_{\text{const.н}} = \Delta P_n - \Delta P_{\text{var.н}}, \quad (17)$$

де ΔP_n – номінальні втрати активної потужності у СДН, Вт.

$$\Delta P_n = P_{2н} \frac{1 - \eta_n}{\eta_n}, \quad (18)$$

де $P_{2н}$ – номінальна потужність на валу СДН, Вт;

η_n – номінальний коефіцієнт корисної дії СДН, в.о.

Результати аналітичних досліджень у вигляді графічних залежностей $I_\phi = f(k_U, k_3)$ і $\varepsilon = f(k_U, k_3)$ СДН (АД) 4А90L4УЗ серії 4А90L4УЗ при обриві однієї фази і з ізольованою нульовою точкою і при з'єднанні нейтралей обмотки статора і джерела живлення (де k_U – відношення лінійної напруги відносно номінального значення) приведені на рис.3.

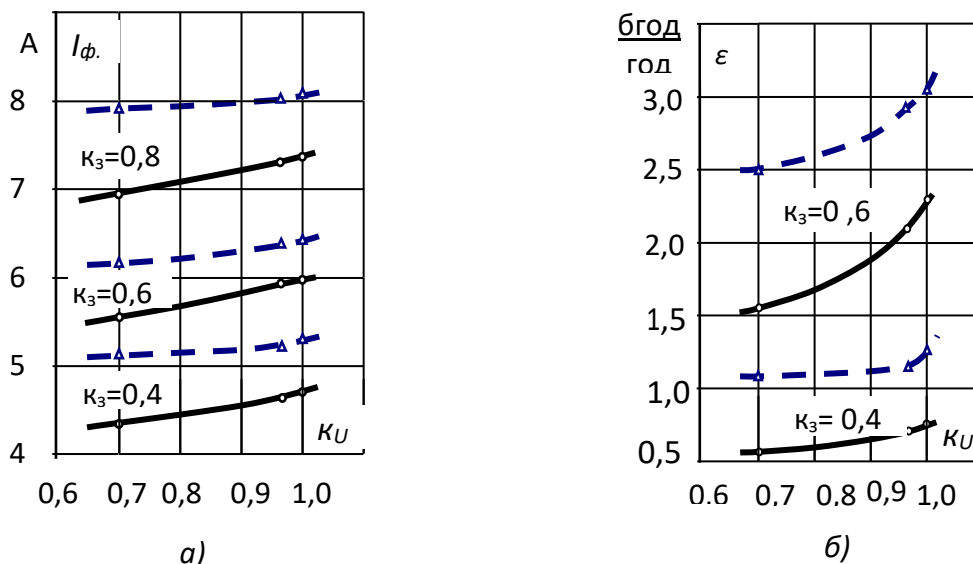


Рис. 3. Результати теоретичних досліджень режимів роботи СДН 4А90L4УЗ при глибокій несиметрії фазних струмів $I_\phi = f(k_U, k_3)$ (а) та швидкості зносу ізоляції $\varepsilon = f(k_U, k_3)$ (б) з ізольованою нульовою точкою (----) та з'єднаними нульовими точками обмотки статора і джерела живлення (—) при $x = 1$, $\vartheta_{cp} = 40^\circ \text{C}$.

Встановлено, що сила фазних струмів при глибокій несиметрії і з'єднанні нейтралей джерела живлення і обмотки статора СДН при коефіцієнтах завантаження $\kappa_z = 0,4 - 0,6$ зменшується в порівнянні зі струмами в аналогічному режимі роботи СДН з ізольованою нульовою точкою на 12 – 18 %. Відповідно, при глибокій несиметрії і з'єднанні нейтралей джерела живлення і обмотки статора СДН при коефіцієнтах завантаження $\kappa_z = 0,4 - 0,6$ знижується швидкість теплового зносу ізоляції обмотки статора на 40 – 60 %.

Висновки. Таким чином:

1. Режим роботи СДН при обриві однієї фази і об'єднанні нейтралей обмоток статора та джерела живлення в порівнянні з аналогічним режимом роботи з ізольованою нейтраллю є енергозберігаючим і більш сприятливим для СНД з точки зору витрати ресурсу ізоляції.

2. Об'єднання нейтралей обмотки статора СДН та джерела живлення може бути застосовано для полегшення режиму роботи групи СНД технологічної лінії, на час завершення технологічного процесу.

3. В режимі роботи СДН при обриві однієї фази і об'єднанні нейтралей обмоток статора СДН та джерела живлення при коефіцієнті завантаження робочої машини $\kappa_z = 0,8$ і більше швидкість зносу ізоляції обмоток СДН перевищує 8 бгод/год, тому об'єднання нульових точок СДН і джерела живлення при $\kappa_z = 0,8$ і більше не полегшує режиму роботи СДН при обриві однієї фази.

Список використаних джерел

1. Arad S., Pana L., Popescu F., Improving the energetic efficiency at electric drives compressors of EM Lonea. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management*. 2013. P. 153–160

2. Malyar V. S., Hamola O. Ye., Maday V. S., Vasylchyshyn I. I. Mathematical Simulation of Modes and Characteristics of Asynchronous Motors under Asymmetrical Power Supply. *Problemele energeticii regionale: Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine 1-1* (40) 2019. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3239128>.

3. Arad S., Pana L., Popescu F., Improving the energetic efficiency at electric drives compressors of EM Lonea. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management*. 2013. P. 153–160.

4. K. Ma, L. Fang and W. Kong. Review of distribution network phase unbalance: Scale, causes, consequences, solutions, and future research directions. *Journal of Power and Energy Systems*. 2020. Vol. 6(3). P. 479–488. <https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2019.03280>.

5. Kang Ma., Lurui Fang, Wangwei Kong . Review of Distribution Network Phase Unbalance: Scale, Causes, Consequences, Solutions, and Future Research Direction. TechRxiv. February 10, 2020. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.11401056.v2>.
6. Romanova V., Khromov S. Effect of asymmetry of supply voltages on asynchronous motor operation modes. *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 58. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185803013>.
7. Peter A. A., Okakwu I. K., Oluwasogo E. S., Alayande A. S., Airoboman A. E. Influence of Power Quality Problem on the Performance of an Induction Motor. *American Journal of Electrical Power and Energy Systems*. 2015. Vol.4, no. 4. P. 39–44.
8. Sandhu K. S., Chaudhary V. Steady State Modelling of Induction Motor Operating with Unbalanced Supply System. *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*. 2009. Vol.8, no. 2. P. 197–206.
9. Quisque E. C., Lopez-Fernandez X. M., Mendes A. M. S., Marques A. J., Palacios J. A. Experimental study of the effect of positive sequence voltage on the derating of induction motors under voltage unbalance. *Proceedings of the IEEE International Electric Machines and Drives Conference: IEEE Xplore Press*, Niagara Falls, Canada, May 2011, 15–18, 2011. P. 908–912.
10. Temiz I., Akuner C., Calik H. Analysis of Balanced Three-Phase Induction Motor Performance under Unbalanced Supply using Simulation and Experimental Results. *Electronics and Electrical Engineering*. 2011. No. 3(109). P. 31–45.
11. Milykh I. I., Polyakova N. V. Determination of electromagnetic parameters of electric machines based on numerical calculations of magnetic field. *Electrical engineering & electromechanics*. 2006. No. 2. P. 40–46. <https://doi.org/10.2098/2074-272X.2016.05>.
12. Faiz J., Ebrahimpour H, Pillay P. Influence of unbalanced voltage on efficiency of three phase squirrel cage induction motor and economic analysis. *IEEE Trans EC*. 2006. Vol.47. P. 289–302.
13. Sandhu K. S., Chaudhary V. Simulations of Three-Phase Induction Motor Operating with Voltage Unbalance. *Proc. of the 8th WSEAS International Conference on Electric Power Systems, High Voltages, Electric Machines (POWER '08)*. Venice, Italy, November 21–23. 2008. P. 273-279.
14. Benamiral N., Rachedi M.F., Bouras S., Kerfali S., Bouraiou A. Numerical simulation of three phase asynchronous motor to diagnose precisely the stator unbalanced voltage anomaly. *Rev. Sci. Technol*. 2017. No. 34. P.134–150.
15. Gaydenko Yu. A., Tsivinskiy S. S. Opređenje integralnyih karakteristik elektricheskikh mashin metodami teorii elektromagnitnogo polya Determination of integrated characteristics of electric machines by

methods of electromagnetic field theory. *Elektrotehnika i elektromehanika*. 2006. No. 1. P. 28–32 (in Russian).

15. G. Garg and A. Sinha. An improved method for protection of three phase induction motor using microcontroller. *International Conference on Power, Control and Embedded Systems (ICPCES)*, Allahabad, India. 2014. P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICPCES.2014.7062804>.

17. A. Dianov. A Novel Phase Loss Detection Method for Low-Cost Motor Drives. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 2022. Vol. 37(6). P. 6660–6668. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2022.3143822>.

18. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Дідур В. А. Вплив відхилення живлячої напруги на ресурс ізоляції асинхронних електродвигунів поточкових технологічних ліній. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 9, т. 1. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2019-1-25>.

19. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Стребков О. А., Волошина А. А. Енергозберігаючі режими роботи асинхронних електродвигунів при змінному завантаженні. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 142–150. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-3-142-150>.

20. Chaouf S., Sabo A., Popova I., Budko V. The Energy-Saving Control Criterion for Impact Crushing Machines. *Problems of the Regional Energetics*. 2023. Vol. 4(60). <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2023.4-60.12>.

21. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Попова І. О., Діордієв В. Т. Збереження роботоздатності трифазного статичного навантаження за неповнофазного живлення. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 1. С. 136–150. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-10>.

22. A. Jalilian and R. Roshanfekar. Analysis of Three-phase Induction Motor Performance under Different Voltage Unbalance Conditions Using Simulation and Experimental Results. *Electric Power Components and Systems*. 2009. Vol. 37, no. 3. P. 300–319.

23. Navarro-Espinosa A., Mancarella P. Probabilistic modeling and assessment of the impact of electric heat pumps on low voltage distribution networks. *Applied Energy*. 2014. Vol. 127. P. 249–266.

24. Попова І. О., Квітка С. О., Вовк О. Ю. Дослідження несиметричного режиму на роботу динамічного індуктивного навантаження. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2023. Вип. 23, т. 1. С. 179–187. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2023-23-1-179-187>.

25. Попова І. О., Попядухін В. С. Параметри контролю несиметричних режимів роботи асинхронних двигунів для розробки ефективного захисту. *Науковий вісник Таврійського державного*



агротехнологічного університету. 2019. Вип. 9, т. 1(41). <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2019-1-41>.

26. Попова І. О., Ковальов О. В. Визначення напруги зміщення нейтралі як діагностичного параметра режиму роботи асинхронного двигуна. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 11, т. 2(39). <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-2-39>.

Стаття надійшла до редакції 21.09.2024 р.

I. Popova, S. Chaurov, O. Vovk
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

JUSTIFICATION OF THE RESOURCE-SAVING MODE OF A THREE-PHASE SYMMETRIC DYNAMIC LOAD WITH A SINGLE PHASE BREAK

Summary

A method and algorithm for calculating a steady-state asymmetric mode of operation with deep voltage asymmetry of a three-phase symmetric dynamic load, as an electromechanical converter, which is a three-phase asynchronous motor with a short-circuited rotor, are developed. The method of determining the phase currents and phase voltages and the wear rate of the phase insulation of a three-phase symmetric dynamic load is presented, which is used as an objective parameter that characterizes the operation of an asynchronous motor with a short-circuited rotor under voltage Asymmetry (one phase break) in a steady state, since the operational reliability of the SDN largely determines the state of the phase insulation of the SDN, which during the operation of the SDN is subjected to operational influences of a regime and climatic nature, because the accident rate of the SDN, which is associated with the operation of the Phase break, reaches 45% of the total number of those that fail. The symmetric component method, the symbolic method of analyzing electrical circuits, and methods for studying linear electrical circuits are used to analyze phenomena in SDN under unbalanced modes. When determining the dependence of the phase currents of the studied SDN in case of phase break and connection of neutrals of the power source and stator windings, an electrical circuit consisting of an asymmetric source of three-phase electromotive force, an asymmetric power line, a neutral wire and symmetrical phase resistances of the three-phase SDN is analyzed and it is taken into account that when the Phase A of the motor is broken and the connection of the zero points of the power source and the stator winding in the SDN windings, simultaneously with the symmetrical components of the forward and reverse sequences are a component of the zero-sequence current that causes a pulsating magnetic field to appear. When determining the wear rate of the SDN insulation, it is taken into account that the wear rate of the insulation depends on the technical data of the SDN: the insulation class of the windings, the nominal excess temperature of the stator windings, the absolute nominal temperature of the insulation, the absolute constant temperature due to the operating mode of the SDN. The rate of thermal wear of the winding insulation is affected by the ambient temperature, the absolute steady-state insulation temperature of the SDN winding, and the steady-state excess of the SDN winding temperature. The



possibility of facilitating the operation mode of the emergency motor of the process line when connecting the neutrals of the power supply and the stator windings of the motor at the time of completion of the technological process is justified.

Key words: three-phase asynchronous motor with short-circuited rotor, deep voltage asymmetry, phase current, symmetrical components.



DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-25

УДК 620.96:634

О. В. Окушко, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-1894-5294

І. П. Радько, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-4235-3969

В. А. Наливайко, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-6297-9045

В. В. Васюк, к.т.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

e-mail: oaleks@ukr.net, тел.: +380674956618

СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ В РОСЛИННИЦТВІ УКРАЇНИ

Анотація В статті проведено аналіз стану питання розвитку аграрного виробництва України різної сільськогосподарської продукції, в т.ч. і в рослинництві, його суттєвого відставання від розвинених країн в напрямі забезпечення підвищення енерго- та ресурсоефективності технологічних процесів виробництва, зберігання та переробки продукції. Розкрито необхідність реалізації заміни традиційних технологій, які досягли своїх критичних значень і фактично вичерпали свої можливості.

Встановлено необхідність створення нових високоефективних технологій та обладнання, які спрямовані на біологічну стимуляцію життєдіяльності сільськогосподарської продукції. Одним із таких методів може бути застосування методів електротехнологій, які можуть дати суттєвий економічний зиск від їх впровадження у виробництво.

Ключові слова: виробництво, енергозберігаючі технології, електромагнітна енергія, виробництво, енергоефективність, технологічний процес, вплив.

Постановка проблеми. Перетворення аграрного виробництва у високоефективну галузь, яка б забезпечувала продовольчу безпеку та сировинну базу для розвитку промисловості є один з пріоритетних напрямів розвитку України. Однак нинішній стан аграрного сектору України значно відстає від провідних світових тенденцій у сфері агровиробництва, зокрема у впровадженні енергозберігаючих технологій. Це відставання супроводжується постійним зростанням як енергетичних, так і матеріальних витрат на виробництво сільськогосподарської продукції.

На сучасному етапі розвитку агропромислового комплексу склалася ситуація, коли традиційні технології обробки сільськогосподарської продукції, зокрема в рослинництві, вичерпали свої можливості. Вони досягли критичних меж, що не дозволяє забезпечити подальше підвищення енерго- та ресурсоефективності

технологічних процесів, включаючи виробництво, зберігання та переробку продукції. Для вирішення цієї проблеми необхідне впровадження сучасних наукоємних технологій, спрямованих на підвищення ефективності використання енергії та ресурсів на всіх етапах аграрного виробництва, зберігання та переробки [1, 2].

Загальна картина в аграрному виробництві, особливо в рослинництві та тепличному овочівництві демонструє суттєві недоліки в питаннях ощадливого використання паливно-енергетичних ресурсів, енергоємності, витрат електроенергії на виробництво сільськогосподарської продукції. Так, наприклад, у США, ФРН та Японії на 1 кг енергоресурсів при переробці продукції прибуток становить 5 ... 7,5 у.о, а в Україні при виробництві тієї ж продукції енергоємність у 2 – 5 разів вища за середню, ніж у розвинених держав. При цьому технологічні втрати сягають 18 ... 20 %, а витрати на електроенергію у 3 ... 5 разів вищі за середньоєвропейські. Так наприклад, при вирощуванні овочевих культур у теплицях, витрати становлять близько 120 кВт·год/т проти 25 ... 30 кВт·год/т в Україні [1, 3].

Аналіз останніх досліджень. Ситуація, що склалася, вимагає не лише реалізації енергозберігаючих рішень, але й застосування сучасних наукоємних технологій, спрямованих на підвищення енерго- та ресурсоефективності на всіх етапах виробництва, зберігання та переробки сільськогосподарської продукції. Такий підхід дозволить суттєво знизити енергетичні витрати та підвищити ефективність аграрного виробництва.

Як показують дослідження [4, 5, 6], вирішення цієї проблеми можливе за умови розгляду електроенергії не лише як носія енергії для електрифікації та автоматизації технологічних процесів, але й як безпосереднього чинника, що впливає на об'єкти сільськогосподарського виробництва. Це дозволяє змінювати структуру, біофізичні властивості та покращувати якість кінцевого продукту, забезпечуючи тим самим більш ефективне використання енергетичних ресурсів.

Підвищення ефективності впливу електричної енергії на живі біоорганізми, зокрема насіння та рослини, з метою зменшення патологічних змін під час виробництва і зберігання, може бути досягнуто шляхом розробки та впровадження сучасних технологій і обладнання на основі електротехнологій. Це підтверджується численними дослідженнями [7, 8, 9]. Так наприклад, на рис. 1 наведено основні напрями застосування електротехнологій у рослинництві, які можуть дати суттєвий економічний зиск від їх впровадження у виробництво [10, 11].

Такі електротехнології передбачають використання електричних і магнітних полів, електричних струмів різних частот, електромагнітного випромінювання тощо для удосконалення та ефективності процесів з підвищення впливу на сільськогосподарські продукти, в т.ч. і підвищення урожайності при її вирощуванні.

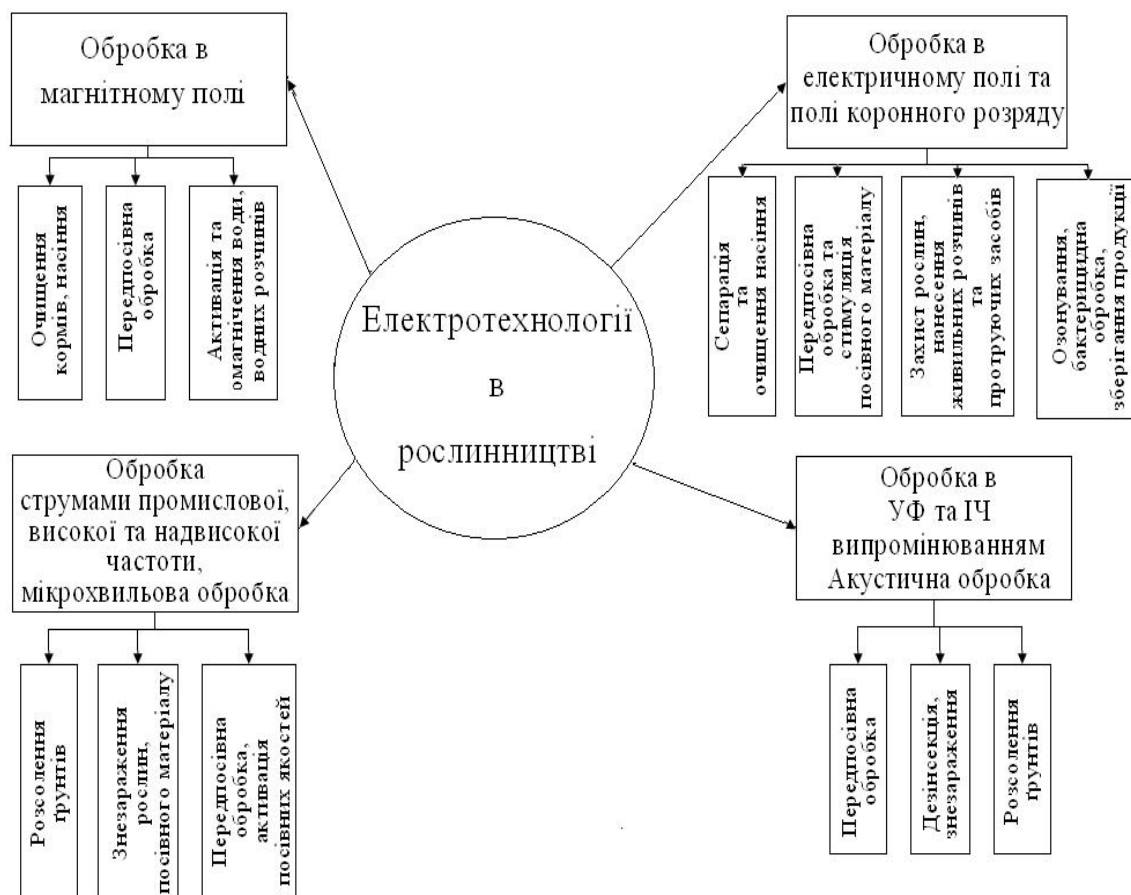


Рис. 1. Основні напрями застосування електротехнологій в рослинництві.

Аналіз досліджень [1, 12, 13] присвячених впливу електромагнітних полів та випромінювання, струмів промислової, високої і надвисокої частоти на біологічні об'єкти рослинного походження в процесах передпосівної обробки насіння, посіву, вирощування та зберігання продукції рослинництва, підтверджує їх високий потенціал у вирішенні ряду важливих агротехнологічних завдань. До таких завдань належать стимуляція життєдіяльності рослин і посівних матеріалів, їх знезараження, підвищення стійкості до патогенів і підживлення, особливо в тепличних умовах. Вплив цих технологій спрямований на покращення посівних якостей насіння, підвищення схожості та врожайності сільськогосподарських культур, а також на покращення якості і збільшення термінів зберігання продукції.



Метою досліджень є проведення аналізу сучасних технологій обробки сільськогосподарської продукції, в т.ч. і рослинництві з метою рекомендацій до створення нових, сучасних, високоефективних технологій та обладнання, спрямованих на біологічну стимуляцію життєдіяльності сільськогосподарської продукції та забезпечувати підвищення енерго- та ресурсоефективності технологічних процесів виробництва при їх вирощуванні, зберіганні та переробці

Основна частина. Зокрема, дослідження [14, 15, 16] показали, що під час стимуляції росту рослин, формування стійкого до стресових факторів проростка та спрямованого впливу на фізіологічні й біологічні процеси у посівному матеріалі, електромагнітні технології не мають конкурентів за ефективністю. Вони забезпечують значне підвищення продуктивності та життєздатності сільськогосподарських культур.

Яскравим свідченням усвідомлення можливостей і перспектив застосування електротехнологій в напрямі підвищення урожайності сільськогосподарських культур шляхом одержання рослин, стійких до шкідників, різних мікроорганізмів, виведення сортів культурних рослин з поліпшеними наслідуваними ознаками тощо, є високі темпи росту інвестицій в цей напрям у ряді розвинених країн світу.

Тривалість і своєчасність таких рішень підтверджується результатами численних досліджень із застосування електротехнологій в рослинництві для підвищення схожості і урожайності різних зернових (пшениця, ячмінь, кукурудза) та овочевих культур (огірки, томати, морква, перець, баклажани) відповідно на 15 ... 20 % та 12 ... 18 % [17, 18, 19].

Враховуючи, що об'єктом дії електромагнітної дії є рослини важливим моментом стає необхідність розкриття генетичного і фізіологічного потенціалу рослин, який обумовлює підвищення урожайності.

Численні дослідження, присвячені застосуванню різних електротехнологій у рослинництві, незалежно від типу електромагнітної енергії, демонструють незаперечні переваги цих технологій у стимуляції проростання насіння, прискоренні росту рослин під час вегетаційного періоду, підвищенні посівних якостей та врожайності сільськогосподарських культур. Крім того, відзначається підвищення стійкості рослин до шкідників, мікроорганізмів та несприятливих кліматичних умов. Отримані результати підтверджують можливість впливу на життєві функції біологічних об'єктів через відновлення їх біоенергетичного потенціалу.

Однак, недостатність інформації та об'єктивної оцінки реакції біооб'єктів на безпосередню дію енергоносіїв вимагає проведення більш глибокої і чіткої теоретичної проробки з позицій повного

розуміння механізму впливу та трансформації наданої енергії живим організмам, рослинам, насінню, які являють собою найбільш досконалі елементи природи.

Залежність приросту рослинної речовини від енергії в загальному вигляді може являти собою статичну модель виду [1, 10]:

$$E = E_0 + \alpha \cdot t, \quad (1)$$

де E_0 – початкова (природня) енергія рослини; α – теми росту енергії ($\alpha = \frac{dE}{dt}$).

На рис. 2 представлено спрощений графік росту рослини від енергії проростання.

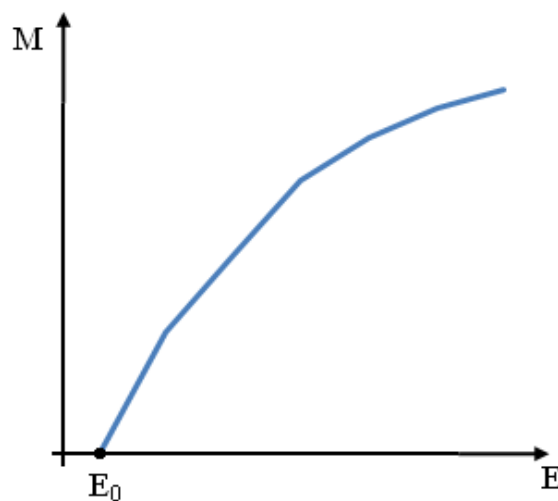


Рис. 2. Графік росту рослини від енергії проростання

Використовуючи цей метод, динамічна росту матиме наступний вигляд:

$$\frac{dE}{dt} = F(E, t), \quad (2)$$

або

$$\frac{dE}{dt} = \lambda E, \quad (3)$$

де λ – параметр відносно темпу зростання рослинної речовини за рахунок перетворення в неї енергії.

Рішення диференційного рівняння (3) дає змогу отримати рівняння росту рослини:

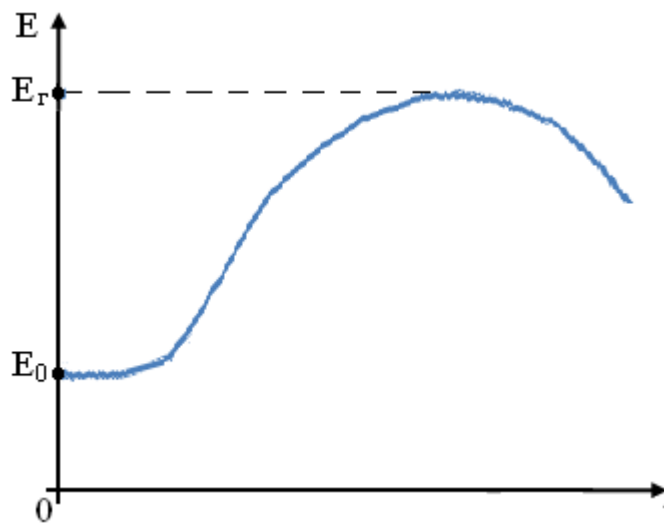
$$E = E_0 \cdot e^{\lambda \cdot t}, \text{ при } t \geq 0; t < t_{\infty}. \quad (4)$$

На рис. 3 наведена залежність росту енергії проростання від часу дії.

Аналізуючи залежність (рис. 3), можна стверджувати про існування для кожної рослини граничної межі енергетичного ресурсу,

закладеного природою на рівні генотипу. Перебільшення останнього зумовлює негативний результат, що й отримало підтвердження в багатьох експериментальних дослідженнях [1, 11, 20].

Відсутність повного розуміння механізмів впливу електротехнологій на біологічні об'єкти значною мірою стримує їх широке впровадження в рослинництві. Для успішної реалізації цих технологій необхідні нові експериментально-аналітичні дослідження, спрямовані на глибше пізнання процесів енергообміну в рослинних об'єктах на клітинному рівні.



E_0 – початкове значення енергії проростання, E_r – граничне (максимальне значення енергії проростання, яке може отримати рослина

Рис. 3. Залежність росту енергії (E) проростання від експозиції (t) залежно від її енергетичного ресурсу [1, 10]

Наявність докладної інформації про взаємодію енергетичних носіїв із біологічними об'єктами, а також реакції клітин на таку дію, сприятиме глибшому розумінню життєво важливих процесів у рослинних клітинах (обмінних, окислювальних, дихальних тощо). Це відкриє можливості для більш точного управління і корекції енергетичних процесів на різних етапах вирощування рослин, що забезпечить підвищення їх продуктивності.

Висновки. Необхідно констатувати, що розвиток електротехнологій у рослинництві стримується не лише через відсутність достатньої кількості теоретичних досліджень, про що йшлося вище, але й через низку інших важливих факторів, зокрема:

- неадекватне сприйняття фахівцями електротехнологій, які часто ототожнюють їх із простою електрифікацією технологічних процесів або використанням електрообладнання, що суттєво обмежує

розуміння їх потенціалу як інноваційного інструменту підвищення ефективності агропромислового виробництва.

- низька сприйнятливість аграрного сектору до наукових досягнень та інноваційних рішень, що призводить до збереження прихильності до традиційних агротехнічних технологій, які часто є менш ефективними з точки зору енерго- та ресурсозбереження.

- відсутність масового виробництва відповідного обладнання, навіть на рівні малих серій, незважаючи на високу ефективність цього обладнання, що була підтверджена під час практичних апробацій. Це обмежує можливості впровадження електротехнологій у широкому масштабі.

- недостатня популяризація та відсутність державної політики, спрямованої на впровадження електротехнологій, а також слабка обізнаність фахівців щодо функціональних можливостей і науково-технічного потенціалу цих технологій у рослинництві.

Для подальшого розвитку електротехнологій у сільському господарстві необхідно усунути ці бар'єри шляхом активізації наукових досліджень, формування державної політики на підтримку інновацій та створення сприятливих умов для виробництва й впровадження електротехнологічного обладнання. Це дозволить значно підвищити енерго- та ресурсоефективність аграрного виробництва, покращити якість сільськогосподарської продукції та знизити залежність від традиційних ресурсомістких технологій.

Список використаних джерел

1. Електротехнології обробки сільськогосподарської продукції / Г. Б. Іноземцев, О. М. Берека, О. В. Окушко, С. М. Усенко; за ред. Г.Б. Іноземцева. Київ: «ЦП «КОМПРИНТ», 2015, 306 с.
2. Radko I., Nalyvaiko V., Okushko O. Electromagnetic energy as an impact factor on life processes of a biological object of a plant origin. *Korean Journal of Food & Health Convergence*. 2019. Vol 6(1). P. 1-8. <http://dx.doi.org/10.13106/kjfhc.2020.vol6.no1.1>.
3. Karpov V. N. Energy saving in optical electrotechnologies of agro-industrial complex. *Applied theory and private methods*. 2009. 100 p.
4. Bogatina N., Shekina N. Effect of electric fields on plants. *Biologiya, himiya*. 2011. Vol. 24(63). P. 10–17.
5. Фізико-технологічні та електрофізичні властивості сільськогосподарських продуктів і матеріалів: навч. посібник / Г. Б. Іноземцев, Л. С. Червінський, О. М. Берека, О. В. Окушко; за ред. Г. Б. Іноземцева. Київ: Аграр Медіа Груп, 2010. 180 с.
6. Barba F. J., Parniakov O., Pereira S., Wiktor A., Grimi N., Boussetta N., Saraiva J., Raso J., Martin-Belloso O., Witrowa-Rajchert D., Lebovka N., Vorobiev E. Current applications and new opportunities for



the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Research International*. 2015. Vol. 77. P. 773–798.

7. Nikiforova L., Kizim I., Bogatyrev Y. Electrotechnological system for monitoring effects of optical range electromagnetic fields on vegetation bioobject. *Technical Electrodynamics*. 2014.

8. Chervinsky L., Radko I., Nalyvaiko V., Okushko, O. (2022) The Results of Experimental Studies of the Passage of Light Energy under the Skin of Animals Along Individual Hairs. *Machinery & Energetics, Scientific Journal*. 2022. Vol. 13, Is. 2, 102–108.

9. Hozayn M., Amal A.E.-M., Abdel-Rahman H. (2015). Effect of magnetic field on germination, seedling growth and cytogenetic of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Agriculture and Research*. 2015. Vol. 10. P. 849–857.

10. Іноземцев Г. Б., Берека О. М., Окушко О. В. Електротехнології обробки сільськогосподарської продукції. Київ: ТОВ «АграрМедіаГруп», 2013. 293 с.

11. Іноземцев Г. Б., Окушко О. В. Технологічні аспекти зберігання продукції рослинництва із застосуванням аероіонізації. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2005. Вип. 31. С. 3–7.

12. Iderawumi A. M., Friday C. E. Effects of magnetic field on pretreatment of seedlings and germination. *Journal of Agriculture and Research*. 2020. Vol. 6. P. 1–8.

13. Nyakane N. E., Markus E. D., Sedibe M. M. (2019). The effects of magnetic fields on plants growth: A comprehensive review. *International Journal of Food Engineering*. 2019. Vol. 5. P. 79–87.

14. De Souza A., Sueiro L., García D., Porras E. Extremely low frequency non-uniform magnetic fields improve tomato seed germination and early seedling growth. *Seed Science and Technology*. 2020. Vol. 38(1). P. 61–72. <http://dx.doi.org/10.15258/sst.2010.38.1.06>.

15. Kozyrskyi V., Savchenko V., Sinyavsky O. The processing of irrigation water and artificial fertilizer solutions in magnetic field. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*. 2020. Vol. 9. P. 74–83.

16. Pietruszewsk, S., Martínez E. (2015). Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material: A review. *International Agrophysics*. 2015. Vol. 29(3). P. 377–389. <http://dx.doi.org/10.1515/intag-2015-0044>.

17. Іноземцев Г. Б., Окушко О. В. Енергозберігаюча технологія стимуляції росту рослин. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2009. Вип. 9, т. 1. С. 184–189.

18. Yehorova O. Іu. Doslidzhennia mozhlyvosti vplyvu kuta padinnia vyprominennia na intensyvnyist vyhonky roslyny v zakrytomu



hrunti [Investigation of the possibility of influx of waterfall in comparison with the intensity of forcing of plants in closed soil]. *Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka*. 2016. Vol 176. P. 78–79.

19. Zablodskiy M., Savchenko V., Synyavskiy O., Pliuhin V. Interactions between Magnetic Field and Biological Objects of Plant Origin. *IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology: International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO 2018 Kyiv, 24 April 2018*. 2018. P. 261–266. <http://dx.doi.org/10.1109/ELNANO.2018.8477484>.

20. Chervinskyi L. S. Rozrobka uzahalniuiuchoi matematychnoi modeli protsesu vyroshchuvannya ovochiv u teplytsi dla vyrishennia pytannia optymizatsii protsesu [Development of a basic mathematical model of the process of growing vegetables in a greenhouse for high nutritional optimization of the process]. *Visnyk KhNTUSH im. Petra Vasylenka*. 2017. Vol 186. P. 98–100

21. Kotyk M., Andriichuk V., Herts A. Osvitliuvalni ustanovky dla svitlokultury roslyn z dodatkovym impulsnym oprominiuvanniam [Illumination installations for light culture of plants with additional pulse propagation]. *Visnyk TNTU*. 2018. Vol. 4(92). P. 91–96.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2024 р.

I. Radko, V. Nalyvaiko, O. Okushko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

CURRENT STATE OF THE DEVELOPMENT OF ELECTRICAL TECHNOLOGIES IN PLANT PRODUCTION OF UKRAINE

Summary

The transformation of agricultural production into a highly efficient industry that would ensure food security and the raw material base for industrial development is one of the priority directions of Ukraine's development.

At the same time, the development of the domestic agrarian complex demonstrates the constant growth of energy and material costs for the production of agricultural products, their outpacing of productivity growth indicators. This significantly demonstrates lagging behind existing trends in developed capitalist countries, especially in the implementation of energy-saving technologies.

Today, a situation has arisen when the implementation of many traditional technologies has reached critical values and has actually exhausted its capabilities, which cannot ensure an increase in the energy efficiency of agricultural production processes, a deeper and more effective processing of it.

The results of the latest research in the direction of creating highly efficient technologies and equipment aimed at biological stimulation of the vital activity of agricultural products, increasing soil fertility and yield show significant opportunities and prospects for the use of electrical technologies in agricultural production.



The application of electrical technologies in agricultural production requires in-depth attention and already today requires in-depth research involving fundamental knowledge, since the main object is the most perfect and, unfortunately, insufficiently studied elements of nature - living organisms, plants, seeds, etc.

Key words: production, energy-saving technologies, electromagnetic energy, production, energy efficiency, technological process, impact.



КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-26**УДК 004.056**

Д. В. Лубко, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-2506-4145

М. Ю. Мірошніченко, к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-4596-3110

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: di75ma@gmail.com

МЕХАНІЗМИ БЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЇ ТА ЇХ ВИКЛИКИ

Анотація. Метою статті є розгляд механізмів безпеки інформації та їх викликів, а також розглянути програми безпеки та вимоги до захисту інформації. Механізми безпеки інформації – це різні заходи, що мають захищати дані від несанкціонованого доступу, модифікації, розголошення чи знищення. Вони грають ключову роль у запобіганні витоку чи пошкодженню даних, що може призвести до фінансових втрат чи порушень конфіденційності. Шифрування, аутентифікація та контроль доступу – основні засоби безпеки, що допомагають у захисті інформації. Організації повинні розробляти та підтримувати ці механізми, а також постійно вдосконалювати свої системи з урахуванням нових викликів, таких як швидкий розвиток технологій та збільшення кіберзагроз.

Ключові слова: механізми безпеки інформації, шифрування даних, безпека, аутентифікація та авторизація, захист від кібератак, контроль та моніторинг.

Постановка проблеми. В сучасному світі інформація – це скарб, що визначає багато напрямків. Вона не лише допомагає в прийнятті рішень та розвитку бізнесу, а й може бути предметом зловживань. Саме тому забезпечення безпеки даних стало критичним для будь-якої організації, незалежно від її розміру чи сфери діяльності. Безпека даних – це не лише обмеження доступу, а й гарантія конфіденційності, цілісності та доступності інформації. Конфіденційність стає гарантом того, що доступ до даних мають лише уповноважені особи. Цілісність забезпечує, що інформація залишається незмінною та не пошкодженою. А доступність – це забезпечення доступу до інформації в потрібний момент. Існує безліч загроз, що стоять перед безпекою даних: від природних катастроф до кібератак та знехтування правилами безпеки. Для запобігання цим проблемам використовують різноманітні механізми захисту, такі як шифрування, аутентифікація, контроль доступу, фізичний захист, моніторинг та аналіз безпеки, стратегії резервного копіювання та відновлення даних, а також відповідність стандартам та вимогам щодо захисту інформації.



Аналіз останніх досліджень. Області інформаційної безпеки виділяють кілька класів безпеки, які використовуються для класифікації даних та систем відповідно до їхньої важливості та чутливості. Ці класи безпеки допомагають організаціям розробляти та впроваджувати ефективні заходи безпеки для захисту своїх даних. Нажаль кількість кібер-злочинів росте з кожним днем, велика частка цих злочинів це крадіжка особистих даних. Частіше всього це стається через халатність та необізнаність користувачів. Саме тому все це і є проблемою, яку потрібно вирішувати як особисто там і колективно.

Як показує проведений аналіз останніх досліджень і публікацій з даної проблемної області (з виявлення механізмів безпеки, з питань захисту інформації та даних, питань інформаційної безпеки, питань безпеки, тощо) багато вчених та науковців активно працювали в цьому. А саме, це такі фахівці та науковці як: Пархуць Ю.Л. [1], Михайлов А.О. [2], Шевчук Д.Т. [3], Скрипка М.В. [4], Тівецька А.В. [5], Говорущенко Т.О. [5], Олешко І.В. [6], Шевченко С. [7], Близнюк І. [8], Легка О.В. [10], Чунарьова А. [11], Шемет А. [12], Федоренко Р.М. [13], Оксінок О.Г. [14], Зінченко Д.А. [15], Думанська Н.О. [16].

Закордоні вчені також активно долучаються до аналізу даної предметної області та багато вже чого зробили, а саме це: Michaelsen J.R. [18], Grossman J. [19], Michael Whitman [22], Herbert Mattord [22], Smieliauskas W. [23], Cardwell Kevin [24], Porter B. [25], Hatherly D. [25], Jason A. [26], Jason A. [27], Shanon C.E. [28].

Також всі ці питання та вирішення даної проблематики періодично висвітлюють і викладачі ТДАТУ, такі як Шаров С.В. [17], Мірошніченко М.Ю. [29] та Лубко Д.В. [17, 29].

Незважаючи на велику кількість праць та досліджень у цій сфері, недостатньо висвітлено ще багато аспектів питань забезпечення інформаційної безпеки та захисту даних.

Формулювання мети статті. Розглянути механізми безпеки інформації та їх виклики, а також розглянути програми безпеки та вимоги до захисту інформації.

Основна частина. Шифрування даних – це ключовий механізм безпеки, що забезпечує конфіденційність та захист інформації під час передачі чи зберігання. В сучасному цифровому світі, де обмін даними відбувається безперервно, шифрування виступає як надійний щит, що захищає від несанкціонованого доступу та можливих загроз. Шифрування забезпечує те, що дані перетинають мережі та зберігаються у вигляді незрозумілого тексту для всіх, крім тих, кому призначено розшифрувати їх [16, с. 23]. Це забезпечується за допомогою спеціальних алгоритмів, які перетворюють звичайний текст у незрозумілий шифрований вигляд, який може бути



розкодований лише з допомогою відповідного ключа. Існує два основних типи шифрування: симетричне та асиметричне. Симетричне шифрування використовує один і той же ключ для шифрування та дешифрування даних. Ключ шифрування відомий лише авторизованим користувачам. Асиметричне шифрування, ж використовує два ключі: ключ шифрування та ключ дешифрування. Ключ шифрування відомий будь-кому, а ключ дешифрування відомий лише авторизованим користувачам. Існує багато різних алгоритмів шифрування, які використовуються для різних цілей.

Деякі з найпоширеніших алгоритмів шифрування включають:

1. DES (Data Encryption Standard) - це алгоритм симетричного шифрування, який був розроблений Національною лабораторією Лоуренса Лівермора в США. DES був широко використовуваний у минулому, але він вважається застарілим.

2. AES (Advanced Encryption Standard) - це алгоритм симетричного шифрування, який був розроблений Національним інститутом стандартів і технологій (NIST) США. AES є найпоширенішим алгоритмом шифрування в даний час.

3. RSA (Rivest-Shamir-Adleman) - це алгоритм асиметричного шифрування, який був розроблений Роєм Ривестом, Аді Шаміром і Леонардом Адлеманом. RSA є одним із найнадійніших алгоритмів шифрування, який використовується в даний час.

Шифрування даних використовується для захисту різноманітних типів даних, включаючи:

1. Шифрування електронної пошти може використовуватися для захисту конфіденційних повідомлень від несанкціонованого доступу;

2. Шифрування файлів може використовуватися для захисту даних, які зберігаються на комп'ютері, від крадіжки або розголошення;

3. Шифрування баз даних може використовуватися для захисту даних, які зберігаються в базі даних, від несанкціонованого доступу або зміни;

4. Шифрування мережових повідомлень може використовуватися для захисту конфіденційних даних, які передаються через мережу, наприклад, даних електронної комерції.

Для використання шифрування даних необхідно мати програмне забезпечення або обладнання, яке підтримує шифрування. Існує багато різних програмних продуктів і пристроїв, які підтримують шифрування даних. Для шифрування даних за допомогою програмного забезпечення необхідно створити ключ шифрування. Ключ шифрування може бути створений за допомогою спеціальної програми або вручну. Після створення ключа шифрування його необхідно зберегти в безпечному місці. Для шифрування даних за



допомогою обладнання необхідно використовувати пристрій, який підтримує шифрування. Пристрої, які підтримують шифрування, часто називаються шифрувальними пристроями.

Шифрування даних є ефективним методом захисту інформації, але воно не є абсолютно надійним. Шифрування даних може бути скомпрометовано, якщо ключ шифрування буде втрачений або викрадений.

Щоб підвищити безпеку шифрування даних, необхідно:

1. Використовувати надійні алгоритми шифрування;
2. Створювати довгі та складні ключі шифрування;
3. Зберігати ключі шифрування в безпечному місці.

Аутентифікація та авторизація також є важливими аспектами безпеки, які допомагають захистити інформацію від несанкціонованого доступу.

Аутентифікація - це процес підтвердження особи користувача. Аутентифікація може бути реалізована за допомогою різних методів, таких як:

1. Паролі - це найпоширеніший метод аутентифікації. Паролі повинні бути довгими та складними, щоб їх було важко вгадати;

2. Біометричні характеристики - це фізичні або поведінкові характеристики людини, які можна використовувати для аутентифікації. Біометричні характеристики включають відбитки пальців, обличчя, райдужну оболонку ока та голос;

3. Сертифікати цифрових підписів - це електронні документи, які підтверджують особу користувача. Сертифікати цифрових підписів використовуються для підписання електронних документів, щоб гарантувати їх цілісність.

Авторизація - це процес надання дозволів користувачеві на виконання певних дій.

Авторизація може бути реалізована за допомогою різних методів, по типу [1, с. 5]:

1. Контроль доступу на основі ролей (RBAC) - це метод авторизації, який заснований на ролях користувача. Роль визначає, які дії користувач може виконувати [3, с. 58];

2. Контроль доступу на основі атрибутів (ABAC) - це метод авторизації, який заснований на атрибутах користувача та ресурсу. Атрибут - це характеристика користувача або ресурсу [2, с. 44];

Аутентифікація та авторизація часто працюють разом, щоб забезпечити безпеку.

Наприклад, аутентифікація може використовуватися для визначення того, хто є користувачем, а авторизація - для визначення того, які дії користувач може виконувати. Сучасні виклики аутентифікації включають:



1. Забезпечення того, щоб аутентифікація була надійною, але водночас легкою у використанні;

2. Зупинення атак на основі підбору паролів;

3. Забезпечення аутентифікації для мобільних пристроїв і пристроїв Інтернету речей (IoT).

Сучасні виклики для авторизації включають:

1. Забезпечення того, щоб авторизація була точною, але водночас не надто суворою;

2. Забезпечення авторизації для хмарних додатків і послуг;

3. Забезпечення авторизації для даних, які зберігаються в різних системах.

До сучасних тенденцій в аутентифікації та авторизації можна включити зростання та використання біометричних характеристик, а також розвиток хмарних технологій і збільшення використання мобільних пристроїв. Ці тенденції створюють нові виклики для аутентифікації та авторизації, але також відкривають нові можливості для підвищення безпеки.

Інший механізм це контроль доступу - це один з найважливіших аспектів фізичного захисту даних [4, с. 12]. Він дозволяє регулювати доступ до фізичних об'єктів, таких як будівлі, серверні кімнати та робочі станції. Контроль доступу може бути реалізований за допомогою різних методів, таких як паролі, картки-ключі, біометричні сканери та відеокамери.

Паролі - це найпоширеніший метод контролю доступу. Паролі повинні бути довгими та складними, щоб їх було важко вгадати. Картки-ключі - це ще один популярний метод контролю доступу. Картки-ключі можуть бути використані для відкриття дверей, замків та інших фізичних об'єктів. Біометричні сканери - це методи контролю доступу, які використовують фізичні або поведінкові характеристики людини, такі як відбитки пальців, обличчя, райдужна оболонка ока або голос. Біометричні сканери вважаються більш надійними, ніж паролі або картки-ключі. Відеокамери - це ще один важливий елемент контролю доступу. Відеокамери можуть бути використані для моніторингу фізичного середовища та виявлення несанкціонованих дій.

Фізичне середовище, в якому зберігаються дані, також є важливим фактором фізичного захисту даних [14, с. 238].

Фізичне середовище - інший важливий аспект, воно повинно бути безпечним і захищеним від несанкціонованого доступу.

До заходів, які можна вжити для підвищення безпеки фізичного середовища, відносяться:

1. Встановлення фізичних бар'єрів, таких як двері, замки та стіни;

2. Встановлення систем безпеки, таких як сигналізація та відеокамери;



3. Контроль доступу до фізичних об'єктів;
4. Забезпечення освітлення в темних місцях.

Не варто забувати про кібератаки, вони є серйозною загрозою для організацій і приватних осіб. Вони можуть призвести до витоку конфіденційних даних, фінансових втрат або навіть зупинки бізнесу. Кібератаки сьогодні – це не просто загроза, вони стали реальністю, що неминуче впливає на всі сфери життя – від державних структур до приватних домогосподарств. Ці напади виявляють уразливості в цифрових системах, використовуючи технологію для зловживання даними, знищення інфраструктури чи крадіжку конфіденційної інформації. Нинішні кібератаки стали складнішими, хитрішими і масштабнішими, вимагаючи постійного вдосконалення та підвищення рівня захисту. Їхні наслідки можуть бути руйнівними як для індивідуальних користувачів, так і для великих корпорацій чи навіть цілих країн.

Кібератака - це будь-яка спроба отримати несанкціонований доступ до комп'ютерної системи або мережі. Кібератаки можуть бути здійснені з різних мотивів, таких як крадіжка даних, саботаж або викуп.

Існує широкий спектр методів, які можуть використовуватися для кібератак. Деякі з найпоширеніших методів включають [15, с. 120]:

1. Взлом паролів – використання програмного забезпечення або ручних методів для зламу паролів користувачів.
2. Соціальна інженерія – обман користувачів, щоб вони надали конфіденційну інформацію або виконали небажані дії.
3. Зловмисне програмне забезпечення – завантаження на комп'ютер жертви шкідливого програмного забезпечення, яке може використовуватися для крадіжки даних, саботажу або викупу;
4. Зловмисні атаки на мережу – використання вразливостей у мережі для отримання несанкціонованого доступу до комп'ютерів або систем.

Існує безліч заходів, які можна вжити для захисту від кібератак. Деякі з найважливіших заходів включають:

1. Створення міцних паролів, паролі повинні бути довгими, складними і унікальними для кожної системи;
2. Використання багатофакторної аутентифікації, цей метод вимагає від користувачів ввести додаткову інформацію, наприклад, код з мобільного телефону, для аутентифікації;
3. Оновлення програмного забезпечення, програмне забезпечення часто містить вразливості, які можуть бути використані для кібератак. Важливо регулярно оновлювати програмне забезпечення, щоб закрити ці вразливості;
4. Використання брандмауера;



5. Використання антивірусного програмного забезпечення;
6. Співробітники повинні бути поінформовані про кібератаки і про те, як їх уникнути.

Багатофакторна аутентифікація (MFA) – це додатковий рівень безпеки, який вимагає від користувачів ввести додаткову інформацію, наприклад, код з мобільного телефону, для аутентифікації [7, с. 22]. MFA робить кібератаки набагато складнішими, оскільки зловмиснику потрібно буде отримати не тільки пароль, але й доступ до іншого пристрою, наприклад, мобільного телефону. Програмне забезпечення часто містить вразливості, які можуть бути використані для кібератак. Важливо регулярно оновлювати програмне забезпечення, щоб закрити ці вразливості. Виробники програмного забезпечення регулярно випускають оновлення для виправлення вразливостей.

Брандмауер - це пристрій або програмне забезпечення, яке допомагає захистити комп'ютер або мережу від несанкціонованого доступу. Брандмауер працює, блокуючи доступ до комп'ютера або мережі з неавторизованих джерел.

Антивірусне програмне забезпечення [8, с. 66] допомагає захистити комп'ютер від шкідливого програмного забезпечення, такого як віруси, троянські коні та шкідливі програми. Антивірусне програмне забезпечення працює, скануючи ваш комп'ютер на наявність шкідливого програмного забезпечення та видаляючи його, якщо воно знайде. Співробітники повинні бути поінформовані про кібератаки і про те, як їх уникнути. Співробітники повинні знати про поширені методи кібератак, такі як соціальна інженерія, і як їх розпізнати. Співробітники також повинні знати про важливість створення міцних паролів і використання багатофакторної аутентифікації. Важливо регулярно перевіряти свої комп'ютери та мережі на наявність вразливостей.

Вразливості - це помилки в програмному забезпеченні [6, с. 5], які можуть бути використані для кібератак. Ви можете використовувати інструменти для сканування на наявність вразливостей, щоб знайти вразливості у своєму програмному забезпеченні. Резервні копії даних - це важливий засіб захисту від кібератак. Якщо ваші дані будуть втрачені або пошкоджені внаслідок кібератаки, ви зможете відновити їх з резервних копій. Ви повинні створювати регулярні резервні копії своїх даних і зберігати їх у безпечному місці. Важливо розробити і впровадити плани реагування на кібератаки. План реагування на кібератаки визначає, що робити в разі кібератаки.

План реагування на кібератаки повинен включати в себе такі елементи, як:

1. Процедура виявлення кібератаки



2. Процедура реагування на кібератак

3. Процедура відновлення після кібератаки

Також потрібно моніторити та аналізувати безпеку - це важливі процеси, які допомагають організаціям захистити свою інформацію та активи від кібератак [13, с. 24]. Моніторинг безпеки передбачає постійне спостереження за системою безпеки, щоб виявити будь-які потенційні загрози. Аналіз безпеки передбачає оцінку даних, зібраних під час моніторингу, щоб визначити, чи є ці загрози реальними.

Сучасні тенденції в моніторингу та аналізі безпеки включають:

1. Зростання використання автоматизації:

1.1. Автоматизація моніторингу та аналізу безпеки може допомогти організаціям економити час і ресурси.

2. Зростання використання штучного інтелекту:

2.1. Штучний інтелект може використовуватися для підвищення ефективності моніторингу та аналізу безпеки.

3. Зростання використання хмарних технологій:

1.2. Хмарні технології можуть використовуватися для централізації моніторингу та аналізу безпеки.

Інший важливий механізм це – резервне копіювання та відновлення даних – це важливі процеси, які допомагають організаціям захистити свою інформацію та активи від втрати або пошкодження. Резервне копіювання - це процес створення копії даних, які можна використовувати для відновлення в разі втрати або пошкодження оригіналів.

Відновлення - це процес відновлення даних з резервної копії. Мета резервного копіювання та відновлення даних - це забезпечення того, щоб організація могла відновити свої дані в разі втрати або пошкодження. Це може бути важливо з багатьох причин, наприклад, у разі:

1. Кібератак – можуть призвести до втрати або пошкодження даних.

2. Природних катастроф, таких як пожеж або повеней, можуть призвести до втрати або пошкодження даних.

3. Знехтувань, наприклад, несвоєчасне оновлення програмного забезпечення, може призвести до втрати або пошкодження даних.

Існує два основних види резервних копій – це повні резервні копії містять копії всіх даних, та диференціальні резервні копії що містять копії лише даних, які змінилися з моменту останньої повної резервної копії. А також інкрементальні резервні копії що містять копії лише даних, які змінилися з моменту останньої резервної копії, будь то повної або диференціальної [12, с. 224]. Частота резервного копіювання залежить від важливості даних та ймовірності втрати або пошкодження даних. Для критичних даних може знадобитися



щоденне резервне копіювання, тоді як для менш важливих даних може бути достатньо резервного копіювання раз на тиждень або навіть раз на місяць. Резервні копії повинні зберігатися в безпечному місці, яке не є доступним для злоумисників. Це може бути фізичне місце зберігання, наприклад, сейф або серверна кімната, або хмарне сховище. Важливо мати процедуру відновлення даних, яка визначає, як відновлювати дані в разі втрати або пошкодження.

Процедура відновлення даних повинна включати в себе такі елементи, як:

1. Інформація про розташування резервних копій
2. Інформація про тип резервних копій
3. Інформація про програмне забезпечення, яке використовується для відновлення даних

Сучасні тенденції в резервному копіюванні та відновленні даних включають:

1. Зростання використання хмарних технологій що можуть використовуватися для зберігання резервних копій, що може зробити резервне копіювання більш зручним і економічно ефективним.
2. Зростання використання автоматизації даних може допомогти організаціям економити час і ресурси.
3. Зростання використання штучного інтелекту, може використовуватися для підвищення ефективності резервного копіювання та відновлення даних.

Резервне копіювання та відновлення даних - це важливі процеси, які допомагають організаціям захистити свою інформацію та активи від втрати або пошкодження. Організації повинні розробити і впровадити ефективні стратегії резервного копіювання та відновлення даних, щоб захиститися від збитків, викликаних втратою або пошкодженням даних.

Регулятивні стандарти та вимоги до захисту інформації - це набори правил і процедур, які встановлюють мінімальні вимоги до безпеки інформації для організацій, що підпадають під їхню юрисдикцію [9, с. 34]. Регуляторні стандарти та вимоги до захисту інформації розробляються з метою захисту конфіденційності, цілісності та доступності інформації. Існує безліч різних регуляторних стандартів та вимог до захисту інформації. Деякі з найбільш поширених типів включають закони та нормативні акти які встановлюють обов'язкові вимоги до захисту інформації для організацій, що підпадають під їхню юрисдикцію. Наприклад, Закон про захист персональних даних ЄС (GDPR) встановлює вимоги до захисту персональних даних для організацій, що обробляють персональні дані громадян ЄС [10, с. 40]. Також керівні принципи та рекомендації вони не є обов'язковими, але їх часто використовують



організації для розробки своїх власних політик та процедур безпеки. Наприклад, Міжнародна організація з стандартизації (ISO) розробила ряд стандартів безпеки інформації [5, с.82], які широко використовуються організаціями по всьому світу. Та внутрішні політики та процедури безпеки - це набори правил і процедур, які розробляються організаціями для захисту своєї інформації. Внутрішні політики та процедури безпеки повинні відповідати вимогам будь-яких відповідних регуляторних стандартів та вимог. Регулятивні стандарти та вимоги до захисту інформації є важливим інструментом для захисту інформації. Вони допомагають організаціям запобігти витоку або пошкодженню інформації, що може призвести до фінансових втрат, порушення конфіденційності або інших негативних наслідків [11, с. 50]. Організації, що підпадають під юрисдикцію регуляторних стандартів та вимог до захисту інформації, повинні розробити і впровадити ефективні програми безпеки, які відповідають цим стандартам і вимогам.

Програми безпеки повинні включати в себе такі елементи, як:

1. Політики та процедури безпеки:

1.1. Організації повинні розробити і впровадити політики та процедури безпеки, які відповідають вимогам регуляторних стандартів та вимог.

2. Освіта та навчання:

2.1. Організації повинні забезпечити, щоб їхні співробітники були поінформовані про політики та процедури безпеки і як їх дотримуватися.

3. Контроль та моніторинг:

3.1. Організації повинні регулярно контролювати та моніторити свою програму безпеки, щоб переконатися, що вона ефективна.

Висновки. Механізми безпеки інформації - це різні заходи, що мають захищати дані від несанкціонованого доступу, модифікації, розголошення чи знищення. Вони грають ключову роль у запобіганні витоку чи пошкодженню даних, що може призвести до фінансових втрат чи порушень конфіденційності. Шифрування, аутентифікація та контроль доступу - основні засоби безпеки, що допомагають у захисті інформації. Організації повинні розробляти та підтримувати ці механізми, а також постійно вдосконалювати свої системи з урахуванням нових викликів, таких як швидкий розвиток технологій та збільшення кіберзагроз.

Список використаних джерел

1. Пархуць Ю. Л. Криптографічні механізми захисту інформації в мобільному зв'язку. *Національний університет «Львівська політехніка»*. 2011. <https://doi.org/10.18372/2410-7840.13.1985>.



2. Михайлов А. О. Дослідження моделей та методів контролю доступу до інформаційної системи: пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 121 – Інженерія програмного забезпечення. А. О. Михайлов; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2021. 83 с.

3. Шевчук Д. Т. Методи аутентифікації та авторизації у мобільних та веб-додатках. *Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення*: Міжнародна наукова інтернет-конференція. 2022. 56 с.

4. Скрипка М. В. Система контролю доступу до персональних даних. 2021.

5. Тівецька А. В., Невмержицька С. М. Удосконалення системи управління персоналом організації з врахуванням вимог міжнародних стандартів ISO. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія «Економіка і вища освіта»*. 2015.

6. Говорущенко Т. О., Мевша А. В., Криськов В. А. Класифікація відмов та вразливостей системного програмного забезпечення. 2014.

7. Олешко І. В. Моделі та методи оцінки захищеності механізмів багатофакторної автентифікації від несанкціонованого доступу. 2014.

8. Shevchenko Svitlana, Skladannyi Pavlo, Martseniuk Maksym. Аналіз та дослідження характеристик антивірусного програмного забезпечення, стандартизованого в Україні. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2019. № 4.4. С. 62–71.

9. Близнюк І., Шорошев В. Основи нормативно-правового забезпечення захисту інформації в комп'ютерних системах державних органів України. 2002.

10. Легка О. В. Імплементация міжнародних стандартів щодо захисту права на доступ до інформації в Україні. 2023.

11. Чунарьова А. Система управління інформаційною безпекою на базі міжнародних стандартів серії ISO. 2012.

12. Шемет А. Застосування методів програмного резервування інформації: аспект резервного копіювання. метод паралельного резервного копіювання. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2011. Вип. 3. С. 221–225.

13. Федоренко Р. М. Контент-моніторинг інформаційного простору як чинник забезпечення інформаційної безпеки держави у війсьній сфері. *Сучасний захист інформації*. 2015. Вип. 2. С. 21–25.

14. Оксіюк О. Г., Шестак Я. В. Методологія розробки комплексних систем захисту інформації в сучасних інформаційно-телекомунікаційних системах. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2015. Вип. 50. С. 236–243.



15. Зінченко Д. А., Макарова О. П. Аналіз ризиків і стратегій захисту від кібератак у сучасному цифровому світі. 2021.
16. Думанська Н. О. Шифрування даних в інформаційних системах. *Математичні методи, моделі та інформаційні технології в управлінні підприємством: тези доповідей V студентської вузівської наукової конференції* (9 листопада 2020 р., м. Вінниця). Вінниця, 2020. С. 23–25.
17. Lubko D., Sharov S., Strokan O. Software development for the security of TCP-connections. *Modern development paths of agricultural production: trends and innovations*. 2019. Ch. I. P. 99–109.
18. Michaelsen J. R., Vacca J. W. Information security risk management: A guide to managing risks to information assets. *Springer*, 2018.
19. Grossman J. et al. XSS Attacks: Cross site scripting exploits and defense. *MA: Syngress*, 2007. 463 с.
20. NIST. National institute of standards and technology. Cybersecurity framework. URL: <https://www.nist.gov/cyberframe-work> (дата звернення 15.09.2024).
21. ISO/IEC 27005:2011. Information security risk management.
22. Michael Whitman, Herbert Mattord. Information security: principles and practices. Publisher: Cengage learning. 2017. 656 p.
23. Smieliauskas W., Bewley K. Auditing: An International Approach. McGraw-Hill Ryerson Higher Education, 2006. 800 p.
24. Cardwell Kevin. Building Virtual Pentesting Labs for Advanced Penetration Testing. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2014. 412 p.
25. Porter B., Hatherly D., Simon J., Principles of External Auditing. 3rd edition. Wiley, 2008. 816 p.
26. Jason A. The Basics of Information Security: Understanding the Fundamentals of InfoSec in Theory and Practice. Waltham: Syngress, 2014. 240 p.
27. Jason A. Use of Elliptic Curves in Cryptography. *Advances in Cryptology. Crypto'22. LNCS 218*. 2022. P. 503–518.
28. Shanon C. E. Communication Theory of Secrecy System. *Bell System Technical Journal*. 2011. Vol. 103, n.87. P. 345–401.
29. Лубко Д. В., Мірошніченко М. Ю. Аналіз сучасних підходів та методик в області захисту інформації та даних. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2024. №1(88). С. 231–236.

Стаття надійшла до редакції 15.09.2024 р.



D. Lubko, M. Miroshnichenko
Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

INFORMATION SECURITY MECHANISMS AND THEIR CHALLENGES

Summary

The purpose of the article is to consider information security mechanisms and their challenges, as well as to consider security programs and information protection requirements. Information security mechanisms are various measures that are intended to protect data from unauthorized access, modification, disclosure, or destruction. They play a key role in preventing data leakage or damage that may result in financial losses or privacy breaches. Encryption, authentication, and access control are the main security tools that help protect information. Organizations must develop and maintain these mechanisms and continually improve their systems to meet new challenges, such as rapid technological advances and increasing cyber threats.

Regulatory standards and information security requirements are sets of rules and procedures that establish minimum information security requirements for organizations under their jurisdiction. Regulatory standards and requirements for information protection are developed to protect the confidentiality, integrity and availability of information. There are many different regulatory standards and information protection requirements. Some of the more common types include laws and regulations that establish mandatory information protection requirements for organizations under their jurisdiction. For example, the General Data Protection Regulation (GDPR) establishes requirements for the protection of personal data for organizations that process personal data of citizens. Also, they are not mandatory guidelines and recommendations, but they are often used by organizations to develop their own security policies and procedures. Internal security policies and procedures are sets of rules and procedures that organizations develop to protect their information. Internal security policies and procedures must meet the requirements of any relevant regulatory standards and requirements. Regulatory standards and requirements for information protection are an important tool for information protection. They help organizations prevent information leakage or corruption that could lead to financial losses, privacy breaches, or other negative consequences. Organizations subject to regulatory standards and information protection requirements must develop and implement effective security programs that meet those standards and requirements.

Key words: information security mechanisms, data encryption, security, authentication and authorization, cyber defense, control and monitoring.

НАУКОВИЙ ВІСНИК
Таврійського державного агротехнологічного університету

Електронне наукове фахове видання

Випуск 14, том 2

Заснований у 2011 р
Виходить два рази на рік

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

Відповідальний за випуск – к.т.н., професор Скляр О. Г.

Видавництво – Видавничий дім «Гельветика»
65101, м. Одеса, вул. Інглєзі, 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.